



LUND UNIVERSITY

Buller i blåsväder : texter om ljud från vindkraftverk

Mossberg, Frans

2011

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Mossberg, F. (Red.) (2011). *Buller i blåsväder : texter om ljud från vindkraftverk*. (Skrifter från Ljudmiljöcentrum; Vol. 11). Ljudmiljöcentrum vid Lunds universitet.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Ljudmiljöcentrum vid Lunds universitet

Skrifter från Ljudmiljöcentrum vid Lunds universitet, Rapport nr. 11

BULLER I BLÅSVÄDER

Texter om ljud från vindkraftverk

Gösta Bluhm
Stefan Larson
Christian Sejer Pedersen
Eja Pedersen
Erik Skärbäck
Bertil Persson



Skrifter från Ljudmiljöcentrum vid Lunds universitet

Rapport nr 11

BULLER I BLÅSVÄDER

*Rapport från ett tvärdisciplinärt symposium
om ljudemmissioner från vindkraftverk
den 25 mars 2011*

Redaktör: Frans Mossberg

Grafisk form & design: Frans Mossberg

ISSN 1653-9354
Tryck: Media-Tryck, Lund 2011

Innehållsförteckning

Förord	7
<i>Frans Mossberg, Ljudmiljöcentrum, Lunds universitet</i>	
Ljudstress, vindkraft och hälsa	9
<i>Gösta Bluhm, Institutet för miljömedicin, Karolinska Institutet</i>	
Närboendes upplevelser av ljud från vindkraftverk	17
<i>Eja Pedersen, Halmstad Högskola & Lunds universitet</i>	
Vindkraftsutbyggnaden	
– vem bestämmer och baserat på vilken kunskap?	23
<i>Stefan Larsson, rättssociologi, Lunds universitet</i>	
Hur mycket vindkraft tål det svenska landskapet?	35
<i>Erik Skärbäck, avdelningen för landskapsarkitektur SLU, Alnarp</i>	
En analyse av lavfrekvent støy fra store vindmøller	47
<i>Christian Sejer Pedersen, Henrik Møller, Steffen Pedersen. Akustik, Aalborg Universitet, Danmark</i>	
Skyddsavstånd till bostad vid bulleremission från vindkraftverk	69
<i>Bertil Persson, tekn. Dr, docent i byggnadsmaterial, Bara</i>	

Förord

Buller i blåsväder är precis vad vindkraftverk alstrar när vindarna tar fart, vare sig man vill eller inte och vindkraftsbullret har satt vindkraften i ytterligare blåsväder politiskt och opinionsmässigt. Ljudmiljöcentrum vid Lunds universitet arrangerade våren 2011 ett tvärdisciplinärt symposium för att försöka att ge en samlad vetenskaplig genomlysning av frågorna om vindkraft och bullerstörningar. Hur ser forsknings- och kunskapsläget ut idag och vilka luckor finns?

Som förnyelsebar energikälla är vindkraft onekligen en av våra mest miljövänliga, men som bekant inte helt fläckfri ur alla aspekter, vilket medfört kritik och oro vad gäller påverkan på landskap, natur och människor. Sverige står inför en omfattande utbyggnad av vindkraften. Den moderna vindkraften har redan hunnit få en historia och nya generationer kraftverk är på väg att etableras med effektivare teknik och större kraft, och med betydligt större möllor. Många känner oro för hur dessa kommer att påverka sina omgivningar i fråga om ljud och annan miljöpåverkan.

Det bör stå klart att för att framtidens energiutvinning skall kunna ske så effektivt, ekonomiskt och miljövänligt som möjligt bör olika intressen stämmas av mot varandra, och frågetecken och farhågor utredas och komma i dagen så grundligt och snabbt som möjligt. Ljudmiljöcentrum ville med symposiet "Buller I blåsväder" tillhandahålla en arena där aktuell forskning om vindkraft och ljudmiljöperspektiv kunde presenteras och diskuteras. I denna skrift finns nu material som presenterades på symposiet tillgängliggjort för de som inte var där och de som önskar reflektera och referera till aktuell forskning.

Gösta Bluhm inleder denna samling med en text om ljudstress, vindkraft och hälsa. Bluhm är verksam vid enheten för miljömedicinsk epidemiologi vid Karolinska Institutet och har forskat om hjärtkärleffekter av trafikrelaterat buller och medverkat i internationellt uppmärksammade studier över samband mellan bullerexponering och hjärtkärlsjukdomar. Han har på uppdrag av naturvårdsverket studerat vindkraftbullrets hälsoaspekter.

Eja Pedersen har i Sverige och internationellt i över tio år studerat hur människor som bor nära vindkraftverk uppfattar ljudet. Hon har använt sig av både epidemiologiska metoder där hela befolkningsgrupper undersökts, och kvalitativa metoder där människor intervjuats om sina upplevelser.

Rättssociologen Stefan Larson tecknar här vad han kallar en tankekarta runt beslutsprocesser och frågan om vem som bestämmer om vindkraften och på vilken kunskapsgrund det görs. Han beskriver vindkraftsutbyggnaden som en naturlig konflikt mellan nationella och lokala perspektiv och konstaterar slagkraftigt nog att vindkraft är en populär energikälla, men en impopulär granne.

Erik Skärbäck, är professor vid avdelningen för landskapsarkitektur vid SLU i Alnarp. Han har forskat om vindkraft i relation till landskapsplanering och är engagerad i ljudmiljöfrågor i egenskap av styrelseledamot i Ljudmiljöcentrum vid Lunds universitet. Skärbäck riktar uppmärksamheten mot en förhållandevis okänd faktor bakom de specifika förhållandena för vindkraftsetablering i Sverige i förhållande till andra länder, nämligen 1700 - 1800-talets skiftesreformer där man i Sverige splittrade byarna och spred ut gårdarna i betydligt högre grad än i andra länder, varför människor här i högre grad bor nära vindkraftverk. Han skriver att risken med alltför oreglerad vindkraftsutbyggnad på landsbygden är negativa konsekvenser för närboende som kan leda till utflyttning och på sikt utarmning av stora områden och framhåller den samhällsekonomiska vinsten av bibehållen spridd bebyggelse och en levande landsbygd i Sverige.

De danska akustikerna Christian Sejer Pedersen och Henrik Møller har tillsammans med Steffen Pedersen undersökt mänsklig perception av lågfrekvent ljud och klagomål på lågfrekvent buller i bostäder. De kan här presentera analyser av bullermätningar från ett stort antal kraftverk. Resultaten pekar enligt Pedersen utom allt tvivel på att den nya generationens möllor genererar ljud där låga frekvenser är mer framträdande än tidigare och därför får betydelse för upplevelser av störning hos närboende. Undersökningarna ger överblick över hur storleken på enskilda kraftverk påverkar ljudnivåer och visar även att utomhusluft tenderar att absorbera höga frekvenser mer än låga vilket gynnar lågfrekvent ljudtransmission. Under vissa atmosfäriska betingelser som t.ex. temperaturinversion kan lågfrekvent ljud även spridas ytterligare mer än normalt, omständigheter som bör utforskas mer, enligt Pedersen

Avslutningsvis presenterar Docent Bertil Persson nya beräkningar av skyddsavstånd till bostäder vid bulleremissioner från vindkraftverk. Hans beräkningar visar att nuvarande rekommendationer är snålt ställda och han rekommenderar att de i vissa fall till och med mer än bör fördubblas. Persson granskar hanteringar från myndigheter och prospektörer, beräkningmodeller och enskilda fall liksom olika sätt att modifiera och presentera mätdata, liksom risker för manipulation av omständigheterna runt dem.

Medverkande författare är ansvariga för de fakta och de synpunkter som presenteras i respective bidrag, vilket inte med nödvändighet innebär att de skall ses som representativa för vare sig Ljudmiljöcentrum eller Lund universitet

Ljudmiljöcentrum vill förutom att tacka författarna för deras välvilliga medverkan, även tacka övriga medverkande vid symposiet såsom Martin Almgren, Mats Rondin, Åsa Waldo och Christina Vigre Lundius.

Frans Mossberg

Ljudstress, vindkraft och hälsa

Gösta Bluhm, Institutet för miljömedicin, Karolinska Institutet

Sammanfattning av föredrag 25.3.2011 i Lund vid forskningssymposium om vindkraftbuller arrangerat av Ljudmiljöcentrum vid Lunds universitet.

Inledning

Buller definieras som oönskat ljud och är den miljöstörning som berör flest antal människor i Sverige. Vi utsätts i det närmaste konstant för ljud eller buller i någon form och de tysta områdena i samhället blir allt färre. Direkta effekter är hörselpåverkan och öronsus s.k. tinnitus. Indirekta effekter är sömnstörningar, samtalssvårigheter och effekter på vila och avkoppling. Prestationer och inläring kan också påverkas och psykologiska och fysiologiska stressrelaterade symtom förekommer och kan ge upphov till försämrad livskvalitet. Samhällsbuller som huvudsakligen omfattar buller från väg- tåg- och flygtrafik är främst kopplat till indirekta effekter. Kroniska fysiologiska effekter och då i första hand utveckling av högt blodtryck är beskrivet vid exponering för flyg- och vägtrafikbuller.

Det finns en omfattande forskning om sambandet mellan transportrelaterat buller och hälsa. Vindkraft och hälsa är mindre väl studerat. Den mest genomarbetade sambandsanalysen av andelen störda som funktion av exponeringsnivåer för väg-, flyg- och tågbuller bygger på en metaanalys av 54 studier (Miedema & Oudshoorn, 2001). Någon nedre exponeringsnivå för störupplevelsen av buller är svår att fastställa empiriskt. I metaanalyserna har det antagits att andelen mycket störda är noll vid nivåer under 42 dB L_{DEN} (L_{DEN} och FBN är jämförbara). Från denna nivå ökar andelen mycket störda snabbt med stigande exponeringsnivåer.

Exponering

Första steget i en riskbedömning av bullers negativa hälsoeffekter är att karakterisera exponeringen. Riktlinjer för vindkraftsbuller sätts normalt till 8 m/s vindhastighet på 10 meters höjd över marken. Högre vindkraftverk medför att denna beräkningspraxis ger mindre säkra resultat. Vindkraftljud uppstår när rotorbladen passerar genom luften. Ett svischande eller dunkade ljud uppstår huvudsakligen som följd av turbulens från bladens bakkant. Detta ljud är inte mer lågfrekvent (dvs ljud med låga frekvenser som vi kan höra, över 20 dBA) än andra vanliga ljud i omgivningen, till exempel buller från vägtrafik. Långtidsmätningar visar att bullernivån från vindkraftverk kan skilja sig upp till 15 dB mellan natt och dag vid vindhastigheter på 3-4 m/s på 10 m höjd (G. P. van den Berg, 2004b). När det gäller infraljud (dvs mycket låga frekvenser, under 20 Hz), ligger ljudnivåerna från vindkraft klart under vad som är hörbart (Jacobsen 2005). Flera studier om immission av infra- och lågfrekvent ljud finns tillgängliga med något varierande slutsatser. Sammanfattningsvis tyder resultaten på att nivåerna i infra- och lågfrekvent ljud från moderna vindkraftverk är något högre än från mindre verk men att den huvudsakliga variationen som finns existerar mellan olika turbiner vilket således indikerar att de nivåer av infra- och lågfrekvent ljud som uppkommer från stora moderna vindkraftverk inte skiljer sig nämnvärt från redan etablerad vindkraft

(Madsen&Pedersen 2010). Beträffade infra- respektive lågfrekvent ljud från vindkraftsanläggningar är bedömningen i nuläget att nivåerna i dessa frekvensområden är relativt låga och inte hälsofarliga. Vi utsatt hela tiden för lågfrekvent buller i närmiljön och vindkraftsverksanläggningar utmärker sig inte i detta avseende. Nivån av infraljud från vindkraftverk är jämförbar med vad människor utsätts för i bussar, bilar och på arbetsplatser (Leventhal 2006). Denna jämförelse haltar dock för vem skulle vilja utsättas för motsvarande exponering i hemmiljön? Socialstyrelsens allmänna råd om buller inomhus anger riktvärdet 30 dBA inomhus för ljud utan tonala komponenter. För ljud med tonala komponenter gäller 25 dBA: Socialstyrelsen har också riktvärden för ljud med höga nivåer i lågfrekvensområdet, där värden anges för enskilda frekvensband mellan 31.5 och 200 Hz (värden från 56 till 32 dB bör inte överskridas).

Hälsoeffekter

Skuggor

Beträffande hälsoeffekter relaterade till vindkraftverk har misstankarna främst gällt buller men besvär relaterat till visuell påverkan är också beskrivet. Störning av skuggning och solreflexer har rapporterats. Risken för att bli påverkad av skuggor beror på läge och avstånd till vindkraftsverken. Lägen sydost till sydväst om vindkraftsverk är mest utsatta för skuggstörningar. Skuggor kan uppfattas upp till 1,5 km från verken, men på detta avstånd är skuggorna diffusa. På nära avstånd är skuggorna skarpa och därmed mer störande (Boverket, 2008).

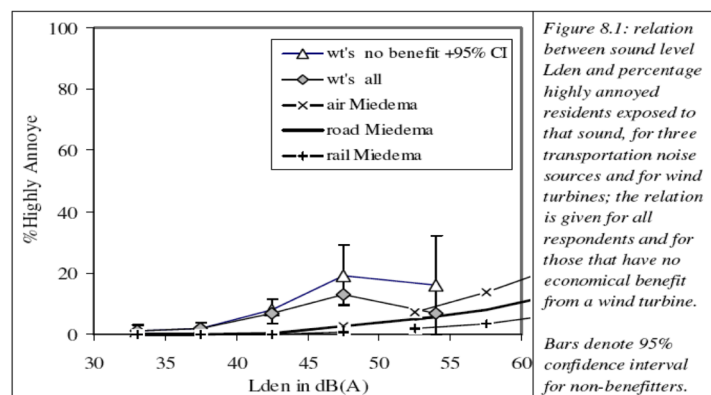
Det finns inga fasta riktvärden för skuggeffekter från vindkraftverk. Det har dock i praxis arbetats fram en rekommendation som ursprungligen kommer från Tyskland (förordningen WEA-Schattenwurf-Hinweise). Den innebär att den maximalt möjliga skuggtiden för störningskänslig bebyggelse inte bör överstiga 30 timmar per år och att den faktiska skuggtiden inte bör överstiga 8 timmar per år och 30 minuter om dagen. Ett tillståndsbeslut enligt miljöbalken kan villkoras enligt denna praxis. Tillsynsmyndigheten kan då besluta att verket ska stängas av vid vissa tider.

Besvärsupplevelse

Bullerstörning mäts i frågeformulärsstudier där boende får göra en sammantagen bedömning av hur störda eller besvärade de varit av en viss bullerkälla under en viss tidsperiod (ISO, 2003a). Sambandet mellan bullerstörning av vindkraft och ljudnivåer från vindkraft har hittills undersökts i tre studier. En svensk studie med 351 personer genomfördes år 2000 (Pedersen & Waye, 2004), en andra svensk studie med 754 personer genomfördes år 2005 (Pedersen & Waye, 2007) och en Holländsk studie med 725 personer genomfördes år 2007 (Pedersen, van den Berg, Bakker, & Bouma, 2009).

Dessa studier redovisar endast beräknade ekvivalenta ljudnivåer (L_{Aeq}). De kan därför inte ge vägledning vad gäller specifika effekter kopplade till lågfrekventa ljud. Dominerande när det gäller besvärupplevelsen är klagomål på ljudets svischande och pulserande karaktär. Vindkraft anges i enkätundersökningarna vara mer besvärande än

bullerkällor som flyg-väg- och tågtrafik vid motsvarande dB-nivåer (figur 1) (Miedema & Oudshoorn 2001). Förklaringar till detta som har diskuterats är låga bakgrundsni-
våer i områden där vindkraftsverk uppförs, vindkraftsljudets störande karaktär av ett
rytmiskt svischande eller dunkande ljud och bullret i kombination med det visuella
intrånget i en ofta orörd naturmiljö. Störningen anses främst bero på det upprepade
susandet. Det svenska riktvärdet för ljud är 40 dB. Av de som exponeras strax under
riktvärdet för ljud från vindkraft uppger ca 10 % att de är störda och 6 % att de är
mycket störda (Pedersen 2011).



Ingen fördel vindkraft
Alla vindkraft
Flyg (Miedema)
Väg (Miedema)
Spårtrafik (Miedema)

Fig 1. Andelen mycket störda i vindkraftsstudierna (Pedersen m.fl.) uppdelade på alla exponerade samt de utan ekonomisk vinning, jämfört med motsvarande störning av väg-
tåg och flygtrafik utgående från metaanalysstudier (Miedema & Voss 2001).

För att få en uppfattning om vad andelen störda av vindkraftverk innebär, kan man jämföra med andelen som störs av vägtrafik, som är den störningskälla som berör flest människor i Sverige (WSP, 2009). En sådan jämförelse visar att andelen störda av vindkraft är betydligt högre vid samma ekvivalenta ljudnivå. Det finns som nämnts flera samverkande orsaker till detta. Vindkraftverk är ofta belägna i områden där bakgrundsni-
vån är låg och upplevs därför som mer störande. Det svischande ljudet upplevs som speciellt besvärande. Det visuella intrycket tycks också ha en fastställd negativ upplevelseffekt. Riktvärdet är baserat på beräkningar för vindhastigheten 8m/s på 10 meters höjd. Normalfallet under dagen är att varm luft stiger uppåt vilket leder till luftblandning. Det blir då en relativt liten skillnad beträffande vindhastigheten mellan mark och navhöjd av vindkraftverket. Kvällar och nätter slutar denna blandning varför bullerkällor på marken som träd och buskar blir svagare medan de höga vindkraftverken med blad på 100 till 150 meters höjd där det alltså blåser fortsätter att bullra. Detta förstärker besvärsupplevelsen.

Andelen bullerstörda av vindkraftsljud vid riktvärdet 40 dB $L_{Aeq,24h}$ (utomhus vid fasad) är jämförbar med andelen bullerstörda vid motsvarande riktvärde för vägtrafikbuller, 55 dB. Det är viktigt att notera att antalet störda av vägtrafikbuller är betydligt fler då antalet exponerade för vindkraft är marginellt i jämförelse med antalet personer exponerade för vägtrafikbuller.

Avståndets betydelse är inte väl utrett. Det är visat att andelen som störs av bullret är högre bland boende som ser vindkraftverken. Både psykologiska faktorer och skuggningseffekter kan förväntas förstärka störningsgraden av närliggande vindkraftverk. En olägenhetsfaktor är att högre vindkraftsverk är utrustade med varningsljus för luftfart. Dessa lyser dygnet runt och kan naturligtvis upplevas som ett störande inslag i landskapsbilden.

Sömn

Sömnstörningar som är en av de vanligaste följderna av högt trafikbuller är ett allvarligt hälsoproblem. Både kontinuerligt och intermittent ljud kan ge upphov till sömnproblem. Mätbara effekter startar redan vid en bakgrundsnivå kring 30 dB LAeq. Objektiva effekter är förändringar i sömnmönstret vid elektroencefalografisk registrering, s.k. EEG. Speciellt minskar förekomsten av den s.k. REM-sömnen som ger god sömnkvalitet.

Subjektiva effekter är fördröjd insomning, försämrad sömnkvalitet, talrika väckningsperioder och trötthetskänsla vid uppvaknandet. De mest känsliga perioderna för sömnstörning är vid insomnandet och före normalt uppvaknande. Vissa data tyder på att det finns en tillvänjningseffekt vad gäller väckningsreaktioner, men däremot inte vad det gäller andra negativa effekter på sömnen.

Ostörd sömn är väsentlig för vår fysiska och mentala hälsa och en förutsättning för att vi ska fungera väl i vårt dagliga liv. Både kontinuerligt och intermittent ljud kan ge upphov till sömnrubbingar. Mätbara effekter kan uppstå redan vid en ekvivalentnivå kring 30 dB(A) i sovrummet. Risk för väckning har påvisats vid maximala ljudnivåer inomhus från 45 dB(A) och uppåt. Lågfrekvent ljud misstänks kunna störa vila och sömn vid ännu lägre nivåer.

Enligt WHO (2000) är maximal ljudnivå en bättre indikator på sömnstörning än ekvivalent ljudnivå för intermittenta ljudkällor, som flyg- och spårtrafik. Utifrån fältstudier och studier utförda i sömnlaboratorier rekommenderar WHO att bullerhändelser över 30 dB L_{night} och 45 dB L_{Amax} inomhus skall undvikas för att minimera effekter på sömn. Det svenska riktvärdet för buller nattetid är alltså väl motiverat ur hälsosynpunkt. Ett observandum är dock att det svenska riktvärdet förutsätter stängda fönster, medan WHO-rekommendationen är tänkt att gälla för fönster 15 cm på glänt, det vill säga för situationer där ljudnivån utanför sovrumsfönstret inte överstiger 45 dB L_{night} och 60 dB L_{Amax} . I en nyare rekommendation anger WHO 40 dB L_{night} vid fasad som framtida riktvärde med 55 dB L_{night} som interimistiskt mål (WHO 2009).

I en sammanställning av samtliga tre enkätstudier som genomförts rapporterades (Pedersen, 2011) signifikanta samband mellan beräknad ljudnivå och självrapporterad sömnstörning i två av undersökningarna. Det finns naturligtvis anledning att misstänka påverkan på sömn för boende nära vindkraftverk. Vissa studier antyder att beräknade nivåer kan underskatta den faktiska nattexponeringen. Stabila atmosfärförhållanden

kväll och natt leder till ökade nivåer av vindkraftverksljud samtidigt som nivåerna av bakgrundsljuden sjunker (se sid 1). Detta gör att man inte säkert kan dra slutsatsen att riktvärdet 40 dB, som beräknas för vindstyrka 8 m/s på 10 m höjd, skyddar fullt ut mot sömnstörning.

Fysiologiska effekter

Buller kan utlösa olika akuta fysiologiska reaktioner som exempelvis förändringar i hjärnans elektriska aktivitet, förhöjt blodtryck, stegrad andnings- och pulsfrekvens samt ökad insöndring av stresshormoner. Upprepade höga max händelser nattetid kan ge upphov till akuta hjärt-kärleffekter. I en nyligen genomförd internationell undersökning kring flygbuller steg blodtrycket signifikant hos försökspersonerna under natten i direkt anslutning till akuta bullerhändelser (Haralabidis m.fl., 2008).

Det finns tilltagande dokumentation att kronisk stress avspeglar sig i bland annat ökad sekretion av kortisol och katekolaminer (noradrenalin och adrenalin). I förlängningen medför detta effekter på cirkulation och ämnesomsättning, som kan öka risken att utveckla högt blodtryck, kärlkramp och hjärtinfarkt (Babisch 2008, Babisch & van Kamp 2009, Selander m.fl. 2009). Vissa undersökningar har visat att långvarig exponering för trafikbuller kan öka risken för att utveckla hjärt-kärlsjukdom. I några studier förelåg högre risk för att utveckla högt blodtryck om deltagarna rapporterade att de upplevde sig störda av trafikbullret. Ljudstressen i sig kunna förstärka effekten av buller och öka risken för hjärt-kärlpåverkan. Något liknande skulle teoretiskt kunna förväntas vid långvarig exponering för vindkraftbuller. Speciellt känsliga grupper och de som upplever sömnproblem är en tänkbar riskgrupp. Ökad risk för hjärt-kärleffekter har iakttagits för exponeringar från 55 dB ekvivalentnivå (WHO, 2011) för trafikbuller, det vill säga vid betydligt högre exponering än gällande riktvärde för vindkraftsbuller. Detta talar emot att samband mellan transportbuller och hjärt-kärlsjukdom kan generaliseras till vindkraftsbuller. Vindkraftsbuller orsakar dock bullerstörning och möjligen också sömnstörning, vilket gör att man inte helt kan utesluta effekter på hjärtkärlsystemet efter långvarig exponering, trots relativt måttliga nivåer. Långtidsstudier kring hjärt-kärleffekter vid exponering för vindkraftbuller saknas hittills.

Rekreation

Tillgång till ”tysta” grönområden anses stimulera till motion, höjd livskvalitet och verka förebyggande både för psykisk och fysisk ohälsa, varför skyddsvärdet är väsentligt ur folkhälsoskyddsvinkel. Vistelse i ostörd naturmiljö anses ha en gynnsam effekt på återhämtning efter stress. Även låga nivåer av samhällsbuller kan störa denna utveckling.

På senare tid har allt mer forskning betonat vikten av tillgång till goda ljudmiljöer. En sådan ljudmiljö gynnar psykologisk återhämtning och vila från stress (Gidlöf Gunnarsson & Öhrström 2007). Bullerutbredningen inom berörda områden för rekreation och friluftsliv bör därför begränsas i största möjliga utsträckning.

Annan ohälsa

Olika symtom och sjukdomar har nämnts i diskussioner om vindkraft och hälsa. Förekomsten av så kallat "*vindkraftssyndrom*" har beskrivits. Denna hypotes grundar sig på en intervjustudie med 38 personer från 10 familjer boende i närheten av stora vindkraftsverk (1.5 – 3.0 MW) (Pierpont 2009). Flera av personerna rapporterade allvarliga symtom, bland annat sömnstörningar, huvudvärk, tinnitus, yrsel, illamående, panikattacker och hjärklappning. Dessa symtom utvecklades efter att vindkraftverken uppförts nära deras hem. Det rör sig om ett mycket litet urval och i hittillsvarande större enkätundersökningar har man förutom allmän besvärsupplevelse av buller inte funnit något tydligt samband mellan vindkraftsbuller och motsvarande symptomrapportering.

En viss förhöjd risk för anfall hos personer med fotokänslig epilepsi har diskuterats. Detta skulle kunna gälla om vindkraftverkets rotorblad skymmer solen oftare än 3 gånger per sekund (3 Hz) (Harding et al 2008). Riskerna för anfall bland epileptiker till följd av flimmer när rotorblad skuggar solen bedöms som marginell, eftersom rotorbladens hastighet hos moderna vindkraftsverk är för låg för att generera epileptisk aktivitet.

"*Vibroakustisk sjukdom*" har återkommande beskrivits av en forskargrupp under en längre tidsperiod. (Alves-Pereira & Castelo Branco, 2007b; Castelo Branco & Alves-Pereira, 2004). Författarna nämner en mängd symtom, bland annat ökad risk för epilepsi och hjärt-kärleffekter samt ökad risk för kranskärlskirurgi. Detta är dock ingen etablerad sjukdomsgrupp och om den förekommer bör det sannolikt föreligga risk enbart vid mycket höga yrkesexponeringar. Något samband med vindkraftsbuller har inte påvisats.

Slutsatser

Sammanfattningsvis visar hittillsvarande forskning att buller från vindkraft är mer besvärande än andra bullerkällor vid motsvarande ljudnivåer. Riktvärdena är i stort anpassade för detta. Metoderna för bullerberäkning är dock inte helt jämförbara. Antalet exponerade och störda är dock relativt litet jämfört med motsvarande antal vid transportbuller som utgör ett betydligt större hälsoproblem.

Någon allvarlig effekt på sömn har inte kunnat fastställas i de enkätstudier som hittills genomförts. Det saknas egentliga studier om hjärt-kärleffekter av vindkraftsbuller. Riskerna för vibroakustisk sjukdom, vindkraftssyndrom eller epileptiska anfall kan anses vara försumbara.

Litteraturlista

- Alves-Pereira, M., & Castelo Branco, N. A. A. (2007b). Vibroacoustic disease: Biological effects of infrasound and low-frequency noise explained by mechanotransduction cellular signalling. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 93(1-3), 256-279.
- Babisch, W. (2008). Road traffic noise and cardiovascular risk. *Noise & Health*, 10, 27-33.
- Babisch, W., & van Kamp, I. (2009). Exposure-response relationship of the association between aircraft noise and the risk of hypertension. *Noise & Health*, 11(4), 161-168.
- Boverket. (2008). *Allmänna råd 2008:1. Buller i planeringen - Planera för bostäder i områden utsatta för buller från väg- och spårtrafik*. Karlskrona: Boverket.
- Castelo Branco, N. A. A., & Alves-Pereira, M. (2004). Vibroacoustic disease. *Noise & Health*, 6(23), 3-20.
- Gidlöf-Gunnarsson, A., & Öhrström, E. (2007). Noise and well-being in urban residential environments: The potential role of perceived availability to nearby green areas. *Landscape and Urban Planning*, 83, 115-126.
- Harding G, Harding P, Wilkins A. (2008). Wind turbines, flicker and photosensitive epilepsy characterizing the flashing that may precipitate seizures and optimizing guidelines to prevent them. *Epilepsia* 2008 Jun;49(6):1095-8
- Haralabidis, A. S., Dimakopoulou, K., Vigna-Taglianti, F., Giampaolo, M., Borgini, A., Dudley, M. L., *et al.* (2008). Acute effects of night-time noise exposure on blood pressure in populations living near airports. *European Heart Journal*, 29, 658-664.
- ISO. (2003a). Acoustics-Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys. ISO/TS 15666:2003(E). Geneva, Switzerland: ISO.
- Jakobsen, J. (2005). Infrasound emission from wind turbines. *Journal of low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 24(3), 145-155.
- Leventhall, G. (2006). Infrasound from wind turbines – fact, fiction or deception. *Canadian Acoustics*, 34, 29-34.
- Madsen, K. D., & Pedersen, T. H. (2010). *Low Frequency Noise from Large Wind Turbines (Technical Report Delta AV 1272/10)*. Hörsholm, Denmark: DELTA.
- Miedema, H. M. E., & Oudshoorn, C. G. M. (2001). Annoyance from transportation noise: Relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. *Environmental Health Perspectives*, 109(4), 409-416.
- Pedersen, E. (2011). Health aspects associated with wind turbine noise—Results from three field studies. *Noise Control Engineering Journal*, 59, 47-53.
- Pedersen, E., van den Berg, F., Bakker, R., & Bouma, J. (2009). Response to noise from modern wind farms in The Netherlands. *Journal of the Acoustical Society of America*, 126(2), 634-643. doi: 10.1121/1.3160293
- Pedersen, E., & Waye, K. P. (2004). Perception and annoyance due to wind turbine noise - a dose-response relationship. *Journal of the Acoustical Society of America*, 116(6), 3460-3470. doi: 10.1121/1.1815091
- Pedersen, E., & Waye, K. P. (2007). Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and well-being in different living environments. *Occupational and Environmental Medicine*, 64(7), 480-486. doi: 10.1136/oem.2006.031039
- Pierpont, N. (2009). *Wind Turbine Syndrome: A Report on a Natural Experiment*. Santa

Fe, NM: K-Selected Books.

Selander, J., Nilsson, M. E., Bluhm, G., Rosenlund, M., Lindqvist, M., Nise, G., et al. (2009). Long-term exposure to road-traffic noise and myocardial infarction. *Epidemiology*, 20(2), 272-279.

van den Berg, G. P. (2004b). Effects of the wind profile at night on wind turbine sound. *Journal of Sound and Vibration*, 277(4-5), 955-970. doi: 10.1016/j.jsv.2003.09.050

WHO. (2000). *Guidelines for Community Noise*. Geneva: World Health Organization.

WHO. (2009). *Night Noise Guidelines for Europe*. Copenhagen: World Health Organization Regional Office for Europe.

WSP. (2009). *Uppskattning av antalet exponerade för väg, tåg- och flygbuller överstigande ekvivalent ljudnivå 55 dBA*. Stockholm: WSP.

Närboendes upplevelser av ljud från vindkraftverk

Eja Pedersen

Vindkraftverk alstrar ljud. Den dominerande delen av ljudet uppstår när luften möter rotorbladens yta och blir turbulent. Eftersom turbulens inte bara ger ljud utan också förluster vid överföringen av vindenergi till rotorns rörelseenergi så har stort arbete lagts ner på att utforma rotorbladen och dess yta så att turbulensen minimeras. Moderna vindkraftverk har designats så att ljudeffektnivåerna är låga i förhållande till vindkraftverkens storlek och det går inte att förvänta sig att den typ av vindkraftverk som är ledande på marknaden idag kommer att bli tystare. Det finns många miljöer där ljud från vindkraftverk inte är ett problem, men när vindkraftverk placeras i närheten av bostäder är det viktigt att säkerställa att människor inte påverkas negativt av ljudet.

Studiedesign

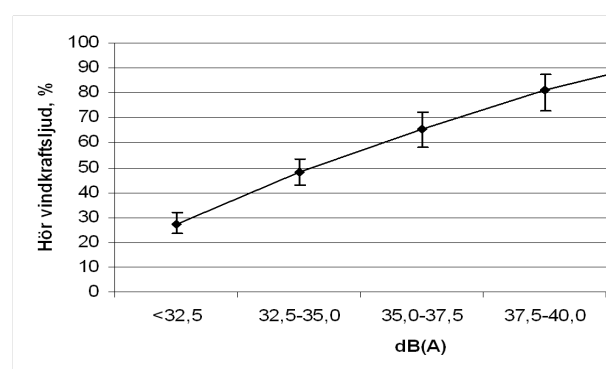
Människors upplevelser av ljud från vindkraftverk har studerats vid Arbets- och miljömedicin, Göteborgs Universitet. Mycket av det vi vet om hur ljud från vindkraftverk uppfattas kommer från tre epidemiologiska studier där människors respons på ljudet jämfördes med ljudnivåer vid deras bostad. Den första studien utfördes i ett enhetligt flackt jordbrukslandskap i södra Sverige 2000 [1]. Boende i närheten av vindkraftverk fick i en enkät svara på hur de trivdes i området och om de fanns några olägenheter. Frågeformuläret var utformad som en allmän enkät om boendemiljön för att inte sätta fokus på vindkraft, men innehöll också specifika frågor om vindkraftverkens inverkan på omgivningen. För varje person som medverkade i enkätstudien beräknades exponeringen av ljud från vindkraftverk vid bostad. Beräkningarna utgick från vindkraftverkets ljudeffektnivå och gjordes i enlighet med Naturvårdsverkets riktlinjer. Exponeringen uttrycktes som A-vägda ekvivalenta ljudtrycksnivåer, dB(A), över den tid då det blåser 8 m/s på 10 m höjd över marken vid vindkraftverket i riktning mot de boende. Ljudtrycksnivåerna från samtliga verk i närheten av bostaden adderades logaritmiskt för att få ett värde på den totala exponeringen. Ljudtrycksnivåerna jämfördes sedan med enkätsvaren för att se om det fanns ett samband mellan exponeringen och hur ljudet uppfattades. Naturvårdsverket rekommenderar att vindkraftverks ljudnivå inte överstiger 40 dB(A) utomhus vid en bostad. I studien förekom några hushåll där den beräknade ljudnivån översteg 40 dB(A). I de fallen hade verken uppförts när det fortfarande förekom att mindre strikta regler tillämpades om den som ägde verket ville uppföra det i anslutning till sin egen bostad eller när den sammanlagda exponeringen från flera verk inte beaktades.

Området i den första studien var relativt litet med likartad terräng och få tätorter. För att studera den fysiska miljöns inflytande valdes till den andra epidemiologiska studien 2005 områden av olika karaktär [2]. Förutom områden med flack jordbruksmark ingick områden med kuperad terräng liksom områden med tätortsbebyggelse, alla i södra Sverige. Studien var upplagd på samma sätt som den första. Dessa två svenska studier finansierades av Energimyndigheten och Naturvårdsverket. Av de sammanlagt 1 822 personer som tillfrågades i de två studierna svarade 1 095 på enkäten, vilket gav en svarsfrekvens på 60 %.

Den tredje studien genomfördes 2007 i Nederländerna och finansierades av EU [3]. I den gjordes ett slumpvis urval av personer över hela Holland som bodde nära vindkraftverk. Det innebar att även om terrängen inte varierade så deltog både boende i relativt tysta miljöer och boende nära trafikerade vägar. Av 1 948 tillfrågade svarade 725 (37 %) på enkäten. För att säkerställa att det inte var någon systematisk skillnad mellan de som svarade och de som inte svarade skickades en förkortad enkät, som också följdes upp med telefonsamtal, till de som inte svarat. Inga skillnader kunde påvisas. För att ytterligare belysa människors upplevelser av vindkraftverk kompletterades de epidemiologiska studierna med en intervjustudie [4]. Femton personer som alla bodde nära vindkraftverk fick berätta om sina upplevelser. Intervjuerna spelades in och skrevs ut för att sedan analyseras enligt den kvalitativa metoden Grounded Theory. Resultat från studierna har tidigare redovisats på engelska i vetenskapliga publikationer [1-6]. En sammanställning av de svenska studierna finns också i en rapport på svenska utgiven av forskningsprogrammet Vindval [7].

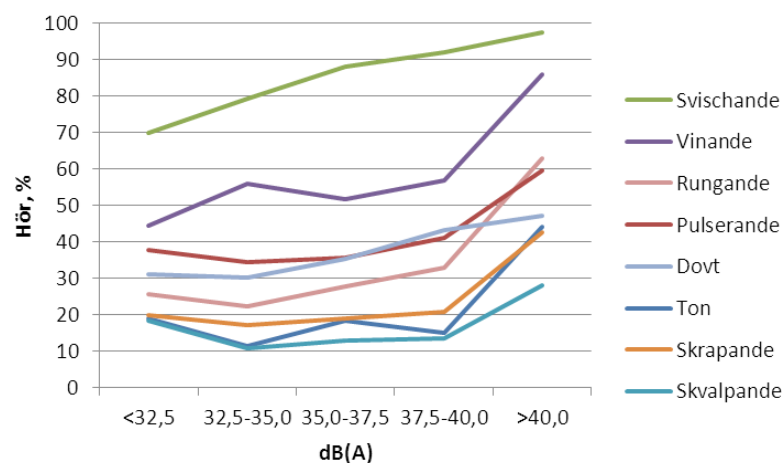
Vindkraftljudets hörbarhet

Ljud från vindkraftverk hörs vid relativt låga ljudnivåer. I de svenska studierna angav 50 % av de som tillhörde exponeringsgrupp 32,5 – 35,0 dB(A) att de kunde höra ljud från vindkraftverk utanför sin bostad, och strax under riktvärdet 40 dB(A) var andelen 80 % (figur 1) [7].



Figur 1. Andelen (med 95 % konfidensintervall) av de svarande i de svenska studierna som hörde ljud från vindkraftverk utanför sin bostad i relation till ljudnivåer vid bostaden n = 1095) [7].

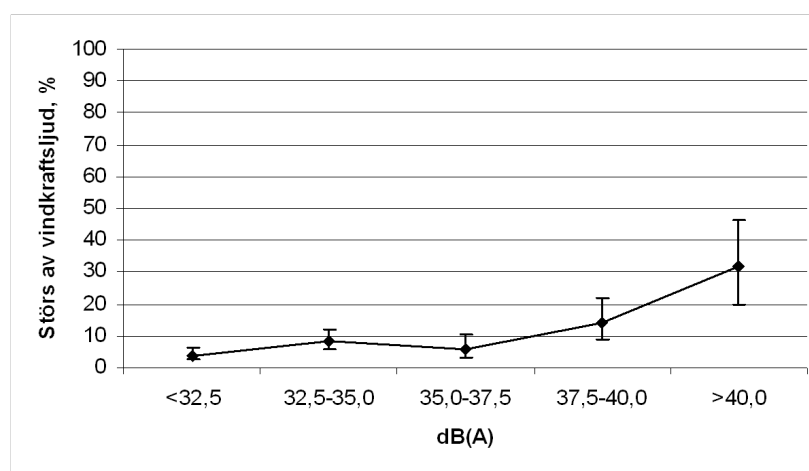
De svenska studierna utfördes i områden med låga bakgrundsnivåer och resultatet tyder på att bakgrundsljudnivåerna var så låga så att de inte maskerade ljudet. Vindkraftsljud har en speciell karaktär som gör att det är svårt att maskera. Ljudnivån varierar över tid (amplitudmodulering) i takt med rotorbladens rörelse. De ljudkaraktärer som var vanligast att de svarande hörde var också sådana som beskriver amplitudmoduleringen: svischande, vinande, rungande och pulserande (figur 2). Ett ljud som varierar i amplitud har fysikaliskt tidvis högre ljudnivåer och blir därmed också hörbart trots bakgrundsljud. Människors perception är också inriktad på att uppfatta förändringar i omgivningen. Ett ljud som varierar uppmärksammas därför lättare än ett ljud med mer konstant ljudnivå och är också svårare att ignorera.



Figur 2. Andelen som hörde de olika ljudkaraktärerna av de svarande som uppgett att de hörde ljud från vindkraftverk i de svenska studierna ($n = 520$). Andelen som hörde vindkraftverken var lägre bland de som inte kunde se några vindkraftverk från sin bostad än bland de som såg ett eller flera verk, även när de beräknade ljudnivåerna var lika. De som inte såg vindkraftverken var troligen exponerade för lägre ljudnivåer än de beräknade, kanske för att en byggnad skymde sikten och därmed också dämpade ljudet. Men det kan också vara så att avsaknaden av visuellt intryck gjorde dem mindre uppmärksamma på ljudet. När två sinnen stimuleras samtidigt så ökar den totala uppmärksamheten (multimodal effekt) så att, i det här fallet, ljud som annars inte skulle ha gett någon respons uppfattas.

Att störas av ljud från vindkraftverk

Andelen av de svarande som stördes av ljud från vindkraftverk var som väntat låg i de lägre exponeringsgrupperna (figur 3) [7].



Figur 3. Andelen (95 % konfidensintervall) av de svarande i de svenska studierna som stördes ganska mycket eller mycket av ljud från vindkraftverk utanför sin bostad i relation till ljudnivåer vid bostaden med $n = 1095$) [7].

Vid ljudnivå 37,5 – 40,0 dB(A) var det dock 14 % som stördes ganska mycket eller mycket av ljudet. Vid ljudnivåer över riktvärdet 40 dB(A) angav 32 % att de stördes, men den siffran är osäker eftersom det är så få individer i den gruppen.

Det var ingen skillnad mellan de som bodde i flack terräng och de som bodde i mer komplex terräng [2]. Men liksom för hörbarhet hade vindkraftverkens synlighet betydelse för om man stördes eller inte [1-3]. Det var mycket ovanligt att störas av ljudet om man inte såg något vindkraftverk från bostaden. Det var också vanligare att störas av ljudet i jordbruksområden i jämförelse med i villaområden [2]. Även det kan bero på den visuella effekten eftersom vindkraftverk generellt är mer synliga i jordbrukslandskap än i bygd miljö. Men det kan också bero på att människor som är bosatta på landsbygden har andra förväntningar på ljudmiljön, liksom på den visuella miljön, än de som bor i tätorter eller i villaförorter. I intervjuundersökningen framkom att några av deltagarna såg vindkraftverken som främmande element i ett landskap som, även om det är odlat, domineras av natur [4]. De förväntade sig en lugn och tyst miljö utan tekniska ljud andra än de som förknippas med jordbruket. I de svenska epidemiologiska studierna fanns också ett negativt samband mellan om man uppfattade den nuvarande bostaden som lämplig för återhämtning och vila och att man stördes av ljudet [5]. Det innebär att de svarande som stördes av ljudet inte ansåg att de kunde vila och återhämta sig i sin hemmiljö.

Andelen störda av ljud från vindkraftverk vid beräknade ljudnivåer var ungefär lika stor i den nederländska studien som i de svenska om man tar hänsyn till vindkraftverkens synlighet och typ av landskap. Genom att räkna om exponeringsvärdena till det ljudnivåmått som används för buller från andra källor i samhället (Lden) så kunde andelen som stördes av ljud från vindkraftverk jämföras med andelen som störs av trafik- och industriljud [3]. Modellerna visade att vid samma ljudnivå är ljud från vindkraftverk ungefär lika störande som ljud från flygtrafik, men mer störande än ljud från vägtrafik, tågtrafik eller industrier.

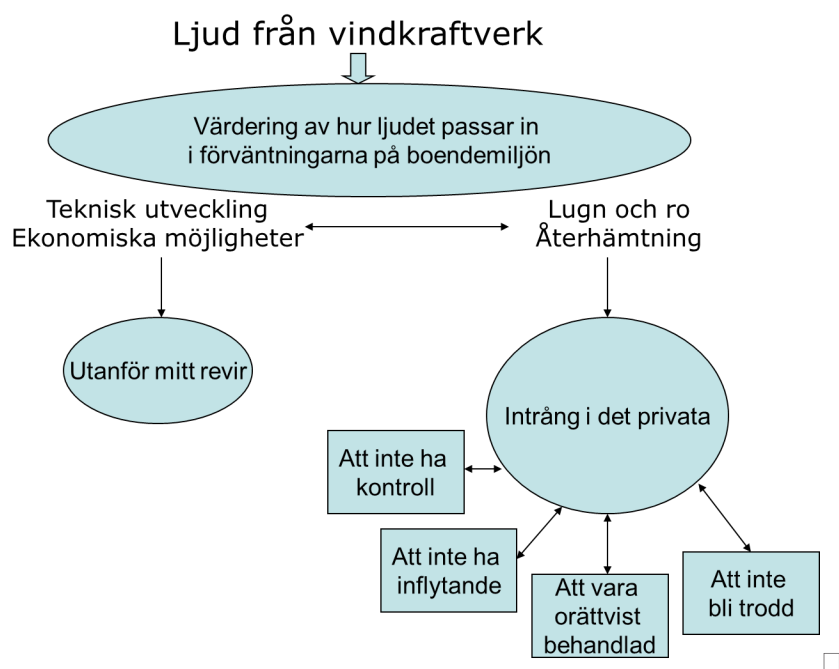
I den nederländska studien var andelen som stördes av ljud från vindkraftverk som förväntat lägre i områden med mycket vägtrafik än i områden utan stora vägar. Statistiska beräkningar visade dock att ljudet från vägtrafiken inte maskerade ljudet från vindkraftverken [6]. Det går också att visa med fysikaliska överväganden att ljudet från vägtrafiken måste vara många gånger starkare än det från vindkraftverk om det senare ska kunna maskeras. Snarare är det än en gång människors förväntningar på miljön som ger en högre andel som störs av ljud från vindkraftverk i de tysta miljöerna.

Individuella faktorer

I studierna fanns det inom samma exponeringsgrupp människor som hörde ljudet, men inte alls stördes av det, och människor som stördes mycket. Det är sedan tidigare känt att människor är olika känsliga för ljud och därför reagerar olika starkt för buller, vilket bekräftades i vindkraftstudierna [1-3]. Negativ attityd till ljudkällan är en annan känd faktor som ökar risken för att störas. Svarande som var negativa till vindkraft generellt var också oftare störda av ljudet än andra [1-3]. Speciellt stor inverkan hade den visuella attityden. De som ansåg att vindkraftverken påverkade landskapsbilden negativt var oftare störda av ljudet än andra. Det går inte i den här typen av studier att

dra slutsatsen att en negativ attityd leder till att ljudet upplevs som störande. Det kan lika gärna vara tvärtom, dvs. att den som störs av ljudet blir negativ till vindkraft. I den nederländska studien var det en tillräckligt stor andel av de svarande som angav att de ägde vindkraftverk, hade andelar eller ekonomisk vinning på annat sätt för att det skulle gå att statistiskt undersöka skillnaden mellan de som har ekonomiska intressen och andra. Det var en klar skillnad, bland de med ekonomiska intressen var andelen som uppgav att de störs av ljudet lägre än bland de utan ekonomiska intressen vid jämförbara ljudnivåer [3].

Intervjuundersökningen visade att människor uppfattar vindkraftverk och deras förhållande till omgivningen olika [4]. Skillnaden i bedömning av hur vindkraftverken påverkar omgivningen har i vissa områden skapat spänningar i umgänget mellan grannar. Det finns inget entydigt svar på varför människor reagerar så olika, men efter analys av intervjuerna skapades en konceptuell modell som kan ge vägledning inför fortsatt forskning inom området. I den förklaras de individuella skillnaderna i människors olika förväntningar på boendemiljön (figur 4). De som ser på området där de bor som lämpligt för ekonomisk utveckling ser vindkraftverken som något som inte rör dem och de störs inte heller av ljudet eller det visuella intrycket. Människor som förväntar sig lugn och ro bedömer däremot vindkraftverket som ett hot. Ljudet gör intrång i deras privata sfär och skapar irritation. Den negativa känslan förstärks ifall försök att göra något åt situationen genom att kontakta ägaren eller tillsynsmyndigheten möts med oförståelse.



Figur 4. Konceptuell bild av hur människor upplever ljud från vindkraftverk baserat på intervjuer (n = 15).

Att inte ha kontroll över ljudet upplevs som frustrerande, dels att inte kunna stänga av det när man störs, men också att inte veta när det kommer att höras. Ljudnivåerna från vindkraftverk varierar med vindhastighet och vindriktning och det går därför inte att förutsäga när ljudet kommer att höras. Ett sådant ljud är svårare att vänja sig vid än ett ljud som uppträder vid förväntade tillfällen, t.ex. ljud från vägtrafik som oftast är intensivast på morgnar och kvällar när människor färdas till och från arbetet.

Sammanfattning

En relativt liten andel av de människor som bor i närheten av vindkraftverk störs av ljudet, men en del av dessa människor störs mycket. Hur många som störs av vindkraftljud bestäms av ljudnivåerna vid bostaden, men också av andra faktorer. Risken att störas är större i ett flackt jordbrukslandskap där vindkraftverken är synliga än i områden med mer varierad terräng, villabebyggelse eller vägtrafik. Känslighet för ljud i allmänhet, attityden till vindkraft och förväntningar på boendemiljön är individuella faktorer som har samband med hur ljudet upplevs.

Referenser

1. Pedersen, E., Persson Waye, K. Perception and annoyance due to wind turbine noise – a dose-response relationship. *Journal of the Acoustical Society of America*, 2004, 116 (6), 3460-3470. doi: 10.1121/1.1815091
2. Pedersen, E., Persson Waye, K. Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and well-being in different living environments. *Occupational and Environmental Medicine*, 2007, 64, 480-486. doi:10.1136/oem.2006.031039
3. Pedersen, E., van den Berg, F., Bakker, R., Bouma, J. Response to noise from modern wind farms in the Netherlands. *Journal of the Acoustical Society of America*, 2009, 126 (2), 634 – 643. doi:10.1121/1.3160293
4. Pedersen, E., Hallberg, L. R-M., and Persson Waye, K. Living in the vicinity of wind turbines – a grounded theory study. *Qualitative Research in Psychology*, 2007, 4 (1-2), 49 – 63. doi:10.1080/14780880701473409
5. Pedersen, E., Persson Waye, K. Wind turbine - a low level noise source interfering with restoration? *Environmental Research Letters*, 2008, 3 (1), 015002. doi:10.1088/1748-9326/3/1/015002
6. Pedersen, E., van den Berg, F., Bakker, R., Bouma, J. Can road traffic mask sound from wind turbines? Response to wind turbine sound at different levels of road traffic sound. *Energy Policy*, 2010, 38, 2520 – 2527. doi:10.1016/j.enpol.2010.001
7. Pedersen, E., Forssén, J., Persson Waye, K. Människors upplevelse av ljud från vindkraftverk. Naturvårdsverket, Rapport 5956. 2009 <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-5956-9.pdf>

Vindkraftsutbyggnaden

– Vem bestämmer och baserat på vilken kunskap?

Stefan Larsson

Det nationella och det lokala

Svensk vindkraftsutbyggnad – precis som med infrastrukturen för tredje generationens mobiltelefonsystem, 3G - styrs främst av två lagstiftningar med olika historia och delvis olika syften, dvs. plan- och bygglagen (PBL) och miljöbalken (MB). Tillståndprocessen ändrades under 2009 från att kräva både planering och tillstånd enligt båda regelverken till att mestadels beröra den miljöprövning som gör vid länsstyrelsen och regleras av MB. PBLs processer är kommunala medan de miljömässiga lyder under länsstyrelsen eller miljödomstolen. Sverige har i huvudsak en stark lokal dominans i det fysiska planeringssystemet. Resultatet av en nationell utvecklingsagenda med konsekvenser för markanvändning kommer därför förlita sig på genomförandet i ett lokalt sammanhang, vilket vindkraftsutbyggnaden utgör ett tydligt exempel på.

Vindkraftsutbyggnaden utgör en naturlig konflikt mellan nationell och lokal nivå där lokala besluten kommer kumulativt avgöra om ett nationellt politiskt mål kan nås eller inte. Detta väcker den primära frågan om hur man balanserar kontrollen över den fysiska planeringen där en nyckel ligger i legitimiteten för en centralstyrd utveckling som är beroende av lokal implementering. Jag diskuterar i denna text bland annat den roll som vindkraften får i termer av denna konflikt. Jag refererar även då och då till det förarbete (SOU 2008:86) som la grunden för regelförändringarna under 2009, och som gjordes av den så kallade miljöprocessutredningen. En fråga som aktualiseras i det här sammanhanget hänvisar till vilken logik som styr beslut från nationella genomförandet. Skulle till exempel vindkraftverk placeras på objektivet bästa vindplatser eller där de är godtagbara i ett regionalt eller lokalt sammanhang? Vindkraftsutbyggnaden kan ha flera effekter på regionala och lokala landskap. Beslutsfattande om lokalisering av enskilda strukturer som sammantaget avgör resultatet av en nationell politik eller ett program är därför en viktig fråga i genomförandet. Centralt för genomförandet är således frågor om *vem som har rätt att bestämma* kopplad till *vilken typ av kunskap* som är tillåten till stöd för dessa beslut. Både vindkraft och 3G-infrastruktur i Sverige är exempel på vad man kan kalla paradigmatiska kamper i styrningen av landskapet (se även Larsson & Emmelin, 2009). PBL och miljöbalken representerar kodifieringar av två paradigm i denna styrning som jag här identifierar (Emmelin & Lerman, 2006). Denna konflikt handlar om vilken kunskap som anses vara en legitim grund av beslut, förhållandet mellan olika delar av lagstiftningen gällande miljö och landskap och maktfördelning mellan det nationella och det lokala.

När jag publicerade min rapport *Problematisering av vindkraftens regelverk – en pilotstudie* i början av 2009, hade de nya regelförändringarna gällande att gå från dubbelprövning till

miljötillståndsprövning ännu inte trätt ikraft.¹ Min studie baserades på det förarbete som miljöprocessutredningen gjorde inför lagändringen, och en del intervjuer med nyckelpersoner på området.

På det välbesökta symposium om vindkraft och ljud som Ljudmiljöcentrum anordnade i slutet av mars 2011 pratades – inte oväntat – en hel del om bullernivåer. Vi hörde om hur man mäter ljud från vindkraftverk, hur man ställer upp ett medelljud och den ”ekvivalenta ljudnivån” som kommer att få rättsliga konsekvenser på så vis att där dras gränsen för hur nära vindkraftverk får byggas bostadshus. Vi hörde vidare om hälso-, eller snarare ohälsoeffekter av vindkraftsljud, om det lågfrekventa bullret, och musikern och studioägaren Mats Rondins prekära situation där en näraliggande vindkraftsetablering helt förstör hans möjligheter att bedriva sin inspelningsverksamhet vid en gård i Huaröd.

Det fanns en ganska tydlig naturvetenskaplig prägel på den efterföljande paneldebatten, där medicinska effekter såväl som forskningsrapporter om bullereffekter debatterades. Samtidigt, vilket för mig är att närma sig pudelns kärna, fanns det hos många en snarare social och privat drivkraft för deras intresse. Några hade vindkraft när sitt boende, och tycktes vittna om både oro, lite mildare undran såväl som ren ilska. Denna privata och sociala sida, från mitt perspektiv, tar sig uttryck i det ofta naturvetenskapliga angreppssättet som många har. Metoden blir då att leta rapporter som vittnar om bullrets skadlighet för att på så sätt försöka påverka processen i det lokala, dvs. slippa vindkraft där man bor. Denna approach är i och för sig logisk, men den vittnar om en teknokratisk syn på rätten, en kalkylerande logik, som stöds av vad jag nedan kallar miljöparadigmet. Det är ju en viss typ av kunskap som man då riktar in sig på. Men den vittnar också om en avsaknad om den andra sidan av spelplanen, att rätten kan fungera även på ett annat sätt, enligt en mer kommunikativ logik eller rationalitet. Genom detta exempel kan man sätta fingret på en essentiell brotningsmatch i varje infrastrukturbygge, och i det reglerade planerandet och byggandet av land och miljö. Utan att förstå den rättsliga logiken och hur samhällsplaneringen kämpar mellan att våga och att våga kommer man inte att förstå hur man ska förändra utfallet av ett nationellt infrastrukturbygge. Handlar det om fundamentala egenskaper hos ett rättsäkert system där möjligheten att klaga är en viktig egenskap – eller tvärt om: ett illa utformat system med parallella prövningar där möjligheterna att förhåla är orimligt stora? Jag visade i rapporten jag nämnde ovan att underlaget, dvs. den rättsliga prövningsempirin, problematiskt nog ofta är anekdotiskt snarare än systematiskt när slutsatserna dras (Larsson, 2009). Det verkar i debatten runt både 3G-utbyggnaden såväl som vindkraften som om många aktörer sätter likhetstecken mellan snabb process och god planering, vilket jag problematiserar nedan (se Larsson, 2008, om 3G-utbyggnaden).

Effektiv eller verkkningsfull prövning av vindkraft?

Som nämnt gjordes ganska betydande förändringar i prövningssystemet gällande vindkraft under 2009. En fråga som hela tiden spelar i bakgrunden för de förändringar som görs med

1 Rapporten finansierades av forskningsprogrammet ”Miljöstrategiska verktyg”, MiSt, som är ett tvärvetenskapligt forskningsprogram finansierat av Naturvårdsverket och lett av professor Lars Emmelin. Mycket av tankarna i rapport såväl som denna framställning har mycket att tacka Lars för. Rapporten kan du finna här <http://www.sea-mist.se/tks/mist.nsf/sidor/problematisering-av-vindkraftens-regelverk>.

prövningssystemet kan formuleras kring vad det egentligen är vill vi med ett prövningssystem. Vilket är egentligen prövningens syfte? Miljöprocessutredningens förändringsförslag som ledde till prövningen så som den ser ut idag handlade mycket om att göra prövningen mer "effektiv". Denna strävan efter "effektivitet" hyllas från de flesta håll – men vad betyder det? För att nyansera begreppet vill jag dela upp begreppet i de två termerna "effektivitet" och "verkningsfullhet". Det finns en diskussion i den fysiska planeringen kring "friktion" i olika samhällssystem (exempelvis Åkerman 1993). Friktionen kan då bestå i att ägna tid åt att tänka igenom svårbalanserade beslut om exempelvis lokalisering av verksamhet eller att efter kritik från berörda parter kunna jämka ett beslut att passa alla parter. Det betyder att man kan argumentera för att vissa moment i den fysiska planeringen bör ta tid för att den inte bara skall bli "effektiv" utan även "verkningsfull" i betydelsen uppfylla vissa kvalitativa aspekter som kan finnas i form av principer bakom lagstiftning eller värden i planering eller miljövard. Jag skall nedan återkomma till just denna nyansering av "effektiviseringen", för det har poänger i förlängningen av miljöparadigmet kontra planparadigmet, dvs. det lokala kontra det centrala samt vilken typ av kunskap som tillåts råda.

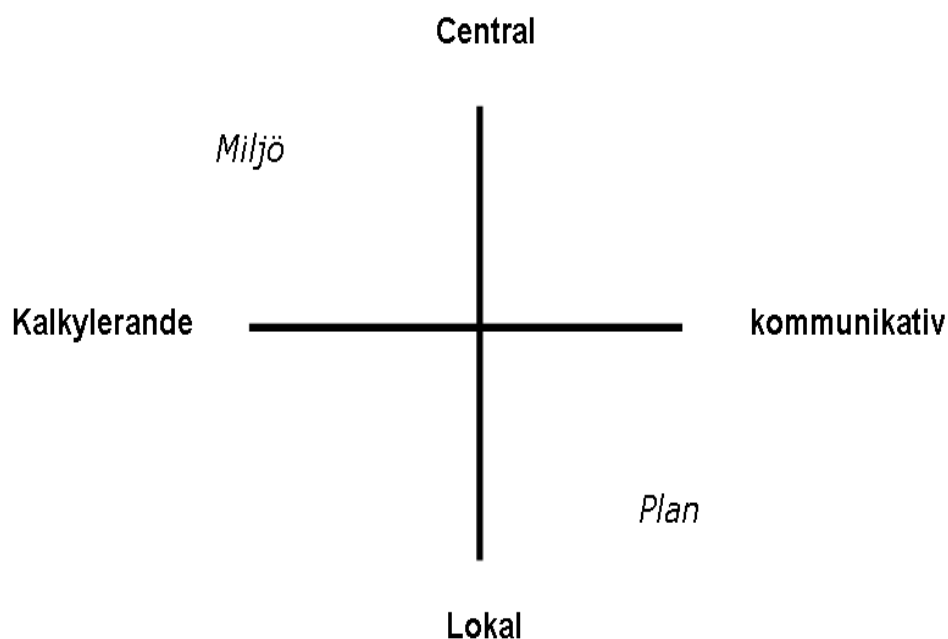
Tankekartan – vem och vilken kunskap?

Jag vill erbjuda en tankekarta som kan hjälpa oss att betrakta vindkraftens dilemman. Vindkraften och dess kontext är komplex. Den innehåller tekniska frågor, den berör miljö och landskapsbild, den bullrar, den syns, den påverkar människor ur estetiska aspekter såväl som mentala och fysiska. Den regleras av flera lagar varav de redan nämnda PBL och MB är mest centrala. Den administreras lokalt och regionalt i kommuner och län, och styrs nationellt. Den är beroende av entreprenörer och riskkapital. Den är beroende av elcertifikat och skattelättnader för att växa. Den drar nytta av en förnybar resurs men kräver samtidigt en någorlunda dyr tillverkning och transport. Vindkraften är ett populärt energislag men en impopulär granne. Kunskapsbilden är med andra ord inte heller helt samlad. Det råder delade meningar om vad som är den gällande kunskapen, vad som är sant och falskt. Mot detta står även en annan kunskap av en annan karaktär som har att göra med vem som *bör* få bestämma över *vad*. För att bringa lite reda i denna rymd av dilemman och frågor vill jag teckna två polära linjer.

Den ena linjens poler rör sig mellan lokalt kontra centralt bestämmande. Många skilda åsikter rör sig längs den här axeln. Många debatter och specifika problem härrör ur att det råder olika åsikter om hur maktfördelningen längs den här axeln *bör* se ut. Lokalt planmonopol mot nationella strategier. Det specifika landskapet och de boende kontra svensk energipolitik. Kommunala politikernas visioner och förhållande till invånarna kontra nationella mål om förnyelsebara energikällor. Här handlar det mest om *vem* som ska bestämma över vad. Det är en given och central fråga. Dock, det är en något för endimensionell bild. Maktfrågan är inte bara en fördelningsfråga över vem som ska bestämma. Debatten vilar inte bara på rationell sanning som kan optimeras till "det bästa". Debatten präglas samtidigt starkt av *vilken typ av kunskap* som skall leda. Denna axel kan tecknas på flera sätt, men jag gör det genom att ställa upp en kalkylerande rationalitet kontra en kommunikativ.

Två paradigmer i styrningen av mark och miljö

Man kan dela upp styrningen av mark och miljö som grundade på två olika tankemönster eller styrfilosofier vilka i viss mån kan kallas två olika paradigmer. Emmelin har valt att kalla dessa "Miljö" och "Plan", och de befästs genom olika lagstiftning (i princip miljöbalken vs plan- och bygglagen), utbildning, professions- och förvaltningskultur (Emmelin och Lerman 2006, sid. 21– 35). De har också beskrivits som normativa, dvs. innehållande handlingsanvisningar för sättet att ta beslut (Larsson 2008, s 116-117, Larsson & Emmelin 2007). Utgångspunkten för miljöparadigmet är ett naturvetenskapligt förhållningssätt till beslut. Ett beslut är legitimt om det vilar på bästa möjliga vetenskapliga bedömning. Nyckelaktör är här experten med central överblick över ett kunskapsområde. Dikotomin är här rätt/fel. I planparadigmet är tanken att styrning av och beslut om markanvändning och miljö ska vila på avvägningar mellan olika legitima men inte nödvändigtvis förenliga intressen, på en jämkning om möjligt. Legitimiteten ligger i att olika berörda intressen kommer till tals och att avvägningen vilar på en representativ demokratisk församlings beslut.



Figur: Två dimensioner i tankekartan som sammantaget definierar de två paradigmerna "miljö" och "plan". Från Emmelin och Lerman 2006, s 27.

Beroende på vilket paradigm man utgår från när man tar beslut så kommer detta att styra frågan om hur beslutet skall tas, som nämnts ovan. Det kunskapsunderlag som kommer att få ligga till grund för beslut enligt miljöparadigmet kommer att förutsättas att kunna svara på om beslutet är korrekt i meningen optimalt. Och det kunskapsunderlag som kommer att få ligga till grund för beslut enligt planparadigmet förutsätts kunna svara på beslutet på ett bättre eller sämre vis stämmer överens med de partsinlagor som tagits i beaktande, dvs. om beslutet är en god jämkning mellan i och för sig motstridiga men legitima uppfattningar. Synen på allmänhetens deltagande i beslutsunderlaget kommer att skilja sig drastiskt i de två paradigmerna. Där miljöparadigmets expertbetonadhet leder till en inställning att rätt beslut

går att nå av en tillräckligt kunnig expert leder planparadigmet till en inställning att ett gott svar inte går att nå utan ett kommunikativt deltagande hos de berörda, det är dessa som äger kunskapen.

Emmelin och Lerman identifierar en kamp mellan miljöparadigmet i det övre vänstra hörnet och planparadigmet i det nedre högra. Ett sätt att beskriva denna kamp mellan paradigmen i detta sammanhang, är att se hur planeringsmålet för vindkraft tas fram. Energimyndigheten använder följande definition på planeringsmål: "Planeringsmålet för vindkraft är att i samhällsplaneringen skapa förutsättningar för en årlig produktion av el från vindkraft på visst antal TWh" (ER 2007:45, s 8). Förslaget på planeringsmål nämner inledningsvis att "lämplig ambitionsnivå för ett planeringsmål till år 2020 är avhängigt bördefördelning av EU:s förnybarhetsmål samt dess genomförande". Detta vittnar om en instrumentell rationalitet som leder till att den tillgängliga platsen för vindkraft i Sverige inte ses som ett resultat av en bedömning vilja hos markägare eller lokala intressen att ha vindkraft i landskapet. Planeringsmålet kommer från ett uppifrån- eller centralt perspektiv gällande vilken andel av förnybar energi som vore politiskt eftersträvarsvärt. Detta leder till den "vertikala" kampen om vem som ska besluta över mark och vatten mellan det nationella politiska beslutsfattandet och det kommunala monopolet att inrätta planer.

Miljöprocessutredningen uttrycker sin ställning i den paradigmatiske kampen på ett oerhört tydligt sätt i det att den menar att kommunernas inblandning i tillståndprocessen är problematisk i förhållande till utbyggnaden av vindkraft.

"Det kan dessutom finnas en risk för att en omfattande användning av detaljplaneinstitutet medför att vindkraftsutbyggnaden i Sverige blir beroende av olika kommunala värderingar om vad som är lämpligt i just den egna kommunen och att vindkraftsutbyggnaden inte sker på de platser som objektivt sett är mest gynnsamma ur ett helhetsperspektiv." (Ur miljöprocessutredningens betänkande SOU 2008:86, sidan 229).

Intressant här är att "helhetsperspektivet" inte inkluderar lokala värderingar. Ställningstagandet för det kalkylerande miljöparadigmet uttrycks i att "kommunala värderingar" riskerar att stå i vägen för vindkraftutbyggnaden vid de "objektivt sett" mest gynnsamma platserna. Ett inneboende problem med de politiska målsättningarna är att deras uppkomst, deras ursprung, inte ligger i en rimlighetsbedömning av vad som kan uppnås inom ramarna för det planeringssystem som sträcker sig långt ut i den lokala kontexten. Utgångspunkten är inte att först pröva realismen i en målsättning utifrån systemförutsättningarna och dess principer, som att processerna skall vara rättssäkra. Det uppstår då problem som ovan nämnda vad planerare kan kalla tieringproblem, dvs. att helheten inte är nivåkoherent, att den inte hänger ihop. Man beslutar något på övergripande nationell nivå som sedan myndigheterna och allmänheten får ta hand om bäst de kan på lokal nivå. I det perspektivet uppstår då lätt önskemål uppifrån att lokala och regionala processer i vart fall inte skall stå i vägen eller utgöra ett hinder för de mål som beslutats nationellt. Den svenska 3G-utbyggnaden är ett bra exempel på detta. Liknande utveckling finns beskriven gällande vindkraft i Storbritannien där regeringens och industrins mål för att lösa "planeringsproblemet" har skett med hjälp av en stärkt nationell kontroll (Cowell 2007).

Allmänhetens deltagande

I ett bredare perspektiv kan det vara relevant att ställa frågan om miljöprocessutredningens förslag ett uttryck för en bredare tendens att montera ned "participation" i planeringen av mark och miljö? Finns det en trend i planeringen mot mer centraliserad och rationalistisk planering, dvs. en växande massa i riktning åt denna normativa pol? Om man ska jämföra sakägarfrågan i vindkraftsutbyggnaden med den i 3G-utbyggnaden är en skillnad att mindre aktörer kan investera i enstaka vindkraftverk. Det betyder att den polarisering som uppkom i 3G-utbyggnaden mellan några få stora operatörer med villkor att täcka en stor del av landet och folk som kom i närheten av master och antenner bryts upp till en mer komplex situation. En viktig skillnad gällande konfliktpotentialen är att vindkraften inte har samma täckningsproblematik som 3G-utbyggnaden innebar. Det finns med andra ord frihetsgrader i det potentiella byggandet, placeringarna kan justeras för att undvika konflikter. Framförallt är det när man lyckas göra vindkraftprojektet till en del av "den lokala identiteten" och till "en tillgång för lokalsamhället" som en kritisk syn kan vändas till en positiv attityd, enligt Klintman och Waldo (2008, s 47).

Vem ska bestämma och baserat på vilken kunskap?

Man kan konstatera att frågor kring vem som skall bestämma och på vilken kunskap ligger nära till hands för frågor om legitimitet. I uppdraget ingick frågeställningen om kontroversiella faktorer i lovgivning och överklagande, och här kan både paralleller till 3G-utbyggnaden med fördel tas upp samtidigt kan man diskutera rättens gränsdragningar och hur dessa uppfattas av inblandande individer. Relationen mellan vad som stör och oroar allmänheten och vetenskapliga uppfattningar om problemen är intressant. I 3G-fallet finns exemplet med masternas elektromagnetiska strålning, som många uppfattade som något potentiellt farligt, vilket tycktes oroa många. Detta låg även till grund till relativt många överklaganden av bygglov (se Larsson 2008, s 80- 87, 143-147, Larsson 2009). Buller från vindkraftverk är sannolikt ett mindre problem i en vetenskaplig mening än i klagandes föreställning och vissa likheter med 3G-fallet finns därmed. Ingen av informanterna tar upp infraljud från vindkraft som något speciellt kontroversiellt. Väldigt få rättsfall i högre instans tar upp infraljud i bedömningarna.

De vanligaste orsakerna för överklagan är den visuella påverkan och ljudpåverkan. Hur och var rätten drar gränsen för vilka störningar som anses legitima och vem som har rätt att överklaga blir därmed intressant. I förening med den visuella påverkan kommer även skäl som minskat fastighetsvärde. Ett problem eller dilemma ligger i att någon kan utnyttja ett värde knutet till en fastighet och därmed påverka eller förhindra intilliggande fastigheters möjligheter, vilket är mycket relevant gällande vindkraft.

Naturvärden har varit upp för diskussion i flera mål, exempelvis i en dom den 19 november 2008 av en oenig Miljööverdomstol som trots allt gav tillstånd för 14 vindkraftverk med en sammanlagd uteffekt om högst 51 MW i Övertorneå kommun (M 2210-08). Andra exempel finns där Miljööverdomstolen år 2001 stoppar vindkraftverk på Tjörn med hänvisning till landskapets karaktär (M 8328-99), eller där Miljödomstolen stoppade en jättesatsning på vindkraftverk på Fladen (M 203-02, 2003-12-22) och där regeringen sedan också sa nej

med hänvisning till naturskydd (2004-10-07). Ett fall i Miljööverdomstolen (M 2602 -07) angående en gruppstation av vindkraftverk på Öland diskuterades vindkraftens påverkan på landskapsbilden i en relativt ålderdomlig kulturbygd. Riksantikvarieämbetets yttrande beskrev hur det ålderdomliga karaktärslandskapet skulle skadas av byggandet av vindkraftverk.² Miljööverdomstolen hade syn och angav i sitt domskäl att området ”inte i oväsentlig grad” redan var påverkat av modern samhällsbyggnad och tillät byggandet av vindkraftverken.

Miljöprocessutredningens betänkande poängterar översiktsplanens betydelse och under 2007 och 2008 var det möjligt för bland annat kommunerna att söka planeringsstöd för att förbättra dessa planer. I min rapport från 2009 kan man läsa att både Boverkets representant Kristina Adolfsson och miljöjuristen Peggy Lerman vittnar om att det finns stora brister i hur översiktsplanerna såg ut. De konstaterar att översiktsplaninstrumentet i praktiken inte blev vad det hade avsetts att bli. Översiktsplanerna är ofta gamla och inte aktiva instrument i den kommunala planeringen. Enligt SKL:s Reigun Thune Hedströms presentation på vindkraftsdagarna i Falkenberg 3-4 november 2008 hade 21 % av landets kommuner inga avsikter på översiktplanering för vindkraft och endast 13 % hade gjort översiktplanering för vindkraft. Stödpengarna som kom i och med vindkraftspropositionen ökar givetvis användningen av översiktplanering för vindkraft och Thune Hedström konstaterade att 37 % av kommunerna arbetar med att genomföra översiktplanering för vindkraft och att 29 % planerar att genomföra översiktplanering för vindkraft.

Man kan diskutera huruvida planeringsstödet för exempelvis översiktsplanerande för vindkraft leder till ökat utbyggande av vindkraft i landets kommuner eller enbart att ”klarlägga förutsättningarna”, som förordningen föreskriver (2007:160). Många vittnar om att översiktsplanen i praktiken generellt inte har kommit att få den betydelse som var tänkt i plan- och bygglagen, vilket speciellt syns i att många kommuner inte har uppdaterat sin översiktsplan på alltför länge. Sett ur ett maktperspektiv, i frågan kring vem som kan styra över planeringen av mark och miljö, kan man diskutera huruvida statligt utökad finansiering för en så riktad utbyggnad är ett sätt att kringgå planmonopolet. Intrycket blir att det skapar ett politiskt tryck på kommunerna att följa den nationella policyn. Syftet är naturligtvis gott, att öka vindbruket och minska exempelvis kärnkraftsberoendet, men samtidigt sätter det fingret på vem-frågan, frågan om vem som skall få bestämma över planeringen av mark och miljö. Bör utbyggnaden vara ett demokratiskt beslut, eller är det bättre att den utgörs av ett centraliserat expertbeslut? I bakgrunden spelar ett klassiskt rättssociologiskt dilemma kring legitimitet och potentiella problem i kölvattnet från top-down-styrning. Den svenska 3G-utbyggnaden visade på en avsaknad av en bred legitimitet gällande det sätt som utbyggnaden kom att genomföras på, bl. a. som en följd av att den höga täckningsgraden inte tillät områden utan master. Följden i vissa områden blev antingen att motståndet växte den rättsligt legitima vägen med överklaganden av bygglov, eller att master helt enkelt sågades ner (den rättsligt illegitima vägen). För att se om planeringsstödet ”köper” vindkraftsutbyggnad behöver man jämföra utbyggnaden av vindkraft i olika kommuner där några sökt planeringsstöd och några

2 Man kunde för övrigt tänka sig att placera in Riksantikvarieämbetet nere till vänster i tankekartan, om man tänker på hur deras uppgift uttrycktes i skrivelsen till Miljööverdomstolen i Ölandsfallet (M 2602 -07). Riksantikvarieämbetet argumenterade för en landskapsestetik, ur ett kalkylerande och expertkunnigt perspektiv i det lokala fallet.

inte. Legitimitetsfrågan kan också översättas i termer av acceptans, Klintman och Waldos rapport från 2008 heter ju i undertiteln "förankring, acceptans och motstånd", vilket är en nyckelfråga i alla större planerade förändringar av landskapet.

Effektiv eller verkningsfull prövningsprocess?

Som nämnt i inledningen är det lämpligt att nyansera begreppet "effektivitet" i form av en uppdelning mellan "effektivitet" å ena sidan och "verkningsfullhet" å andra. Det finns en diskussion i den fysiska planeringen kring "friktion" i olika samhällssystem (exempelvis Åkerman 1993). Friktionen kan då bestå i att ägna tid åt att tänka igenom svårbalanserade beslut om exempelvis lokalisering av verksamhet eller att efter kritik från berörda parter kunna jämka ett beslut att passa alla parter. Det betyder att man kan argumentera för att vissa moment i den fysiska planeringen bör ta tid för att den inte bara skall bli "effektiv" utan även "verkningsfull" i betydelsen uppfylla vissa kvalitativa aspekter som kan finnas i form av principer bakom lagstiftning eller värden i planering eller miljövard. Mycket av miljöprocessutredningens uppdrag låg i att "effektivisera" prövningen av vindkraft, vilket är målrationalellt i betydelsen att tonvikten läggs vid att processen leder till en ökad vindkraftutbyggnad och ett uppfyllande av planeringsmål. Det är dock inte så tydligt vad man menade med denna effektivisering, utöver att det fanns – och finns – en politiskt förankrad önskan att prövningen skall gå snabbare, vilket finns uttryckt i utredningens tilläggsdirektiv. Ett sätt att nyansera diskussionen kring effektivitet finns exempel på i planeringslitteraturens diskussion kring de engelska uttrycken för efficiency och effectiveness (Emmelin 2006, Hilding-Rydevik 2006, Törnqvist 2006). Dessa kan ungefär översättas till effektivitet, där snabbhet spelar roll, och verkningsfullhet, där kvaliteten i processen är det viktiga, vilket därmed kan beskrivas i termer av målrationalitet och processrationalitet.

En intressant problematik kring huruvida tillståndprocesserna försenar utbyggnaden är vad man skall relatera till när man hävdar något om processens längd. Många inblandade parter hävdar att den totala prövningsprocessens längd är för lång när det gäller utbyggnad av vindkraft. Detta gäller framförallt exploatörer och Energimyndigheten, och miljöprocessutredningens huvudsyfte gällande vindkraft har också varit att effektivisera utbyggnaden av vindkraft. De flesta berörda parter förefaller dock vara ense om att processen kan förbättras, utan att vara ense om hur. Vissa tycker att problemet är en resursfråga hos prövningsinstanser, andra att överprövningens del i helhetshanteringen inte skall överdrivas.

Vidare kan man förtydliga med att det kan finnas en viss motsättning mellan en *snabb* process och en *god* process. Det finns rimligen en undre gräns för hur mycket prövningsprocessen kan reduceras innan den tappar de kvalitéer kring exempelvis deltagande och rättssäkerhet som är väsentliga inom vår planeringstradition och inom vårt rättssystem. Henecke och Khan bekräftar denna motsättning.

...problemen med att införa ett genuint medborgardeltagande i den fysiska planeringen i mångt och mycket bottnar i att det står i strid med det parallella målet att åstadkomma en effektiv och snabb planeringsprocess (2002, s 34).

Man kan uttrycka det som att medborgardeltagande tar tid. För att nyansera vindkraftsdebattens diskussion kring en "effektiv planering", är frågan om resultatet av planeringsprocessen

för vindkraftbygget är en följd av ”god planering”, vilket får sägas vara en nyckelroll för planeringssystemet (och då helt naturligt beror på vad man fyller begreppet ”god planering” med). Man kan tänka sig att det finns en minsta möjliga tid som ”god planering” kräver för att fortsätta vara just ”god planering”. ”God planering” kräver, bland mycket annat, tid i anspråk för att upprätthålla någon typ av kvalitet. Det är alltså här man kan tala om *the necessity of friction*. Det finns med andra ord en risk att vara vaksam på, när ett starkt tryck läggs på planeringssystemet att hantera processerna snabbare, att man får en processuell verkningsfullhet men en resultatmässigt dålig planering, dvs. gällande planeringens syfte. Svårigheten ligger med andra ord här i att få en effektiv process, vilket Energimyndigheten och utredningsdirektivet uttryckligen eftersträvar, som ändå är verkningsfull, dvs. rättssäker och beaktande planeringens övriga kvalitetsmått.

Enligt Henecke och Khan när de behandlar medborgardeltagande i den fysiska planeringen så har effektivitetssträvanden gång på gång lett till inskränkningar i det faktiska medborgardeltagandet, även då vikten av ett ökat medborgarinflytande och av åtgärder för att motverka effekterna av den politiska ojämlikheten framhålls i direktiv och lagstiftning (2002). Det är här det regelförenklande dilemmat ligger: hur mycket ska man förenkla och reducera utan att förlora de viktigaste vägandet i prövningen? Risken ligger i att den politiska diskussionen och direktiv som strävar efter effektivitet mest har att göra med tid- och kostnadsaspekter, medan kvalitetsaspekter får begränsad uppmärksamhet i dessa sammanhang. Om man definierar ett ineffektivt system för mycket i termer av ”en långsam process” riskerar detta att leda till föreställningen om att en snabb process per definition också är en god process.³

Avslutning

Ett syfte med den här artikeln är att erbjuda en tankekarta användbar för att bringa förståelse för både rättssystemets interna spänningar på miljö- och planeringsområdet, inklusive den nationella styrningen kontra det lokala bestämmandet. Denna dialektik går igen i alla nationella infrastruktursatsningar, som till en följd av vår svenska modell alltid är beroende av den lokala implementeringen. Tankekartans fördelar ligger kanske inte framförallt så mycket i påpekandet om att det lokala och det centralt nationella kan hamna i motsatsförhållande utan mer i vikten av förståelse för den andra axeln, den om kunskapsapproacher. Den axel om ställer upp det kalkylerande å ena sidan och det kommunikativa å den andra signalerar något som inte så sällan glöms bort, nämligen att det finns en ganska så väsentligt skillnad i att luta sig mot den ena eller den andra typen av kunskap. Jag menar att båda sidorna är både nödvändiga och självklara, dock tycks den kalkylerande kunskapen, som ofta beskrivs som mer naturvetenskaplig, också ofta ha ett visst företräde framför den kommunikativa, där det handlar om att väga legitima men ofta motstående intressen mot varandra. Det kan ha att göra med dess något mer binära logik enklare sammanfaller med hur rättens traditionella utformning ofta fungerar utefter en liknande binär rätt/fel-dikotomi.

3 I fallet med 3G-utbyggnaden har det visats att den långsamma utbyggnaden inte primärt kunde skyllas den kommunala hanteringen, även om detta argument användes och gav lättnader åt operatörernas när de brast täckningsgrad därmed i att uppfylla licensvillkoren i förhållande till Post- och Telestyrelsen (Larsson 2008, Larsson 2008b).

För att specifikt återknyta till vindkraften kan konstateras att det även på central nationell nivå finns en spänning mellan kalkylerande och kommunikativa rationaliteter. Nationella mål för vindkraft har exempelvis inte utsatts för någon grundlig undersökning för deras kompatibilitet med andra nationella mål om miljön eller landskapet. De uppskattningar för möjlig utvecklingen av vindkraft bygger på en relativt grov teknisk uppskattning av vad som definieras som "hur mycket vindkraft som ska kunna hanteras i den fysiska planeringen" (Energimyndighetens förslag, ER 2007:45, s 5). Detta planeringsmål definieras då som att "i samhällsplaneringen skapa förutsättningar för en årlig produktion av el från vindkraft på visst antal TWh" (ER 2007:45, s 8). Förslaget på planeringsmål nämner inledningsvis att "lämplig ambitionsnivå för ett planeringsmål till år 2020 är avhängigt bördefördelning av EU:s förnybarhetsmål samt dess genomförande". Den instrumentella och kalkylerande rationaliteten är tydlig i att "tillgänglighet" inte ses som en funktion av viljan hos markägarna eller lokala intressen att ha vindkraft i landskapet. Planeringens mål för andelen förnybar energi kommer uppifrån medan det är något oklart om det uttrycker vad som vore politiskt önskvärt eller vad som ses som möjligt av det ansvariga sektorsorganet.

Detta mått kan också användas för att granska en "horisontell" konflikt på lokal nivå. Planeringen är utformad för att väga konflikter i markanvändningen, särskilt allmänheten mot privata intressen. Miljöskadlig verksamhet som behöver en detaljplan behöver också en miljökonsekvensbeskrivning, MKB, av planen. Om vindkraften avlägsnas effektivt från planeringssystemet, så kommer spänningen på lokal och regional nivå mellan expertis på miljö och markanvändning och den kommunikativa beslutsprocessen att kringgås. En gemensam uppfattning Inom ramen för rationellt beslutsfattande är den om ett hierarkiskt system med en ökande detaljnivå som man kan flytta ner implementering och den dagliga driften till. Detta kallas nivåindelning eller *tiering* i litteratur om strategiska miljöbedömningar (se exv. Lee & Walsh 1992). Det differentierade systemet antas vara inbördes konsekvent, uppifrån och ner, och när det gäller miljöfrågor utifrån ett vetenskapligt kalkylerande rationalitet (Sager 1994, Emmelin & Kleven 1999). De högre nivåerna förutsätts att sätta tydliga gränser för graden av frihet för de lägre nivåerna via t.ex. bindande och kvantitativa normer i form av miljökrav och trösklar. Fallet med vindkraftens utbyggnad i Sverige illustrerar problemen med denna typ av förenklade antagande, som mycket av miljöbedömning och den fysiska planeringens policymakande bygger på (Larsson & Emmelin, 2009). Både utvecklingen av vindkraft samt av 3G-infrastruktur i Sverige är intressanta områden för konflikter mellan nationella målen för teknisk utveckling och lokal fysisk planering och styrning av markanvändningen.

Det kan med andra ord finnas en kamp mellan det målrationella att bygga ut vindkraften och det processrationella i att upprätthålla rättssäkerhet, en god, förutsägbar tillståndsprövning. Det finns en motsättning mellan nationella mål och lokalt självbestämmande som tydliggörs med miljöprocessutredningens betänkande och i vindkraftens utbyggnad. Denna motsättning är dock större än för fallet vindkraft och är inte bara en lagteknisk fråga, även om det är i regleringen den tar sig uttryck, och i dess förändringsinitiativ.

Referenser

- Cowell, Richard (2007) Wind power and 'The planning problem': The experience of Wales, *European Environment* 17, 291- 306.
- Energimyndigheten (2007) *Nytt planeringsmål för vindkraften år 2020*, ER 2007:45.
- Emmelin, Lars (2006) Tools for environmental assessment in strategic decision making, in Emmelin, L. (2006) [ed.] *Effective Environmental Assessment Tools - critical reflections on concepts and practice*. [Blekinge Institute of Technology Research Report 2006:3].
- Emmelin, Lars & Kleven, Terje (1999) *A paradigm of Environmental Bureaucracy? Attitudes, thought styles, and world views in the Norwegian environmental administration*. NIBR's Pluss Series. 5-99.
- Emmelin, Lars & Lerman, Peggy (2006) *Styrning av markanvändning och miljön*, Ansvarskommitténs skriftserie maj 2006, Stockholm.
- Förordningen (2007:160) om stöd till planeringsinsatser för vindkraft.
- Henecke Birgitta & Khan, Jamil (2002) *Medborgardeltagande i den fysiska planeringen – en demokratiteoretisk analys av lagstiftning, retorik och praktik*, Department of Sociology, Lund University, Working Paper in Sociology 2002:1.
- Hilding-Rydevik, Tuija (2006) Environmental assessment – effectiveness, quality and success, in Emmelin, L. (2006) [ed.] *Effective Environmental Assessment Tools - critical reflections on concepts and practice*. [Blekinge Institute of Technology Research Report 2006:3].
- Klintman, Mikael och Waldo, Åsa (2008-10) *Erfarenheter av vindkraftsetablering- Förankring, acceptans och motstånd, Studie av metoder för förankring av vindkraftsprojekt i Europa*, ISBN 978-91-620-5866-1, Naturvårdsverket.
- Larsson, Stefan (2008) *BETWEEN DARING AND DELIBERATING – 3G as a sustainability issue in Swedish spatial planning*, Blekinge Institute of Technology, Licentiate Dissertation Series No. 2008:02, School of Technoculture, Humanities and Planning.
- Larsson, Stefan (2009) Law as a gate keeper for participation. The case of 3G infrastructure development in Sweden, in Baier, Mathias, ed. (2009) *Participative aspects on law - a socio- legal perspective*, Lund studies in Sociology of Law.
- Larsson, Stefan (2008b) Non-legal aspects of legally controlled decision-making – The failure of predictability in governing the 3G infrastructure development in Sweden, in Hydén, Håkan & Wickenberg, Per, eds. (2008) *Contributions in Sociology of Law. Remarks from a Swedish horizon*, Lund studies in Sociology of Law.
- Larsson, Stefan (2009) *Problematisering av vindkraftens regelverk. En pilotstudie*, Forskningsrapport Nr. 2009:04, Rapport nr 7 från MiSt-programmet, Blekinge Tekniska Högskola, ISSN 1103-1581.
- Larsson, Stefan & Emmelin, Lars (2009) Implementing National Policy and Local Planning – Swedish wind power development and third generation mobile phone system as cases, International Academic Group on Planning, Law and Property Rights, Third Conference, Aalborg, Denmark, 11-13.th February 2009.

- Larsson, Stefan & Emmelin, Lars (2007) *Sustainable development in practice: infrastructure for the third generation mobile telephone system in Sweden*, published in the conference proceedings of IAIA07 conference in Seoul, Korea, 4-9 June 2007.
- Lee, Norman & Walsh Fiona (1992) Strategic environmental assessment: an overview. *Project Appraisal* 7(3) 126-136.
- Miljödomstolen, M 203-02, 2003-12-22, Fladen.
- Miljööverdomstolen M 8328-99, fall från 2001, Tjörn.
- Miljööverdomstolen M 2602 -07, Öland.
- Miljööverdomstolen M 2210-08, dom 2008-11-19, Övertorneå
- Regeringen 2004-10-07, Fladen.
- Sager, Tore (1994) *Communicative Planning Theory*, Avebury.
- SOU 2008:86 Prövning av vindkraft, delbetänkande av Miljöprocessutredningen, Stockholm.
- Törnqvist, Anders (2006) Efficiency and effectiveness in the management of land-use planning conflicts, in Emmelin, L. (2006) [ed.] *Effective Environmental Assessment Tools - critical reflections on concepts and practice*. [Blekinge Institute of Technology Research Report 2006:3].
- Åkerman, Nordan (1993) *The necessity of friction: nineteen essays on vital force*, Heidelberg: Physica-Vlg. Cop.

Hur mycket vindkraft tål det svenska landskapet?

Erik Skärbäck, professor SLU

I Sverige har vindkraftsmålet ökat drastiskt från 2 TWh (exklusive fjäll- och havslokalisering) formulerat av NUTEK 1996, till 10 TWh i SOU 1999:75, och nu senast Riksdagen antagna planeringsram om 30 TWh 2008 (20 TWh på land och 10 TWh till havs). Sneglar man på utlandet så har Sverige halkat efter. Tyskland nådde 30 TWh utbyggnad i mitten av 2000-talet. Hur mycket påverkas landskapet av det kraftigt höjda vindkraftsmålet? Vilka följdkonsekvenser kan uppstå? Denna artikel diskuterar en undervärderad faktor till varför utbyggnaden går så trögt i Sverige, den spridda landsbygdsbebyggelsen.

Landskapet kan definieras som resultatet av människors användning av naturresurserna. Människans närvaro, utnyttjande och skötsel av markerna är en avgörande faktor för landskapets utseende, och landskapet utgör viktig livsmiljö både för bofasta och rekreationssökande besökare. Sverige skiljer sig på en väsentlig punkt från bl a Tyskland. I Sverige splittrade man byarna vid skiftesreformerna för 200 år sedan, vilket man inte gjorde i Tyskland och endast delvis i Danmark och England.

Bebyggelseförändringar i olika länder i samband med skiftesreformer.

Sverige

Med inspiration från England genomförde Rutger Maclean 1783 *enskifte* på sin egen dom Svaneholm. Där han konsekvent från början placerade ut gårdarna i centrum av sina nya brukningsenheter. Detta kom att bli modellen för Sverige i kommande skiftesreformer till en bit in på 1800-talet. (Kain, Baigent 1992, Thulin G. 1911). De svenska skiftesreformerna var mycket kraftfulla. Det räckte med att en av bönderna i en by vill skifta marken, så skulle det genomföras. Endast Dalarna förblev i hög grad oskiftad.

Detta att gårdsbebyggelsen flyttades ut mitt på de nya sammanslagna ägorna har blivit det svenska landskapets karaktäristika. De spridda röda stugorna har ibland framhållits som ett unikt svenskt arkitektoniskt karaktärsdrag. Men lika unikt är, fast få tänker på det, att alla dessa bostäder förbinds med finmaskiga vägsystem som är allmänt tillgänglig för vem som helst, eftersom staten bidrar till vägunderhållet. Skyltar med "privat väg" är därför sällsynt till skillnad från utlandet. Att det svenska landskapet är attraktivt beror därför inte enbart på att landskapet som objekt har skönhetsvärden, utan lika mycket på dess tillgänglighet, att betraktaren som subjekt överhuvudtaget kan färdas runt i landskapet och njuta med alla sinnen av skönheten, naturljuden, dofterna, det taktila sinnet under en vandringstur etc.

På grund av den spridda bebyggelsen är det svårt att i Sverige finna aggregatlägen utan att hamna nära ett bostadshus.

England

I England försökte lantmätarna ofta dra de nya ägo gränserna in mot byn så att bybebyggelsen kunde ligga kvar samlat som osplittrad by. Efter hand, kom dock den nya generationen på en gård att bygga upp en ny gård i centrum av sina ägor. Skiftesreformen slog igenom mer konsekvent i den östra och centrala delen av England än i den västra. (Hoskins 1955).

I England finns den mesta vindkraften i västra delen (Short Laurence 2002) som är mindre skiftad än den centrala och östra delen.

Danmark

Danmark startade skiftesreformer efter en lag 1781. Nästan alla byar kom att skiftas under perioden 1770-1810, men inte i alla byar splittrades bybebyggelsen. Genom "stjärn-skifte" på likande sätt som tidigt i England försökte man se till att varje gård fick markägor i en kil in till sina byggnader inne i byn. Många av byarna kom därför att kunna behållas osplittrade. (Rasmussen J. D. 1988 (p. 221). Det blev ändå en hög grad av utflyttning av gårdar från byarna till centrum av sina nya ägor, efter inspiration från Rutger Maclean. (Kampp Aa.H. 1981).

Från 1919 sponsrade danska staten en rationalisering av jordbruket med etableringen av nya jordbruk företrädesvis i den östra delen av Danmark som har den rikaste jorden. Det ledde till ökad spridning av gårdsbebyggelse centralt i nya ägor. Östra delen av Danmark med sandigare magra marker kom att i högre grad behålla byarna intakta och glesare struktur med spridd bebyggelse.

Den tätaste förekomsten av vindkraftstationer med mer än 8 aggregat finns i den västra delen som är blåsigast, men också påverkats mindre av skiftesreformer (Frode Birk Nielsen 2002).

Tyskland

På samma sätt som i västra Danmark finns i västra Tyskland utmed Nordsjökusten en stor koncentration av vindkraft, dubbelt så tät som utmed den danska västkusten enligt Hoppe-Kilpper M. and Urta Steinhäuser (2002, p 84). I Schleswig-Holstein svarade 2002 vindkraft för 19 % av delstatens elförsörjning. Skiftesreformen i Schleswig-Holstein började 1766, men i mindre radikal skala (*Verkoppelung*) än i Danmark (Christoph Schwahn 2002). Gårdarna blev i hög grad kvar i byarna (Kain, Baigent 1992). Christoph Schwahn noterade (2002) i en studie av Nordsjöns kustzon att de gamla poldrarna har enstaka utspridda gårdar inramade och dolda av vindskyddande grönska och med elledningarna nedgrävda för att minska den visuella påverkan. I kontrast till dessa äldre områden har de yngre poldrarna en modernare jordbruksstruktur med långa stora fält.

I Tyskland syftade skiftesreformerna från början i hög grad till att avskaffa feodala

servitut och öka böndernas självägande. Detta skedde ibland kombinerat med förändringar i den fysiska bruksstrukturen men inte alltid (ibid). Senare skiftesreformer (*Fleurbereinigung*) har varit betydligt mer radikala. Men även om marken skiftades samman till samlade bruksenheter, så behölls gårdarna oftast kvar i byarna. På 1900-talet förespråkades dock även utflyttning av gårdsbebyggelsen i den tyska, och även spanska lagstiftningen, (Moral-Lopez 1962). Men då var ägoenheterna betydligt större så gårdsbebyggelsen hamnade glesare.

I östra Tyskland fick jordbruket en storskalig struktur under DDR-tiden med stora statsägda bruksenheter fria från spridd bostadsbebyggelse. I dessa områden har under senaste decenniet etablerats flera stora gruppstationer, ändock med betryggande avstånd till bostäder.

Den tyska byggnadslagstiftningen medger i princip inte alls glesbebyggelse, utan alla bebyggelse måste föregås av detaljplan.

De tyska delstaterna har relativt hårdare riktvärden beträffande vindkraftverkens närhet till bostäder, t ex tillämpar Land Brandenburg 1 km till bostadshus, och Nordrhein Westfalen 35 dB(A). Sällan ligger man närmare än 1-1,5 km från bebyggelse med det närmaste aggregatet i Tyskland.

En studie av minimiavstånden mellan aggregat och bebyggelse för Skåne 1990-2003

En genomgång av alla tillståndsärenden i Skåne från 1990 till 2003, figur 1, (Skärbäck & Fagerström 2004) visar att 532 m var minsta avståndet mellan vindkraftsaggregat och hus fram till 2003. Någon analys av senare tillstånd har ej gjorts.

Shortest distance in metres between unit and buildings grouped by plant category. The figures in brackets indicate the number of plants (n)

Plants	1990 – 94	1995 – 99	2000 - 03
150 kW- 1 MW (erected "small plants")	278 m (9)	416 m (23)	360 m (22)
> 1 MW permitted by the County Administrative Board for the entire plant or parts of it, "large plants"	-	780 m (2) (Maglarp and Gipsón)	532 m (17)
> 1 MW rejected, refused or withdrawn whole or parts of the plant, "large plants")	-	-	461 m (14)

Figur 1. Kortaste avståndet mellan aggregat och byggnad i alla tillståndsärenden i Skåne 1990-2003.

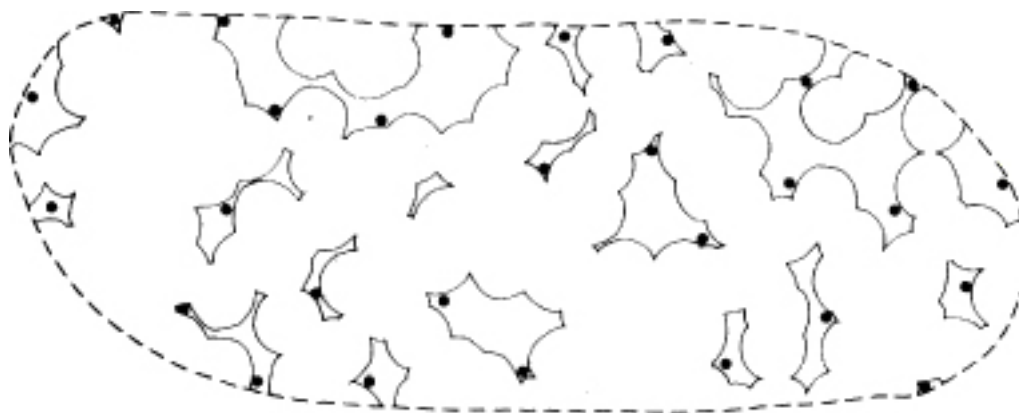
Sedan perioden 1990-94 har kortaste avståndet för tillstånd vuxit från 278 m till 532 m, perioden 2000-2003, för att aggregaten blivit allt större. Under mellanperioden var dock minimiavstånden större än idag sannolikt pga att man då tog i anspråk de lägen som hade glesast bebyggelse.

Efterhand som de bästa lägena tas i anspråk kan man i framtiden utgå från att det i kommande exploateringar blir allt trängre mellan aggregat och bebyggelse, samtidigt som aggregaten kommer att växa i storlek.

Nationell potentialberäkning 1984 (NE)

1983 gjordes på uppdrag av Nämnden för energiproduktionsforskning en potentialberäkning för de öppna slättbygder som då ansågs vindintressanta (Skärbäck 1984). Observera att hav, fjäll och skogsbygd inte ingick i studien. Varje vindintressant slättbyggd analyserades med avseende på bebyggelsestruktur, och olika dokumenterade skyddsintressen. Metodiken var att på ekonomiska kartan i skala 1:10 000 rita cirklar för olika minimiavstånd runt varje byggnad, varpå maximalt antal aggregat utanför dessa minimiavstånd söktes - se figur 2.

På 1980-talet, då aggregaten var relativt små trodde man att 250 m minimiavstånd skulle kunna räcka även för 3 MW-aggregat med 70 m höjd. Då upplevdes interferenseffekten mer dimensionerande, dvs att aggregat ansågs behöva ett minimiavstånd av 7 ggr turbindiametern sinsemellan för att inte störa ut varandras vindar. Då kalkylerades för storskalig utbyggnad med aggregat i storleken 2-3 MW, men även 7 MW.

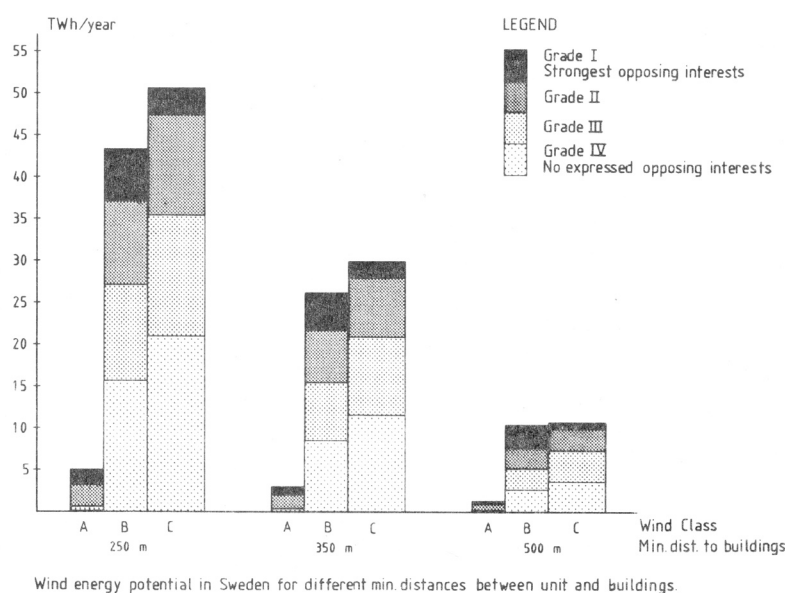


Figur 2. Exempel på placering av aggregat utanför minimiavstånd till bebyggelse (Skärbäck 1984, s 17).

Den studien resulterade i att det med 3 MW aggregat och endast 250 m minimiavstånd till bebyggelse skulle vara tekniskt möjligt, "brutto", att bygga ut för 99 TWh vindkraft på våra slättbygder förutsatt att man utnyttjar alla vindområden av SMHI klassade A, B och C, samt inte tar någon hänsyn till motstående uttalade allmänna markanvändningsintressen, t ex riksintressen för natur, kultur och rekreation - figur 3. Som exempel kan nämnas att Alvaret på Öland skulle kunna husera vindkraftverk för 4 TWh. Om man däremot bortser från alla uttalade motstående allmänna intressen så återstod med 250 m minimiavstånd ca 25 TWh, dvs 1/3.

Om man däremot ökar minimiavståndet till 500 m så minskar bruttopotentialen till ca 25 TWh och nettopotentialen till ca 6 TWh på dessa slättbygder.

Av figur 3 framgår hur snabbt potentialen med 3 MW-aggregat sjunker med ökat minimiavstånd till bebyggelse från 250, över 350 till 500 m minimiavstånd. Även 500 m har visat sig orealistiskt ur bullersynpunkt för så stora aggregat. I vilken takt potentialen minskar med ökande minimiavstånd från 400 m till 1000 m ger en annan studie indikation om, Sjöbo kommuns analys för planering av sin andel av riksintresseområden inom ramen för översiktsplanering år 2002.



Figur 3. Vindenergipotential i Sverige vid olika minimiavstånd mellan aggregat och bebyggelse (idag orealistiskt korta minimiavstånd) beräknad med 3 MW-aggregat. (Skärbäck 1984).

Analys vid kartering av riksintresseområden för vindkraft i Sjöbo

I Sjöbo kommuns lokaliseringsstudie för att identifiera riksintresseområden för vindkraft testades fyra olika minimiavstånd 400, 600, 800 och 1000 m minimiavstånd (Skärbäck 2002). Förutsättning var det 1996 formulerade målet av NUTEK att för hela landet identifiera riksintresseområden för vindkraft omfattande 2 TWh.

När NUTEKs mål bröts ner först på länen och därifrån på kommunerna, så definierades målet för Sjöbo kommun till 40 GWh. Studien visar att målet skulle kunna uppnås mer än tvåfalt 108 GWh om det skulle räcka med 400 m minimiavstånd och man dessutom tar hänsyn till motstående intressen, figur 4.

Minimum distance to building in metres	Possible production GWh/yr according to priority				Unsuitable owing to conflicting land use interests	Maximum gross production in GWh/yr
	1	2	3	1+2+3	prio. 0	1 + 2 + 3 + 0
400	36.5	27.2	44.8	108.5	83.3	191.8
600	13.2	6.4	6	25.6	32.4	58
800	1.7	0	0	1.7	3.4	5.1
1000	1.7	0	0	1.7	0	1.7

Figur 4. För Sjöbo maximal bruttopotential vindkraft, samt potentialen i områden med uttalade motstående markanvändningsintressen vid olika minimiavstånd till bebyggelse (Skärbäck 2002).

Vid 600 m, som är närmare minimiavstånden i dagens prövningsärenden, så kan man inte nå sin del av ett 2 TWh-mål utan att ta i anspråk hälften av den potentiella vindkraftsareal som har motstående allmänna markanvändningsintressen.

Vid 800 m minimiavstånd skulle Sjöbo bara kunna nå 1/10 av sin del av 2 TWh-målet, och då utgörs mer än halva den arealen av områden som har motstående allmänna intressen. Vid 1000 m minimiavstånd kan bara uppnås ca 5% av Sjöbos andel av det dåvarande nationella målet om 2 TWh.

Här skall reserveras för att ingen vindkraftskommun är lik den andra. Man bör dock erinra sig om att skiftesreformerna genomfördes på ungefär samma sätt över hela landet (utom i Dalarna), varför strukturen beträffande bebyggelsens spridning över slätterna är ungefär den samma. Den största skillnaden är kanske att storgodsens marker i större utsträckning har större sammanhängande åkermarker utan bebyggelse, så även i Sjöbo med Övedskloster, Sveriges främsta exempel på barocklandskap.

Diagram 1 visar Sjöbos potentialer inklusive respektive exklusive motstående intressen vid de olika minimiavstånden från 400 till 1000 m.

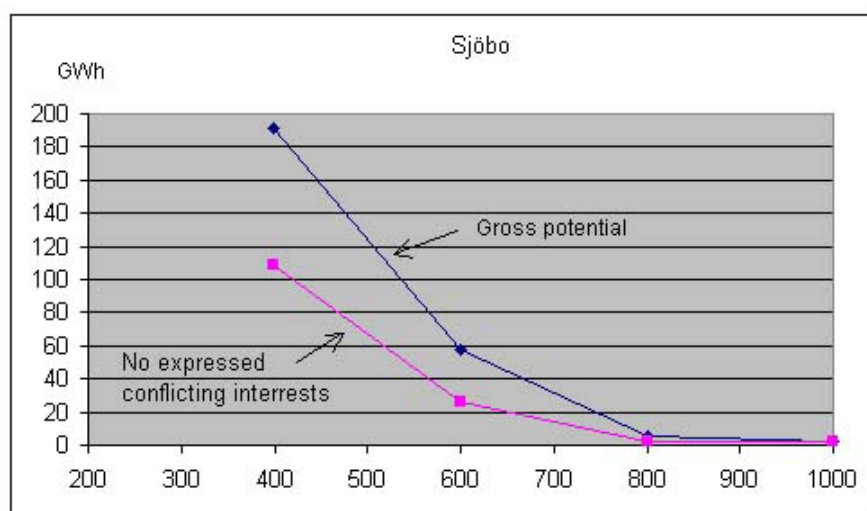


Diagram 1: Total potential vindkraft i Sjöbo som en funktion av minimiavstånd till bebyggelse. Övre kurvan visar bruttoproduktion utan hänsyn till motstående intressen och den undre möjlig produktion vid exkludering av uttalade motstående intressen.

Om man ponerar att Sjöbo ungefär representerar genomsnittet av Sverige beträffande bebyggelsens spridning i slättlandskapen, så kan man genom att föra ihop Sjöbos diagram för de långa avstånden med motsvarande diagram från den nationella potentialstudien 1984 för de kortare minimiavstånden, 250 – 500 m få en indikation beträffande den nationella potentialen för slättlandskapen vid de längre avstånden.

Beräkning av Sveriges potentialer i slättbygder med olika minimiavstånd.

Sjöbos diagram har lagts samman med analysresultaten från 1984 för dels f.d. Malmöhus län – diagram 2, dels alla Sveriges vindintressanta slättbygder sammantaget – diagram 3. När man lägger ihop dessa studier, så är det inte självklart hur deras kurvor skall mötas. Är det bruttopotentialkurvorna som skall mötas eller nettopotentialkurvorna? För f.d. Malmöhus län spelar detta ingen roll, diagram 2. De möts på ungefär samma sätt vad man än väljer.

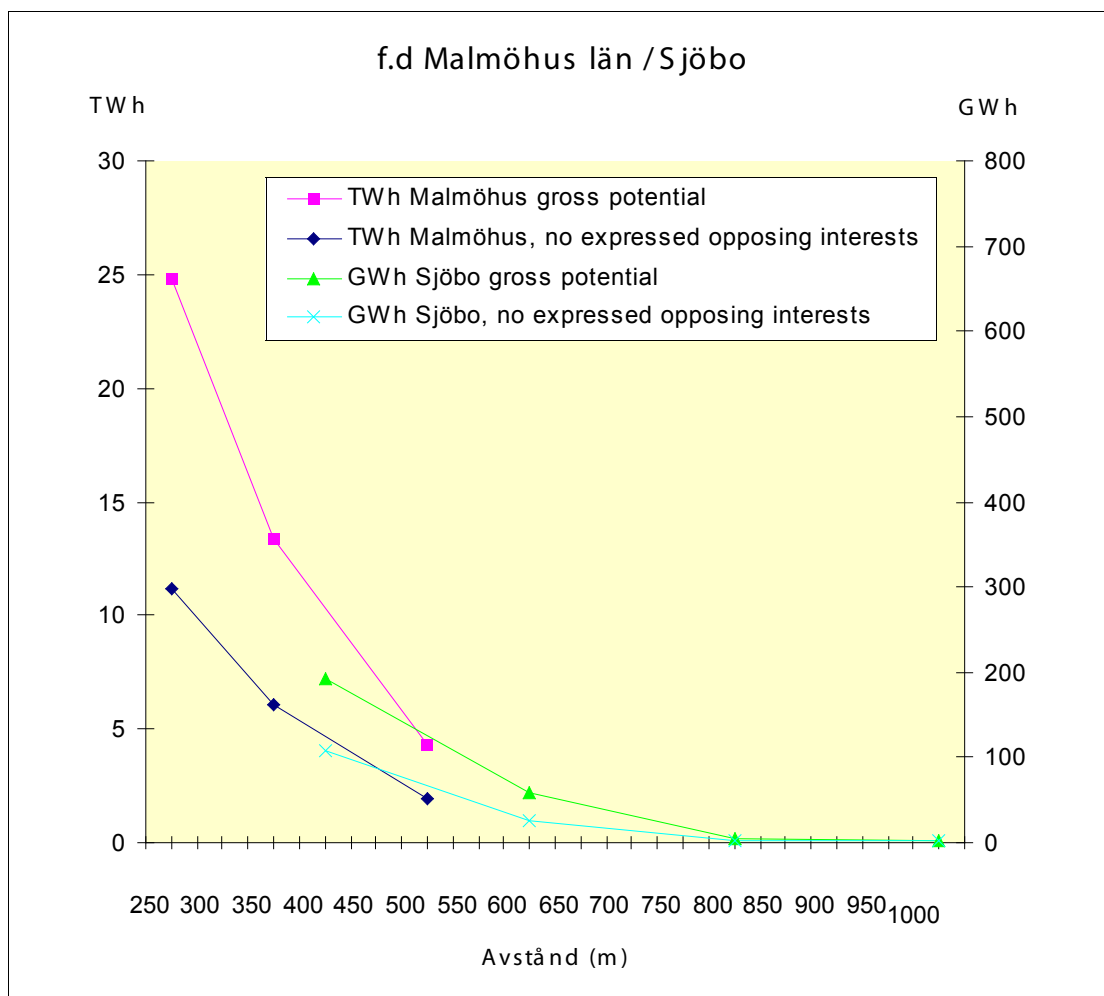


Diagram 2. Sjöbo kommuns kurvor 2002 sammanbundna med f.d. Malmöhus läns motsvarighet från potentialberäkningen 1984. Dvs potential vindkraft som en funktion av minimiavstånd till bebyggelse. Övre kurvan visar bruttoproduktion utan hänsyn till motstående intressen och den undre möjlig produktion vid exkludering av uttalade motstående intressen.

För Sverigediagrammet, [diagram 3](#), skiljer det mer mellan brutto- och nettokurvan. Det beror på att betydligt större andel av vindkraftspotentialen utanför Skåne är koncentrerat till kustområden med stora motstående allmänna intressen. Dessutom har Alvaret på Öland mycket stor potential även när man räknar med långa minimiavstånd till bebyggelse, eftersom Alvaret har mycket ringa bebyggelse.

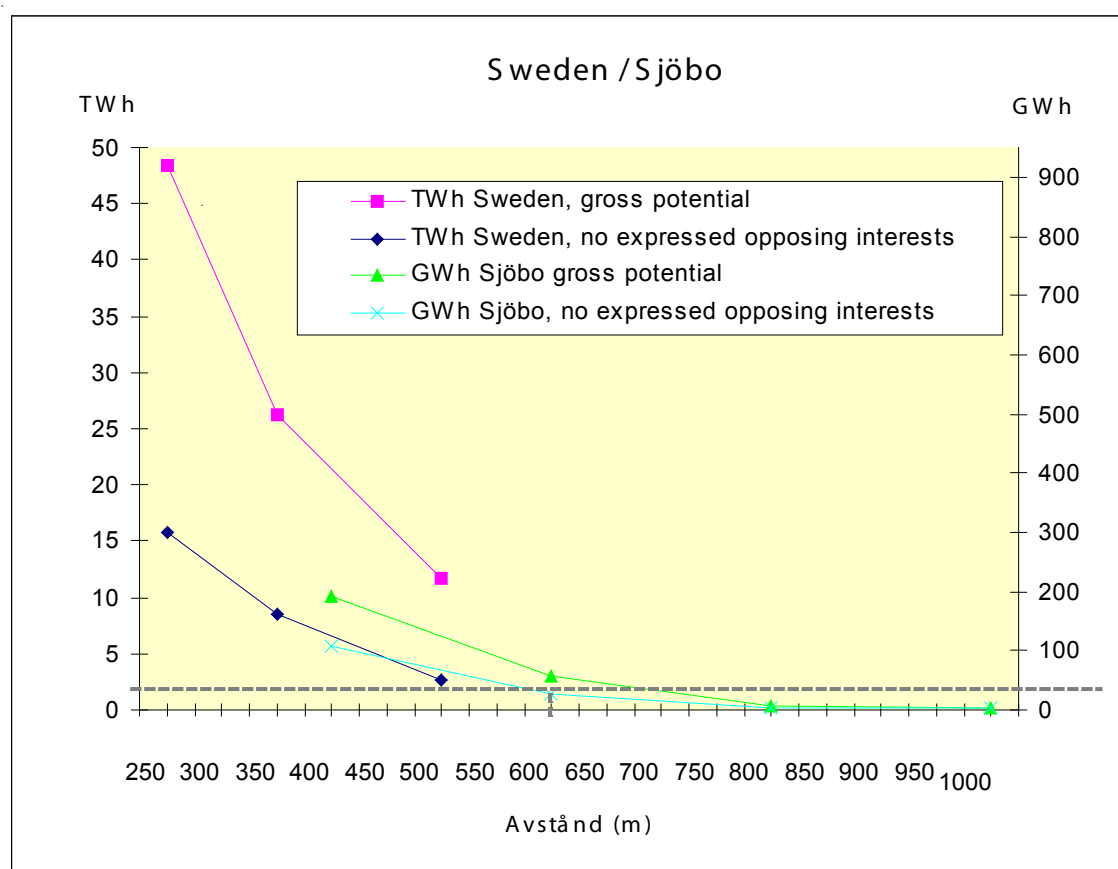


Diagram 3. Sjöbo kommuns kurvor sammanbundna med hela Sveriges motsvarighet från potentialberäkningen 1984. Dvs potential vindkraft som en funktion av minimiavstånd till bebyggelse. Övre kurvan visar bruttoproduktion utan hänsyn till motstående intressen och den undre möjlig produktion vid exkludering av uttalade motstående intressen, f.a. pga stor andel kustzoner och Alvaret.

Oavsett vilken kurva man går på, de undre eller övre, dvs vilken grad av hänsyn man tar till motstående allmänna intressen, så är det uppenbart att man kan lokalisera vindkraft för endast några få TWh på våra jordbruksslätter om man räknar med så långa minimiavstånd till bebyggelse som tillämpas i Tyskland.

Diskussion

Det är uppenbart att den konsekventa utflyttningen av gårdar till centrum av de nya ägorna är ett karaktärsdrag för Sverige och en viktig orsak till trögheten i utbyggnaden. Vid enskilda lokaliseringsärenden kommer foljdriktigt närboenden närmare aggregat och utsätts för mer bulleröstörning i Sverige än i övriga studerade länder. I Sverige blir avstånden mellan aggregat och bostad i allmänhet betydligt kortare än vad som är gängse internationellt, t ex i Tyskland med en stor andel av de närboende som upplever sig mycket störda av buller. Detta står klart för öppna och halvöppna jordbruksbygder enligt SMHIs gamla vindklassning i A, B och C-områden. Hur motsvarande

situation blir i de nya områden, skogsbygder, som på senare år utreds för vindkraft är inte studerat. Visserligen skärmar skog den visuella bilden, men vegetation ger inte effektiv bullerskärming. Aggregaten görs betydligt högre än tidigare projekterat för slättbygder, och skiften med gårdsutflyttning genomfördes även i skogsbygd.

Den berörda landsbygdsbefolkningen, närboende, beskylls ibland som särskilt gnälliga med avseende på NIMBY-effekten, men det är av allt att döma orättvist.

Vilka konsekvenser och följdkonsekvenser kan en fortsatt storskalig vindkraftsutbyggnad få för landskapet, och hur kan negativa konsekvenser förebyggas? Ja, detta är en stor och svår fråga att besvara som kräver forskning från många discipliner. Här kan målas upp ett worst case scenario, som kanske kan inträffa om utbyggnadsplaneringen sker för snabbt och med bristande hänsyn till den berörda befolkningen. Med bättre dialog, empati och konkreta åtgärder kan kanske följande scenario undvikas.

Olämpligt genomförda vindkraftslokaliseringar kan leda till successiv övergivning av berörda landskap. Som sagt inledningsvis är människans närvaro en vital del av landskapet. Övergivning kan ske på två sätt, med ekonomiska incitament kan vindkraftsintressenter lösa in och riva hindrande bebyggelse, samt oacceptabla bullerstörningar kan driva boende att flytta självmant.

Genom att få bort enstaka bebyggelse kan lokaliseringsmöjligheterna öka väsentligt. Vid detaljerade lokaliseringsstudier kan man se hur en enda gård kan hindra flera annars möjliga vindkraftslägen. Störste delen av den äldre jordbruksbebyggelsen används inte längre för jordbruk pga successiva sammanslagningar av brukningsenheter, men gårdsbebyggelsen är avstyckad och bostaden är ofta bebodd eller används som fritidsbostad. Därmed bidrar innehavarna av dessa fastigheter till den samlade landsbygdens liv med köpkraft, vägunderhåll, vidmakthållande av kulturbebyggelse och skötsel av gårdsnära vegetation och inte så sällan andra naturvårdsinsatser.

Många har valt detta boende för de har behov och preferenser för landsbygdens rofylldhet. Samma sak gäller för besöksturister från när och fjärran. En växande kategori besökare från europeiska kontinenten är människor som söker stillheten och naturkontakten i det tillgängliga svenska landskapet. Flera av dessa köper och övertar fastigheter som den alltmer urbaniserade svenska befolkningen med sin ringa numerär inte ensam kan fortsätta förvalta. Ändå är svenskarna tillsammans med norrmännen de som har störst andel fritidshus per capita.

För bygder där störningarna blir stora måste vi räkna med påtagliga risker för övergivningseffekter, att närboende röstar med fötterna, dvs flyttar.

Både frivillig övergivning eller inlösen är fenomen som kan ske successivt utan några ställningstaganden från myndigheter. Där de börjar inträffa kan utvecklingen ske i en ond spiral, svår att stoppa. Förlorarna är inte bara den kvarvarande landsbygdsbefolkningen, utan även tillfälliga besökare som också överger ett degraderat landskap. De samhällsekonomiska konsekvenserna av vikande befolkningsunderlag och vikande turism är också en faktor att beakta.

Förste steget att förebygga sådan negativ utveckling är att erkänna det svenska landska-

pets särart med spridd bebyggelse och ta på allvar att många närboende kan uppleva bullerstörningarna som oacceptabla.

En slutsats är att man bör kunna räkna med samhällsekonomisk vinst av att bibehålla den spridda bebyggelsen på landet och därigenom också kunna vidmakthålla det ännu välfungerande och tillgängliga vägnätet som ger exportintäkter i form av turism.

En ytterligare aspekt som inte berörts i tidigare vindkraftsutredningar är den senaste forskningen om miljöperception och landskapets betydelse för stressreduktion. Rofylldhet, rymdkänsla och upplevelser av kulturarvet är några av de karaktärer i miljön som befunnits motsvara grundläggande behov hos människan (Grahm 2005). Stress orsakas bl a av frekvent exponering av "aggressiv information", dvs information i vår omgivning som pockar på vår uppmärksamhet. Den friare naturens information, benämnd "mjuk information", har vi vant oss vid under årsmiljoner, tar därför inte så mycket mental energi utan påverkar oss undermedvetet och svarar för en väsentlig del av vår stressreduktion. Stress har i olika undersökningar beräknats kosta samhället runt 100 mrd kr per år i sjukvårdskostnader, förlorade arbetsinkomster och företagens förlorade intäkter.

Mycket talar för att man i Sverige bör hålla minimiavstånd mellan vindkraftsverk och bebyggelse som inte avviker från vad som är gängse i Europa, kanske 800 – 1000 m, helst mer, och att det hålls breda landskapszoner mellan större lokaliseringsområden fria från aggregat.

Utan någon form av reglering, tydliga hänsynsregler till landskapsbildens samhällsekonomiska värden och vederbörlig hänsyn till berörda människors livsmiljö och hälsa kan konsekvenserna bli ohanterliga.

Litteratur

Riksdagenb. 2008. "En sammanhållen klimat- och energipolitik - energi", prop 2008/09:163.

Rätt plats för vindkraften (Right place for wind power), Part 2, SOU 1999:75

Riksintresse för vindkraft (National interest for wind power), Draft from NUTEK 1996-06-02

Vindkraft i Skåne, analys och konsekvenser av olika scenarier, Skåne i utveckling 2003:35 (Wind power in Skåne – Analysis and impacts of different scenarios, Skåne under development), Skåne County Administrative Board

Skärbäck E., Fagerström G. 2004. Landsbygdsbebyggelsen hinder för vindkraftsutvecklingen (opublicerad utredning sept 2004) SLU Alnarp/ Länsstyrelsen i Skåne.

Skärbäck E. 2002. Vindkraft i Sjöbo kommun, underlag för översiktsplanering

(Wind power in the municipality of Sjöbo, special assesment for the Sjöbo compransive plan) 2002. Sjöbo kommun.

PM, Precisering av riksintresset för vindenergi (Clarification of national interest for wind power), Skåne County Administrative Board, 1997.

Vindatlas för Sverige (Wind Atlas for Sweden) 1994, SMHI, Norrköping

Lokalisering för vindkraft och radiomaster i Skåne” (Localisation of wind power and radio masts in Skåne), August 1996, Skåne County Administrative Board

Skärbäck, E., VBB-SWECO, 1984-10-22 commissioned by the National Energy Administration, Sweden. The Potential for Wind Power in Sweden. Reprinted from: Wind Engineering, Vol.9, No.1, 1985. Multi-Science Publishing Co Ltd, 42/45 New Broad Street, London EC2M 1QY.

Hoskins W. G. The Making of the English Landscape, Pelican Books 1970, Penguin Books

Short, Laurence. Wind Power and English Landscape Identity. *From Wind Power in View, Energy landscapes in a crowded world*, Academic Press. 2002. pp 43-58

Kain Roger J. P. and Elizabeth Baigent, 1992, The Cadastral Map in the Service of the State, University of Chicago Press

Thulin G. Historisk utveckling av den svenska skifteslagstiftningen med särskilt avseende å delningsgrund vid laga skifte, 1911 (Historical development of Swedish land consolidation regarding the ”laga skifte”)

Kampp Aa.H. Agerlandets Geografi, 1981, Danmark Natur, Bind 8

Rasmussen Jörgen Dieckmann, 1988, 1860-1914, *In Björn C. et al. 1988, Det danske landbrugs historie III, 1810-1914*, Landbohistorisk Selskab, Bind 3, AiO Tryck as, Odense.

Nielsen Frode Birk, A Formula for Success in Denmark. *From Wind Power in View, Energy landscapes in a crowded world*, Academic Press. 2002. pp 115-132

Moral-Lopez Pedro, 1962, Principles of Land Consolidation Legislation: A Comparative Study, FAO legislative series, 3, Rome

En analyse af lavfrekvent støj fra store vindmøller¹

*Af Christian Sejer Pedersen, Henrik Møller, Steffen Pedersen. Akustik, Aalborg Universitet, Fredrik Bajers Vej 7, B5, 9220 Aalborg Ø, Danmark
cp@acoustics.aau.dk*

RESUMÉ

I undersøgelsen analyseres målinger af støjen fra 65 vindmøller, 25 store (2,3-3,6 MW) og 40 små (op til 2 MW).

Resultaterne viser, at store vindmøller udsender relativt mere lavfrekvent støj² end små vindmøller. Efterhånden som støjen bevæger sig væk fra møllen, bliver det lavfrekvente indhold endnu mere udtalt, fordi luftens absorption reducerer de høje frekvenser mere end de lave.

Ser man på det A-vægtede lydtryk udendørs i relevante naboafstande, udgør de lave frekvenser en væsentlig del af støjen. Der er derfor ingen tvivl om, at den lavfrekvente del af støjspektret har betydning for naboernes oplevelse af støjgener fra store vindmøller.

Den lavfrekvente støj kan også genere indendørs, naturligvis afhængigt af lydisolationen. Hvis det udendørs lydtryk for den totale støj ligger i nærheden af det maksimalt tilladelige i Danmark³, er der risiko for, at en betragtelig del af naboerne vil være generede af lavfrekvent støj, selv indendørs.

Forskellen i lavfrekvent støj fra små til store møller kan udtrykkes som en forskydning nedad i frekvens af det relative frekvensspektrum på omkring 1/3 oktav. Et yderligere skift af lignende størrelse må forventes for vindmøller i 10 MW størrelsen med dertil svarende forøgede gener fra lavfrekvent støj.

Vindmøllerne udsender også infralyd⁴, men når man tager menneskets følsomhed overfor disse frekvenser i betragtning, er der tale om meget lave niveauer. Selv tæt på møllerne er lydtrykket langt under den normale høretærskel. Infralyd betragtes derfor ikke som et problem for møller af konstruktion og størrelse som de undersøgte møller.

Under visse atmosfæriske betingelser kan støjen fra vindmøller være mere generende og – især den lavfrekvente del – udbrede sig meget længere end normalt antaget. Det er nødvendigt med mere viden om sådanne fænomener og deres forekomst.

1 INTRODUKTION

På symposiet "BULLER I BLÅSVÄDER" den 25. marts 2011 i Lund, Sverige, blev der

-
- 1 Hele rapporten kan downloades fra følgende hjemmeside: http://www.es.aau.dk/sections/acoustics/press/opdateret_rapport_om_stoej_fra_vindmoeller/
 - 2 Støj i frekvensområdet 20-200 Hz
 - 3 Et A-vægtet lydtrykniveau på 44 dB
 - 4 Lyd med frekvenser under 20 Hz

præsenteret overordnede resultater fra en undersøgelse, som er publiceret i sin fulde længde i rapporten "Lavfrekvent støj fra store vindmøller - opdateret 2011"⁵

Dette er en kort gennemgang af de præsenterede data. Statistiske analyser, yderligere analyser og detaljer findes i rapporten. Rapporten indeholder desuden en gennemgang af tidligere undersøgelser.

1.1 Oversigt over undersøgelsen

I projektet blev støjen fra fire store vindmøller målt, støjdata for 61 andre små og store møller blev indsamlet, og den lavfrekvente lydisolationen blev målt for ti rum i normale beboelseshuse. Disse data bruges til at undersøge forbindelsen mellem udsendt lydeffekt og møllestørrelse. Kildespektrene analyseres og diskuteres, og især den hypotese, at spektret bevæger sig mod lavere frekvenser for stigende møllestørrelse, undersøges. Udendørs og indendørs spektre i relevante naboafstande analyseres og diskuteres. Målingerne og dataindsamlingen blev foretaget af Delta, og flere detaljer kan findes i de originale rapporter [1, 2, 3, 4, 5].

2 METODER

2.1 Vindmøller

Der indgik i alt 65 vindmøller i projektet, 25 "store" med nominel effekt på mere end 2 MW og 40 "små" med nominel effekt på op til 2 MW. Alle møller var tre-bladede med rotoren placeret på vindsiden af tårnet ('forløbere').

2.2 Udsendt lydeffekt

Den lydeffekt, som udsendes fra vindmøllerne, blev målt i overensstemmelse med standarden IEC 61400-11 [6]. Princippet i denne standard er at måle lyden på en reflekterende plade anbragt på jorden nedenfor vindmøllen i en vandret afstand svarende til cirka møllens totale højde. Det målte lydtrykniveau konverteres til lydeffektniveau for en imaginær punktkilde i rotorens centrum, som ville udsende den samme lyd i den retning, hvor målingen er foretaget. Resultatet betegnes det *apparente lydeffektniveau*, hvor 'apparente' understreger, at det ikke er den sande lydeffekt, men den effekt som 'ses' i den målte retning.

Det apparente lydeffektniveau blev bestemt for 1/3-oktavbånd og som et samlet A-vægtet niveau, L_{WA} . Desuden blev et særligt lavfrekvensmål, L_{WALF} , det apparente A-vægtede lydeffektniveau for 1/3-oktavbåndene 10-160 Hz beregnet. Det A-vægtede lydtrykniveau for dette frekvensområde, L_{pALF} , benyttes af de danske retningslinjer for lavfrekvent støj.

Data blev fremskaffet for alle møller i læretningen, benævnt *referenceretningen*, ved en vindhastighed på 8 m/s (10 m over jorden).

2.3 Udendørs lydtrykniveau ved naboer

Fritfelt-lydtrykniveau, L_p , hos naboer i læretningen blev beregnet efter metoden i

5 Hele rapporten kan downloades fra følgende hjemmeside: http://www.es.aau.dk/sections/acoustics/press/opdateret_rapport_om_stoej_fra_vindmoeller/

ISO 9613-2 [7], bortset fra at der blev anvendt 1/3-oktavbånd i stedet for oktavbånd.

Retningen til naboer er mere vandret end den retning, hvor det apparente lydeffektniveau blev målt, men i mangel af mere præcise data, blev lydeffektniveauet plus retningsfaktoren, $L_w + D_c$, erstattet af det apparente lydeffektniveau, L_{WA} , for referenceretningen. Dæmpningen som følge af atmosfærisk absorption, A_{atm} , blev beregnet ved hjælp af data fra ISO 9613-1 [8] for 10° C og en relativ luftfugtighed på 80 %. 'Dæmpningen' på grund af jordens indvirkning, L_{gr} , blev sat til -1,5 dB, hvilket betyder, at der lægges 1,5 dB til den direkte lyd fra møllen. De to resterende led i ISO 9613-2 (dæmpninger på grund af en eventuel barriere A_{bar} og diverse A_{misc}) blev sat til nul.

Hvis den skrå afstand fra rotorcenter til observationspunktet betegnes d , og dæmpningskonstanten er α , bliver

$$L_p = L_{WA} - 20 \text{ dB} \cdot \log_{10} \left(\frac{d}{1 \text{ m}} \right) - 11 \text{ dB} - \alpha \cdot d + 1.5 \text{ dB} \quad (1)$$

Denne beregning svarer til den, der anvendes i den danske regulering af støj fra vindmøller [9]. Bemærk at den svenske beregningsmetode er anderledes, og resultaterne kan derfor ikke direkte sammenlignes med svenske grænser.

2.4 Lydisolation

For at gøre det muligt at beregne den lavfrekvente støj indendørs, blev lydisolationen ved lave frekvenser målt for ti rum, to rum i hvert af fem normale beboelseshuse [4].

Lydisolationen blev målt for 1/3-oktavbåndene i frekvensområdet 8-200 Hz, og den blev beregnet som forskellen mellem udendørs fritfelt-lydtrykniveau og indendørs lydtrykniveau.

2.5 Indendørs lydtrykniveau ved naboer

Indendørs lydtrykniveauer blev fundet ved at trække lydisolationen fra det udendørs fritfelt-lydtrykniveau, begge givet i 1/3-oktavbånd.

2.6 Statistiske metoder

Forskelle er testet med Student's t-tests, og den højeste p-værdi, der regnes som signifikant og rapporteres, er 0,05.

3 RESULTATER OG DISKUSSIONER

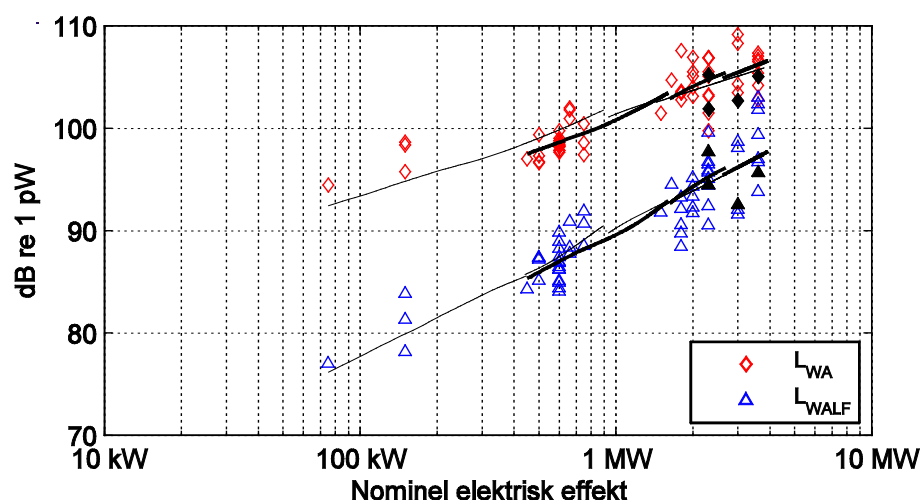
For tre af vindmøllerne, en på 1650 kW og to på 2,3 MW (Mølle 24 og 25) findes der ikke data for 1/3-oktavbånd, hvorfor kun L_{WA} og L_{WALF} rapporteres. For de små møller er data ved og under 50 Hz domineret eller påvirket af baggrundsstøj (vindstøj) [3], hvorfor disse data er udeladt i de statistiske analyser og vist med stiplede linje i alle figurer. En ekstra vindhætte til mikrofonen blev udviklet og benyttet ved de store

møller [1]. Der er enkelte uoverensstemmelser mellem de data, som Delta har angivet i de forskellige rapporter, tabeller og figurer.

3.1 Udsendt lydeffekt

3.1.1 L_{WA} og L_{WALF}

Figur 1 viser L_{WA} og L_{WALF} for alle møllerne som funktion af møllestørrelse.



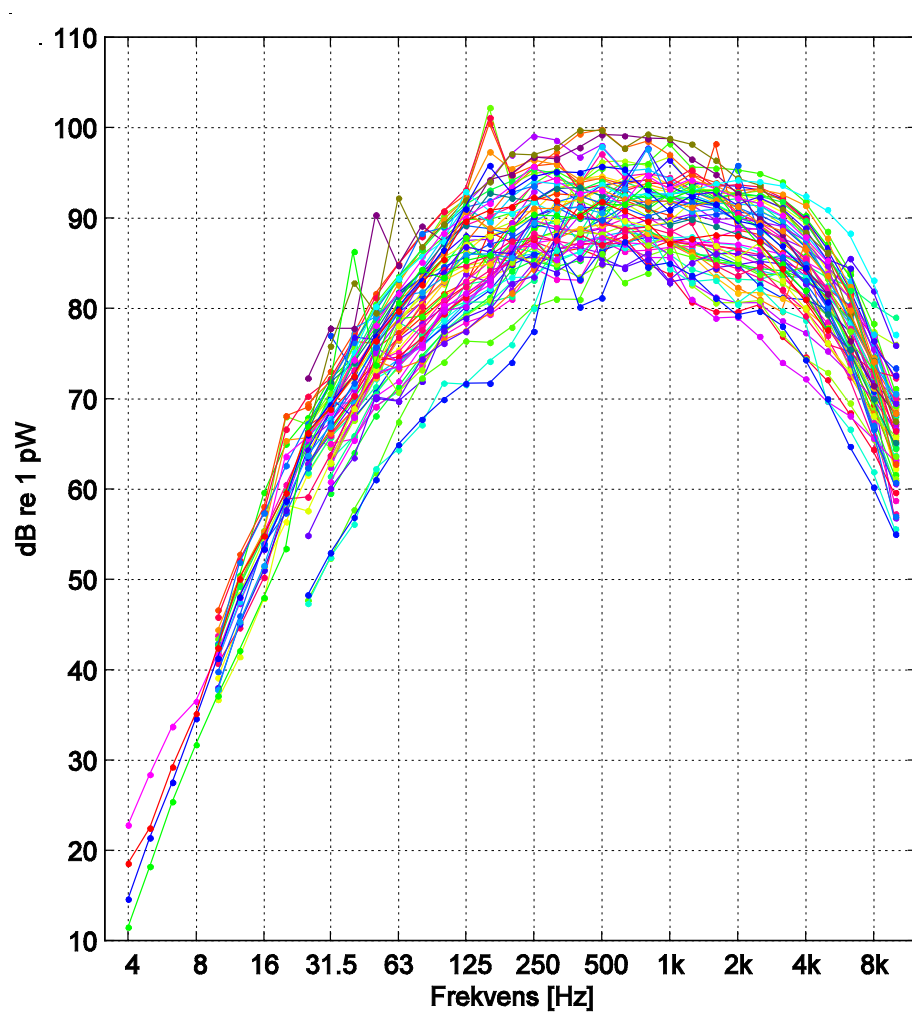
Figur 1. Lydeffektniveauer (L_{WA} and L_{WALF}) som funktion af møllestørrelse for 65 møller. Referenceretning, vindhastighed 8 m/s. Regressionslinjer: Alle møller medregnet (tynde linjer), fire møller under 450 kW ikke medregnet (tykke linjer). Sorte symboler gælder prototypemøllerne, Mølle 1-4.

Det ses – ikke overraskende – at både L_{WA} og L_{WALF} stiger med stigende møllestørrelse. Det bemærkes også, at L_{WALF} stiger kraftigere end L_{WA} , hvilket betyder, at den relative andel af lavfrekvent støj stiger med stigende møllestørrelse. Forskellen på regressionslinjernes hældning for alle data (tynde linjer) er statistisk signifikant. Da det kan hævdes, at de fire mindste møller måske ikke er repræsentative for moderne vindmøller, er der også beregnet regressionslinjer uden disse møller (tykke linjer). Hældningerne er lidt højere end med alle møller inkluderet, og forskellen er mindre, men stadig statistisk signifikant.

Det ses også af Figur 1, at der er nogen variation mellem møller af samme størrelse.

Lydeffektniveau i 1/3-oktavnband

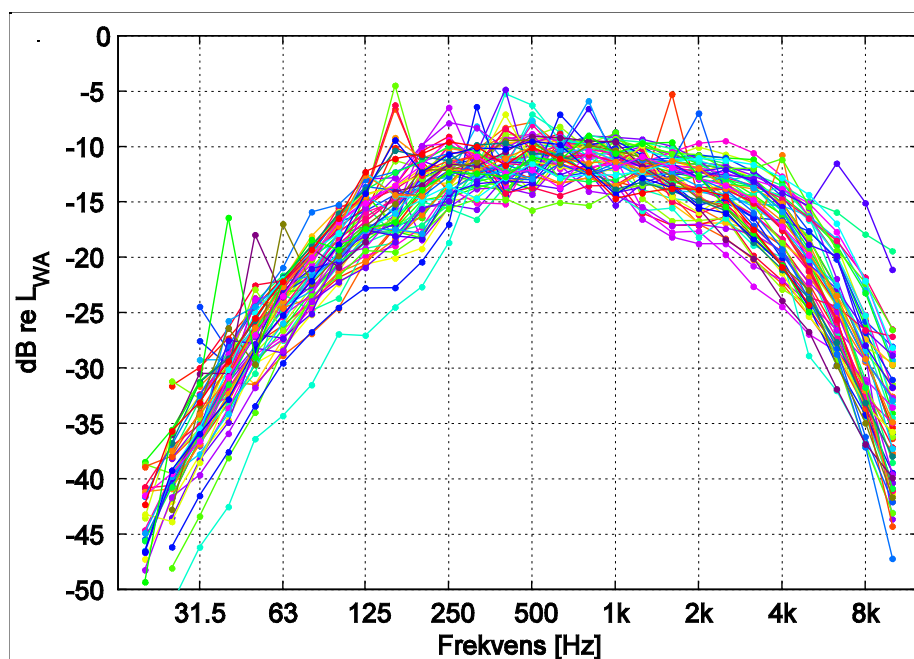
Lydeffektniveauer i 1/3-oktavnband er vist i Figur 2.



Figur 2. A-vægtede lydeffektniveauer i 1/3-oktavnband. 62 møller med nominel elektrisk effekt mellem 75 kW og 3,6 MW.

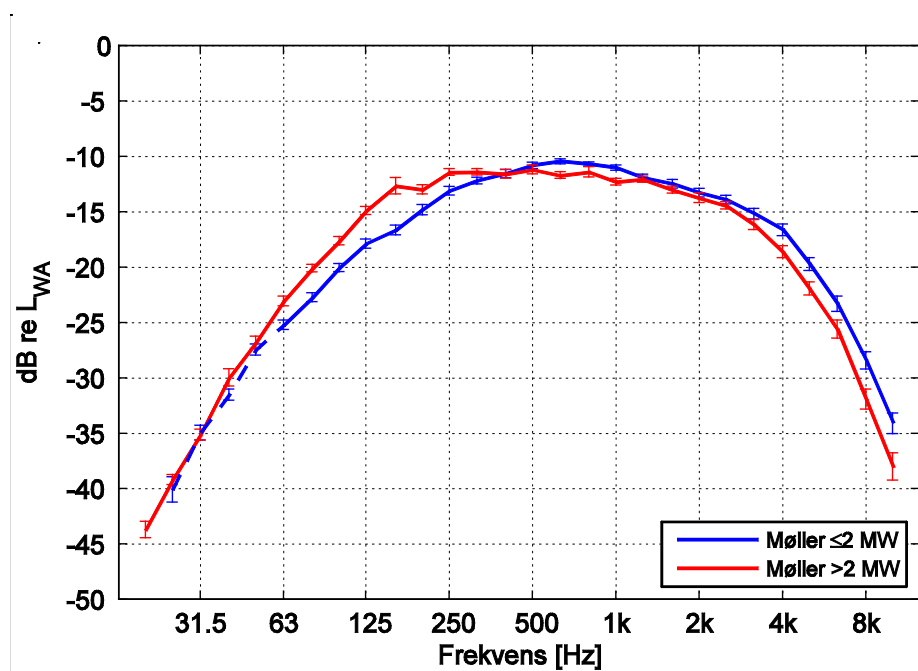
Vedrørende infralyddelen af spektret, er niveauerne så lave, at de selv tæt på møllen, f.eks. i en afstand af 150 m fra rotorens centrum, vil være langt under den normale høretærskel. Denne beregning tager ikke højde for eventuelle nærfeltsfænomener, f.eks. fra en vinge, der passerer tæt på.

Ved de frekvenser, hvor der er data for alle møller, varierer niveauet mellem møllerne med 20 dB eller mere. Dette er forventeligt, da møllerne omfatter et stort område af nominel elektrisk effekt. For tydeligere at vise mulige spektrale forskelle mellem møllerne er niveauerne i 1/3-oktavnband normeret til den enkelte mølles samlede A-vægtede lydeffektniveau L_{WA} . Resultatet er vist i Figur 3.



Figur 3. Normerede A-vægtede lydeffektniveauer i 1/3-oktavbånd. 62 møller med nominel elektrisk effekt mellem 75 kW og 3,6 MW. (Normeret svarer til, at L_{WA} for den individuelle mølle er trukket fra alle niveauerne i 1/3-oktavbånd).

En eventuel forskel i spektret mellem små og store møller er undersøgt ved at opdele møllerne i to grupper: Møller op til og med 2 MW, og møller over 2 MW. Figur 4 viser middelværdi og standardafvigelse af middelværdi (standard error of mean, s.e.m.) for hver af de to grupper.

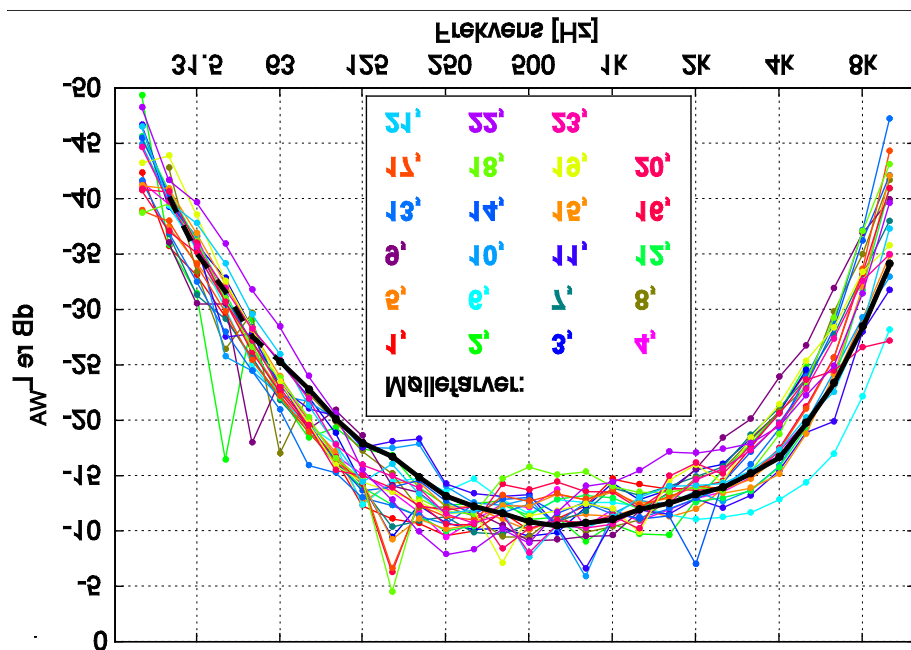


Figur 4. Normerede A-vægtede lydeffektniveauer i 1/3-oktavbånd. Middelværdier for to grupper af møller: $\square$ 2 MW og $\square$ > 2 MW. Lodrette streger angiver ± 1 standard error of mean (s.e.m.).

Spektret ligger tydeligt lavere i frekvens for de store møller end for de mindre møller. Forskellen i niveau er signifikant for 1/3-oktavbåndene 63-250 Hz, 630 Hz, 1000 Hz, og 4-10 kHz

De signifikante forskelle mellem små og store møller er moderate, 2,2-4,0 dB ved 63-160 Hz, men systematiske, og selv små forskelle kan påvirke menneskers opfattelse af lyd ved lave frekvenser. Hertil kommer, at hvis lave frekvenser er afgørende for kravene til afstand til naboer, kan små forskelle have stor indflydelse på den nødvendige afstand.

Figur 5 viser middelværdien af de små møller op til og med 2 MW og de enkelte møller på over 2 MW.



Figur 5. Normerede A-vægtede lydeffektniveauer i 1/3-oktavnband. Middelværdi af 39 møller $\geq$ 2 MW (tyk sort linje) og 23 individuelle møller $>$ 2 MW.

De store møller ligger over middelværdien af de små møller i næsten hvert eneste 1/3-oktavnband under 315 Hz. Nogle af møllerne har en top i et eller flere 1/3-oktavnband, hvilket kan skyldes tonale komponenter. Toner kan stamme fra møllens mekaniske dele, f.eks. gearkassen eller hjælpeudstyr såsom generatorens kølesystem (se f.eks. Wagner et al. [10]).

3.2 Udendørs lydtrykniveau ved naboer

For hver af møllerne er beregnet den afstand, hvor det A-vægtede lydtrykniveau er faldet til 35 dB. Pedersen og Waye [11] har vist, at andelen af stærkt generede personer når op over 5 % omkring ved dette lydtrykniveau, og andelen af generede når over 10 % (Pedersen et al. [12]). Pedersen og Nielsen [13] har anbefalet en minimumsafstand fra vindmøller til naboer, så møllestøjen er under 33-38 dB. En grænse på 35 dB bruges ved vindmøller, f.eks. i Sverige for stille områder [14]. Det er også den grænse, der gælder i Danmark i områder med åben og lav boligbebyggelse (nat) og i rekreative områder (aften, nat og weekend) for støj fra virksomheder [15] (men ikke for vindmøllestøj [9]). 35 dB synes derfor at være en ganske fornuftig grænse for vindmøllestøj. Tabel 1 viser afstanden til de enkelte store møller samt forskellige nøgletal ved 35 dB grænsen.

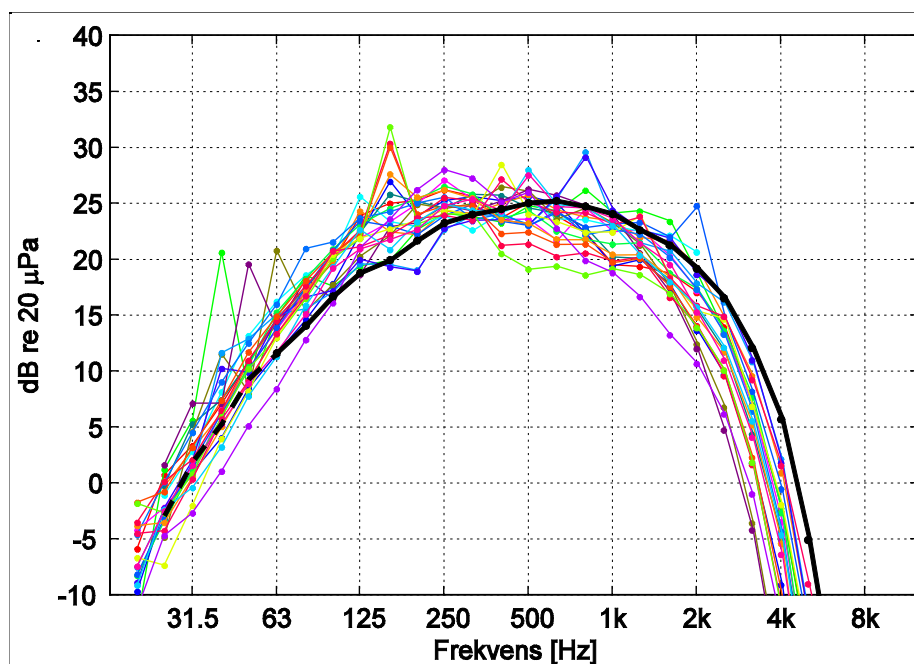
Mølle	Afstand	L_{pA}	L_{pALF}	$L_{pALF} - L_{pA}$	L_{pG}
	[m]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
1	629	35,0	28,8	-6,2	59,1
2	647	35,0	26,7	-8,3	54,5
3	879	35,0	28,9	-6,1	55,0
4	822	35,0	27,6	-7,4	58,0
5	679	35,0	28,0	-7,0	
6	751	35,0	29,2	-5,8	
7	713	35,0	28,8	-6,2	
8	1.227	35,0	27,0	-8,0	
9	1.144	35,0	27,0	-8,0	
10	676	35,0	25,3	-9,7	
11	715	35,0	25,2	-9,8	
12	847	35,0	28,6	-6,4	
13	768	35,0	29,2	-5,8	
14	631	35,0	28,0	-7,0	
15	962	35,0	29,8	-5,2	
16	1.078	35,0	31,7	-3,3	
17	1.042	35,0	31,5	-3,5	
18	1.038	35,0	32,7	-2,3	
19	594	35,0	27,2	-7,8	
20	495	35,0	26,9	-8,1	
21	861	35,0	26,5	-8,5	
22	1.054	35,0	26,3	-8,7	
23	834	35,0	26,2	-8,8	
Alle møller > 2 MW					
Gennem- snit		35,0	28,1	-6,9	
s.d.			2,0		
Møller ≤ 2 MW					
Gennem- snit		35,0	25,1	-9,9	
s.d.			1,6		

Tabel 1. Nøgletal ved den afstand fra hver enkelt mølle, hvor det totale A-vægtede lydtrykniveau er 35 dB. Afstanden er anført som skrå afstand til rotorcentrum, hvilket for de aktuelle møllehøjder er tæt på den vandrette afstand. Fire møller under 450 kW er ikke medregnet i tallene for de små møller.

Den mindste afstand, hvor en 35 dB grænse er overholdt, varierer betydeligt mellem de store møller, selvom møllerne er forholdsvis ens i størrelse (2,3-3,6 MW). Afstanden varierer fra mindre end 500 m til mere end 1200 m.

Den lavfrekvente del af støjen varierer indenfor et interval på omkring 7 dB for hver af møllergrupperne. Det ses endvidere, at der er omkring 3 dB mere lavfrekvent støj fra de store møller end fra de små, og at det ikke gør nogen forskel, om der ses på alle de store møller eller kun på de nye.

Spektrene for 1/3-oktavbånd ved disse afstande er vist i Figur 6.



Figur 6. A-vægtet lydtrykniveau i 1/3-oktavbånd ved den afstand fra hver enkelt mølle, hvor det totale A-vægtede lydtrykniveau er 35 dB (se Tabel 1). Farvekode for møller som i Figur 5.

På disse afstande, begynder luftens absorption at få betydning. Den påvirker især de høje frekvenser, og resultatet er, at flytningen af spektret i retning mod lavere frekvenser bliver mere udtalt end for lydeffektniveauet (sammenlign med Figur 5).

Det er vigtigt at bemærke, at for flere af møllerne findes det højeste niveau for 1/3-oktavbånd ved 250 Hz eller lavere, selv når der ses på de A-vægtede niveauer (Figur 6). Det er således hævet over enhver tvivl, at den lavfrekvente del af spektret spiller en vigtig rolle for støjen ved naboerne, og at lavfrekvent lyd skal tages alvorligt i vurderingen af støj fra store vindmøller.

I mange tilfælde tillades højere udendørs A-vægtede niveauer end 35 dB. Som et eksempel tillader de danske regler 44 dB for huse uden for boligområder og rekreative områder [9]. Af visuelle hensyn tillader de danske regler ikke boliger tættere på møller end fire gange den samlede møllehøjde [16], og på denne afstand er lydtrykniveauet ofte under

44 dB, hvis der er tale om en enkelt mølle. Der kan dog sagtens forekomme niveauer på 44 dB længere væk end fire gange møllehøjden, når der er flere møller sammen i vindmølleparker. Tabel 2 viser afstanden til små vindmølleparker, hvor det A-vægtede lydtrykniveau er 44 dB, såvel som forskellige nøgletal for denne afstand.

Mølle	Afstand	L_{pA}	L_{pALF}	$L_{pALF} - L_{pA}$	L_{pG}
	[m]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
1	530	44,0	37,9	-6,1	67,7
2	546	44,0	35,9	-8,1	61,1
3	831	44,0	38,1	-5,9	63,6
4	759	44,0	36,8	-7,2	66,9
5	585	44,0	37,2	-6,8	
6	672	44,0	38,4	-5,6	
7	631	44,0	38,0	-6,0	
8	1.241	44,0	36,3	-7,7	
9	1.142	44,0	36,3	-7,7	
10	579	44,0	34,5	-9,5	
11	624	44,0	34,5	-9,5	
12	791	44,0	37,8	-6,2	
13	695	44,0	38,4	-5,6	
14	528	44,0	37,2	-6,8	
15	934	44,0	39,0	-5,0	
16	1.078	44,0	40,8	-3,2	
17	1.033	44,0	40,6	-3,4	
18	1.033	44,0	41,8	-2,2	
19	487	44,0	36,4	-7,6	
20	375	44,0	36,0	-8,0	
21	805	44,0	35,8	-8,2	
22	1.045	44,0	35,5	-8,5	
23	771	44,0	35,4	-8,6	

Alle møller > 2 MW

Gennemsnit	44,0	37,3	-6,7
s.d.		1,9	

Møller ≤ 2 MW

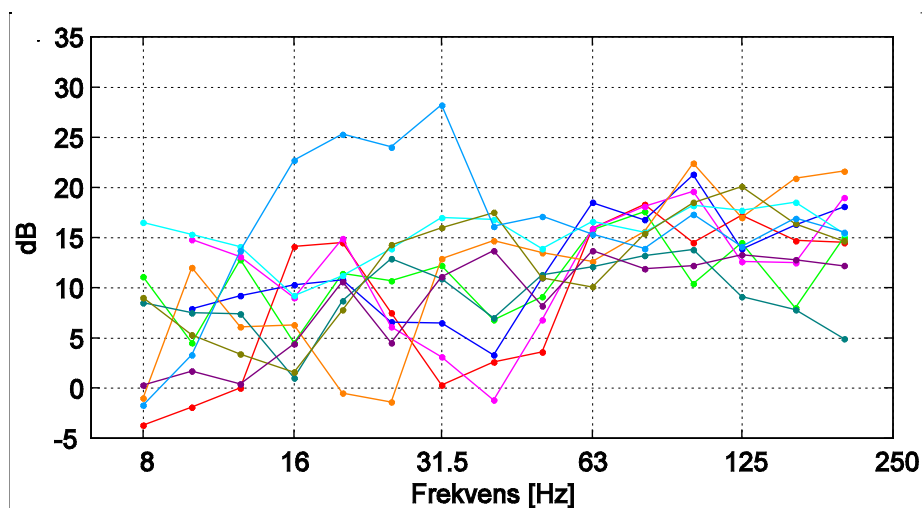
Gennemsnit	44,0	34,3	-9,7
s.d.		1,6	

Tabel 2. Nøgletal ved den afstand, hvor det totale A-vægtede lydtrykniveau er 44 dB. Mølleparker med to rækker på hver 6 identiske møller, 300 m afstand mellem møller i begge retninger (200 m for små møller). Observationspunkt centreret ud for den lange side. Afstand angivet som skrå afstand til nærmeste mølle. Fire møller under 450 kW er ikke medregnet i tallene for de små møller.

Også her varierer den nødvendige afstand betragteligt mellem møllerne, og igen varierer den lavfrekvente del af støjen indenfor et interval på omkring 7 dB for hver af møllergrupperne. Også her er der omkring 3 dB mere lavfrekvent støj fra de store møller end fra de små, og heller ikke her gør det nogen forskel, om der ses på alle de store møller eller kun på de nye

3.3 Lydisolation

Under målingerne var der alvorlige problemer med baggrundsstøj ved de tre laveste frekvenser. 18 målinger med et signal/støj-forhold på under 1,3 dB blev kasseret. Syv rum/frekvens-kombinationer måtte derfor beregnes ud fra målinger i kun to eller tre 3D-hjørner. To rum/frekvens-kombinationer, hvor der kun var målinger fra et enkelt 3D-hjørne blev ikke beregnet. Figur 7 viser lydisolationen for de ti rum.



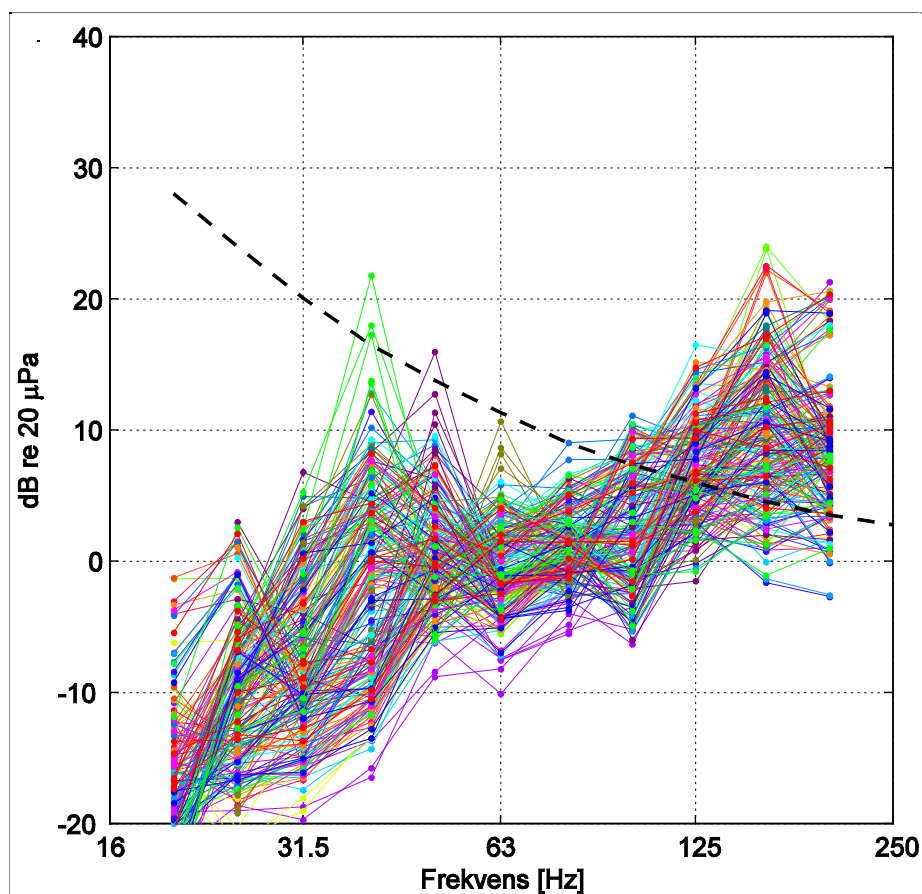
Figur 7. Lydisolation målt for 10 rum.

Ved frekvenserne 63-200 Hz, har rummene med få undtagelser en lydisolation på 10-20 dB. Mod lavere frekvenser falder isolationen, og forskellen mellem rummene bliver større. Nogle rum viser en meget lille eller endog negativ isolation ved visse frekvenser. Et enkelt rum har usædvanlig høj isolation i området 16-31,5 Hz. Dette var et lille værelse, der anvendes til opbevaring af møbler og andet. Rummet kan således ikke betragtes som et typisk opholdsrum, og dets data benyttes ikke i de videre beregninger.

Vær opmærksom på, at for hvert 1/3-oktavbånd refererer det indendørs niveau til det maksimale niveau, som man normalt vil blive udsat for i rummet (afsnit 2.4). Isolationstallene er derfor, især for den øverste del af frekvensområdet, lavere end traditionelle isolationstal beregnet til tekniske formål, hvor man typisk anvender det gennemsnitlige niveau i rummet.

3.4 Indendørs lydtrykniveau ved naboer

Figur 8 viser indendørs lydtrykniveauer for 1/3-oktavbånd for alle 207 kombinationer af 23 store møller og 9 rum i afstanden med et samlet A-vægtet udendørs lydtrykniveau på 35 dB. Vær opmærksom på, at de indendørs niveauer estimerer det maksimale niveau, som man normalt vil blive udsat for i rummet og ikke det gennemsnitlige niveau i rummet (se afsnit 2.4).

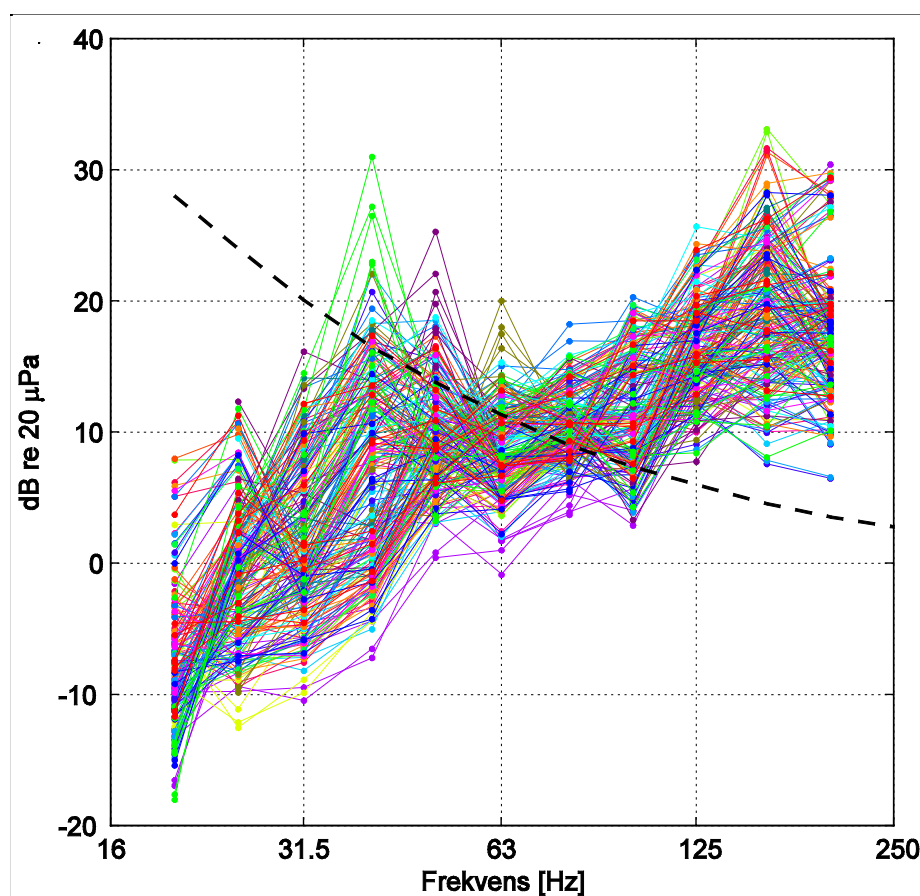


Figur 8. Indendørs A-vægtede lydtrykniveauer for 1/3-oktavbånd i den afstand fra hver enkelt mølle, hvor det totale A-vægtede lydtrykniveau udendørs er 35 dB (se Tabel 1). 207 kombinationer af 23 store møller og 9 rum. Den stiplede linje er høretærsklen i henhold til ISO 389-7. Farverne angiver møllen, farvekode som i Figur 5.

Der ses store forskelle mellem mølle/rum kombinationerne. Det meste af variationen skyldes forskelle i rummenes lydisolation, undtagen ved 63 og 80 Hz, hvor både rum og mølle bidrager nogenlunde lige meget til variationen. Høje værdier ved 40 Hz skyldes det høje lydeffektniveau for en enkelt mølle, mens høje værdier ved 200 Hz skyldes lav lydisolation af et enkelt rum.

Det ses af den indsatte høretærskel (stiplet linje), at den lavfrekvente lyd kan høres i mange mølle/rum-kombinationer, især ved de højeste af de lave frekvenser. Lyden vil ikke være ret kraftig, men som nævnt i indledningen, kan lavfrekvent lyd være generende, selvom den ikke er ret langt over høretærsklen, og nogle personer kan være generet af lydene i Figur 8.

Figur 9 viser indendørsniveauer for situationen fra Tabel 2, hvor det udendørs A-vægtede lydtrykniveau fra en møllepark er 44 dB.



Figur 9. Indendørs A-vægtede lydtrykniveauer for 1/3-oktavnånd i den afstand fra en møllepark, hvor det totale A-vægtede lydtrykniveau udendørs er 44 dB (se Tabel 2). 207 kombinationer af 23 store møller og 9 rum. Stiplet linje er høretærsklen i henhold til ISO 389-7. Farverne angiver møllen, farvekode som i Figur 5.

Her vil der være h rbar lyd nogle steder i alle rum og for alle møller. I mere end halvdelen af tilfældene (122 ud af 207), overskrider den normale høretærskel med mere end 15 dB i et eller flere 1/3-oktavnånd, og der er risiko for, at en betydelig del af beboerne vil være generet af lyden.

Med henblik på at undgå søvnforstyrrelser anbefaler WHO for kontinuert støj en indendørs grænse på 30 dB for det A-vægtede lydtrykniveau [17], men bemærker også, at hvis støjen indeholder en stor andel af lavfrekvent støj, ”anbefales en endnu lavere grænse, fordi lavfrekvent støj kan forstyrre hvile og søvn selv ved lave lydtryk”. Hvor meget lavere er ikke angivet, men medmindre niveauet over 200 Hz er usædvanlig lavt, vil det samlede A-vægtede lydtrykniveau tydeligvis overstige f.eks. 25 dB i mange af tilfældene i Figur 9.

3.4.1 Den danske indend rsgr nse

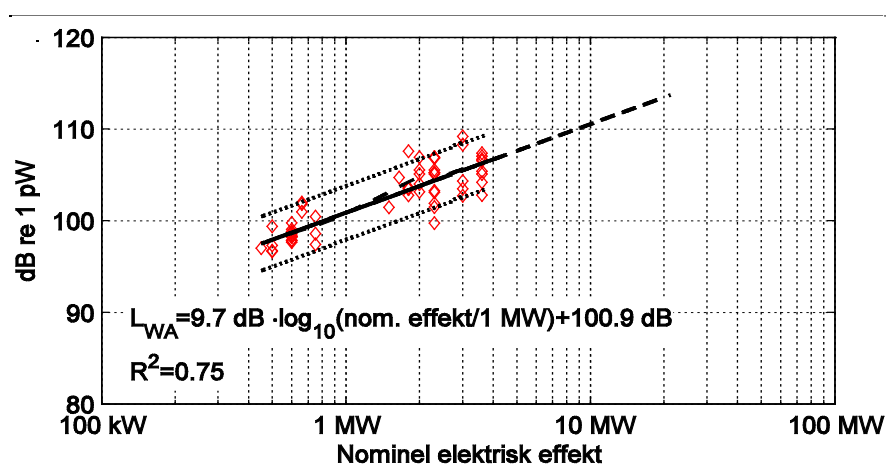
I 100 af de 207 mølle/rum kombinationer i Figur 9 overstiger et A-vægtet niveau den danske nattegr nse på 20 dB for mindst  t 1/3-oktavnånd i 10-160 Hz området, og

det er rimeligt at regne med, at det samlede lydtrykniveau for dette frekvensområde, L_{pALF} , vil overstige 20 dB for endnu flere mølle/rum kombinationer.

Det bør nævnes, at vindmøller har været undtaget fra de generelle danske retningslinjer for lavfrekvent støj siden 2006, da bekendtgørelsen om støj fra vindmøller blev opdateret [9]. Argumentet var, at det indendørs L_{pALF} ikke vil overstige 20 dB, hvis de normale udendørs grænseværdier overholdes [18]. Som det ses, kommer det indendørs niveau ofte over 20 dB for store møller.

3.5 Støj som funktion af møllestørrelse

Datamaterialet giver et nyttigt overblik over, hvilken lydeffekt der udsendes fra vindmøller af forskellig størrelse, og med forsigtighed kan resultaterne benyttes til at anslå lydeffektniveauet for fremtidens større møller. Figur 10 gentager data for L_{WA} fra Figur 1, nu med en ekstrapolering mod højere nominel elektrisk effekt samt data for den indsatte regressionslinje.



Figur 10. Lydeffektniveau (L_{WA}) som funktion af møllestørrelse. Vindhastighed 8 m/s, fire møller under 450 kW ikke medtaget. Lineær regressionslinje, standard error of estimates (s.e.e.) 1,79 dB. Ekstrapolation (stiplet linje), 90 % konfidensintervaller baseret på s.e.e. (prikket linje).

3.6 Atmosfæriske forhold

Alle de foregående beregninger antager sfærisk lydudbredelse, dvs. en 6 dB reduktion af lydtrykniveauet per fordobling af afstanden. Under visse atmosfæriske betingelser, f.eks. med temperaturinversion eller 'low-level jets', kan der være et lydreflekterende lag i en vis højde, og dermed ligner lydudbredelsen ud over en vis afstand mere cylindrisk udbredelse, som kun giver 3 dB reduktion per fordobling af afstanden. Over vand regner de svenske retningslinjer generelt med cylindrisk udbredelse ud over en afstand på 200 m, en afstand som stemmer fint med data fra Bolin et al. [19], som viste refleksion i en højde i størrelsesordenen 100-200 m.

Med cylindrisk udbredelse fra 200 m gælder følgende ligning (for afstande over 200 m):

$$L_p = L_{WA} - 20 \text{ dB} \cdot \log_{10} \left(\frac{200 \text{ m}}{1 \text{ m}} \right) - 10 \text{ dB} \cdot \log_{10} \left(\frac{d}{200 \text{ m}} \right) - 11 \text{ dB} \cdot \alpha \cdot d + 1,5 \text{ dB}$$

(4)

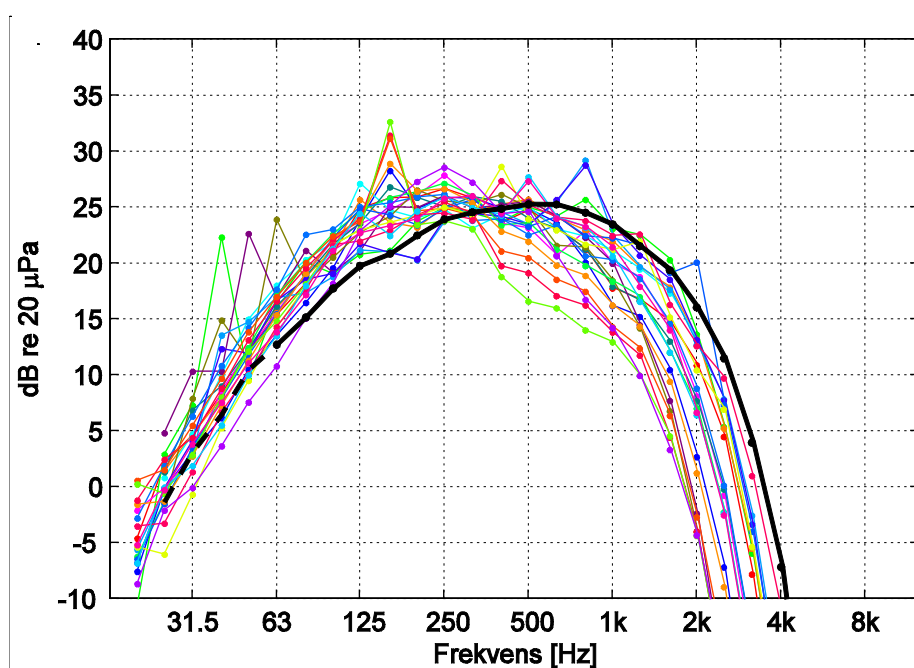
Tabel 3 og Figur 11 viser henholdsvis nøgletal og lydtrykniveauer i 1/3-oktavbånd i den afstand, hvor det A-vægtede lydtrykniveau er faldet til 35 dB under forudsætning af cylindrisk udbredelse fra 200 m.

Mølle	Afstand	L_{pA}	L_{pALF}	$L_{pALF} - L_{pA}$	L_{pG}
	[m]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
1	1.476	35,0	29,7	-5,3	60,4
2	1.414	35,0	28,2	-6,8	56,2
3	2.373	35,0	30,3	-4,7	57,1
4	2.100	35,0	29,2	-5,8	60,0
5	1.562	35,0	29,4	-5,6	
6	1.828	35,0	30,7	-4,3	
7	1.777	35,0	30,0	-5,0	
8	3.482	35,0	29,7	-5,3	
9	3.152	35,0	29,6	-5,4	
10	1.481	35,0	26,9	-8,1	
11	1.579	35,0	27,0	-8,0	
12	2.257	35,0	30,1	-4,9	
13	1.947	35,0	30,6	-4,4	
14	1.360	35,0	29,4	-5,6	
15	2.769	35,0	31,2	-3,8	
16	3.405	35,0	32,9	-2,1	
17	3.209	35,0	32,8	-2,2	
18	3.357	35,0	33,6	-1,4	
19	1.306	35,0	28,3	-6,7	
20	981	35,0	27,7	-7,3	
21	2.185	35,0	28,4	-6,6	
22	3.063	35,0	28,0	-7,0	
23	2.074	35,0	28,0	-7,0	

Alle møller > 2 MW

Gennemsnit	35,0	29,6	-5,4
s.d.		1,8	
Møller ≤ 2 MW			
Gennemsnit	35,0	26,2	-8,8
s.d.		1,7	

Tabel 3. Nøgletal ved den afstand, hvor det totale A-vægtede lydtrykniveau er 35 dB. Cylindrisk udbredelse er antaget fra 200 m. Afstanden er angivet som skrå afstand til rotorcenter, hvilket for de aktuelle møllehøjder er tæt på den vandrette afstand. Fire møller under 450 kW er ikke medregnet i tallene for de små møller.



Figur 11. A-vægtet lydtrykniveau i 1/3-oktavbånd ved den afstand, hvor det totale A-vægtede lydtrykniveau er 35 dB (se Tabel 3). Cylindrisk lydudbredelse er antaget fra 200 m. Farvekode for møller som i Figur 5.

Det er nødvendigt med meget større afstande (981-3482 m) for at nå ned på 35 dB end med ren sfærisk udbredelse, og den lavfrekvente karakter af spektret er blevet endnu mere udtalt (sammenlign med Tabel 1 og Figur 6). Cylindrisk udbredelse kan forklare tilfælde, hvor rumlen af vindmøller hævdes at være hørbar kilometre væk. Et worst-case scenarie, der kombinerer temperaturinversion med en vindmøllepark, der opfører sig som en linjekilde i et vist afstandsområde, kan teoretisk set reducere den geometriske dæmpning i dette område til nul. Det er imidlertid nødvendigt med mere viden om de atmosfæriske forhold og forekomsten af forskellige fænomener.

4 KONKLUSIONER

Resultaterne bekræfter den hypotese, at spektret af vindmøllestøj flytter sig nedad i frekvens med stigende møllestørrelse. Den lavfrekvente relative andel af den udsendte støj er højere for store vindmøller (2,3-3,6 MW) end for små vindmøller (≤ 2 MW). Forskellen er statistisk signifikant for 1/3-oktavgbåndene i frekvensområdet 63-250 Hz. Forskellen kan også udtrykkes som en forskydning af spektret på omkring 1/3 oktav. Et yderligere skift af lignende størrelse må forventes for vindmøller i 10 MW størrelsen.

Når man ser på lydtrykniveauet udendørs i relevante naboafstande, bliver det lavfrekvente indhold endnu mere udtalt. Det skyldes, at luftens absorption reducerer de høje frekvenser meget mere end de lave. Selv når der ses på A-vægtede niveauer, udgør lave frekvenser en væsentlig del af støjen, og for mange af de undersøgte store vindmøller ligger det 1/3-oktavgbånd, som har det højeste lydtrykniveau, på eller under 250 Hz. Det er således hævet over enhver tvivl, at den lavfrekvente del af spektret spiller en vigtig rolle i støjen ved naboerne.

Den indendørs lavfrekvente støj i naboafstand varierer med vindmølle, lydisolation af rummet og position i rummet. Hvis støjen fra de undersøgte store vindmøller har et udendørs A-vægtet lydtrykniveau på 44 dB, det maksimale i den danske regulering af støj fra vindmøller, er der risiko for, at en betragtelig del af beboerne vil være generet af lavfrekvent støj, selv indendørs. Den danske aften/nat-grænse på 20 dB for A-vægtet støj i frekvensområdet 10-160 Hz, som gælder for støj fra virksomheder (men ikke for vindmøllestøj), vil blive overskredet i opholdsrummene hos mange af de naboer, der ligger tæt ved grænsen på de 44 dB. Problemerne reduceres betydeligt med en udendørs grænse på 35 dB.

Vindmøllerne udsender ganske vist infralyd (lyd under 20 Hz), men niveauerne er lave, når man tager menneskets følsomhed overfor disse frekvenser i betragtning. Selv tæt på møllerne er lydtrykniveauet langt under den normale høretærskel, og infralyd betragtes således ikke som et problem for møller af samme konstruktion og størrelse som de undersøgte møller.

Den lavfrekvente støj fra flere af de undersøgte store møller indeholder toner, formodentlig fra gearkassen, som resulterer i toppe i de tilsvarende 1/3-oktavgbånd. Tonetillægget hjælper ikke til at sikre, at tonerne bliver fjernet eller reduceret, da tonerne ikke er tilstrækkeligt udtalte, til at de overhovedet udløser et tonetillæg. Den spektrale forskel mellem store og små vindmøller er i øvrigt fortsat statistisk signifikant, selvom toppene i 1/3-oktavgbåndene fjernes.

Ovenstående konklusioner er baseret på data for møller i området 2,3-3,6 MW nominel elektrisk effekt. Problemerne med lavfrekvent støj må forventes at blive større med endnu større møller.

Den udsendte A-vægtede lydeffekt stiger proportionalt med den nominelle elektriske effekt. Derfor forurener store vindmøller det samme areal med støj som små møller med den samme samlede elektriske effekt.

Der er forskelle på flere decibel mellem støjen fra forskellige møller af samme størrelse, selv for møller af samme fabrikat og model. Det er derfor ikke relevant at foretage bereg-

ninger ned til brøkdele af en decibel og tro på, at dette holder for de aktuelle møller, som bliver stillet op. Der må indregnes en vis sikkerhedsmargin i planlægningsfasen for at sikre, at de faktisk rejste vindmøller vil overholde støjgrænserne. Der findes en international teknisk specifikation til dette, men den anvendes ofte ikke.

Under visse atmosfæriske betingelser, f.eks. temperaturinversion, kan støjen være mere generende og – og især den lavfrekvente del – udbrede sig meget længere end normalt antaget. Det er nødvendigt med mere viden om sådanne fænomener og deres forekomst.

Referencer

- 1 [] B. Søndergaard, C. Ryom, "Low frequency noise from large wind turbines – Sound power measurement method", Report AV 135/08, Delta, April 2008.
- 2 [] B. Søndergaard, K. D. Madsen, "Low frequency noise from large wind turbines – Results from sound power measurements", Report AV 136/08, Delta, revised version December 2008.
- 3 [] B. Søndergaard, K. D. Madsen, "Low frequency noise from large wind turbines – Results from previous sound power measurements", Report AV 137/08, Delta, May 2008.
- 4 [] D. Hoffmeyer, B. Søndergaard, "Low frequency noise from large wind turbines – Measurements of sound insulation of facades", Report AV 1097/08, Delta, April 2008.
- 5 [] K. D. Madsen and T. H. Pedersen, "Low frequency noise from large wind turbines – Final report", Report AV 1272/10, Delta, November 2010.
- 6 [] IEC 61400-11, "Wind turbine generator systems – Part 11: Acoustic noise measurement techniques", Second edition 2002 plus Amendment 1 2006, International Technical Commission, Geneva.
- 7 [] ISO 9613-2, "Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation", International Organization for Standardization, Geneva, 1996.
- 8 [] ISO 9613-1, "Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere", International Organization for Standardization, Geneva, 1993.
- 9 [] "Bekendtgørelse om støj fra vindmøller", Bekendtgørelse nr. 1518 af 14. december 2006, Miljøministeriet, København.
- 10 [] S. Wagner, R. Bareiß, G. Guidati, "Wind turbine noise", Springer Berlin, ISBN 3-540-60592-4, 1996.
- 11 [] E. Pedersen, K. P. Waye, "Perception and annoyance due to wind turbine noise – a dose-response relationship", J. Acoust. Soc. Am., 116 (6), 3460-3470, 2004.
- 12 [] E. Pedersen, F. van den Berg, R. Bakker, J. Bouma, "Response to noise from modern wind farms in The Netherlands", J. Acoust. Soc. Am., 126 (2), 634-643, 2009.
- 13 [] T. H. Pedersen, K. S. Nielsen, "Genevirkning af støj fra vindmøller", Rapport 150, Delta Akustik & Vibration, 1996.
- 14 [] "Buller från vindkraft – Riktvärden för ljud från vindkraft" (Noise from wind turbines – Recommended limits for sound from wind turbines), Naturvårdsverket, Stockholm, 2009.
- 15 [] "Ekstern støj fra virksomheder", Vejledning nr. 5, Miljøstyrelsen, 1984.
- 16 [] "Vejledning om planlægning for og landzonetilladelse til opstilling af vindmøller", Vejledning nr. 9296, Miljøministeriet, 22. maj 2009.
- 17 [] "Guidelines for community noise", B. Berglund, T. Lindvall, D. H. Schwela (editors), World Health Organization, Geneva, 1999.
- 18 [] "Høring af udkast til bekendtgørelse om støj fra vindmøller", Miljøstyrelsen, 30. oktober 2006.
- 19 [] K. Bolin, M. Boué, I. Karasalo, "Long range sound propagation over a sea surface", J. Acoust. Soc. Am. **126** (5), 2191-2197, November 2009.

Skyddsavstånd till bostad vid bulleremission från vindkraftverk

av Bertil Persson, tekn. Dr, docent i byggnadsmaterial, Bara

Artikeln omfattar beräkning av skyddsavstånd från cirka 5150 bostäder i Sverige till cirka 1200 vindkraftverk (med skyddsavstånd avses minsta avstånd mellan bostad och vindkraftverk). För detta ändamål har en genomgång skett av 54 prospekt vars underlag finns redovisade vid Kungliga biblioteket och de sex universitetsbiblioteken. Prospekten innefattar färdiga eller genomförda tillståndshandlingar. Beräkningen baseras på gällande svenska beräkningsregler och begränsningsvärden med datorprogrammet WindPro som beräkningshjälpmedel. Resultaten visar att rekommenderat skyddsavstånd 500 meter är alltför litet och bör fördubblas i många fall. Beräkningen ger ett mer nyanserat skyddsavstånd med vindkraftverkens antal och effekt som beroende parametrar. Arbetet är självfinansierat.

Bakgrund

Regeringen påskyndar utbyggnaden av vindkraften med ett för detta syfte reformat regelverk¹. Invånarna får via kommunal översiktsplanering information om var utbyggnaden kommer att ske. Översiktsplaneringen sker med hänsyn till vindkraftens krav på en snabb utbyggnad. Miljöministern konstaterar att kommunalt inflytande sätter ”käppar i hjulet” för klimatmålen, vilka, enligt Miljöministern, är mycket viktiga för Sveriges energiförsörjning². Miljöministern kräver en kommunal självsanering av vetorätten för vindkraft. Miljöministern ifrågasätter vidare om det, efter jordbävningsskatastrofen i Japan och skadorna på kärnkraften där, finns något nämnvärt motstånd från grannar drabbade av vindkraft³. Regeringens vindkraftutredare konstaterar med den nya Plan- och Bygglagen, PBL, får fem (5) st. Mark- och miljödomstolar samma administrativa gränser som miljödomstolarna nu har⁴. Överklagningsärenden inom PBL går dit, liksom detaljplaner och bygglovsärenden. Tillstånd för miljöfarlig verksamhet ges idag av miljöprövningsdelegationer, MPD, vid 21 länsstyrelser, vilka minskas till sju (7) MPD. Energimyndigheten hävdar att bevarandeintressen och vindkraft kan integreras i samma område varför riksintresset vindkraft bör implementeras i kommunernas översiktsplaner⁵. Energimyndigheten hävdar att det råder rättsosäkerhet om det kommunala vetot, eftersom det inte behöver motiveras och inte kan överklagas, och kräver att rättssäkerheten garanteras. Sammantaget har dock tillståndsprocessen blivit alltmer strömlinjeformad. Prospektören redovisar ensidigt alla tillståndsparametrar. Myndigheterna saknar verktyg för att kunna kontrollera uppgifterna och än mindre

1 Jon Millarp. Vindkraftsutbyggn. Dnr SB2011/2296. E-post 2011-03-23 kl. 11:51

2 Andreas Carlgren. Komm veto mot vindkraftsetabl. M2011/1203/A/Br. E-post 2011-03-24 kl. 17:15

3 Maria Ottoson. Dags att blåsa på! DI. 29/3-11.

4 Peter Ardö. Vindkraftsdialog. Sem. Sthlm. 2011.

5 Monica Andersson. *ibid.*

kunna genomföra efterkontroller. Den svenska hävdvunna rättsäkerheten, i fråga om klagan över tillstånd, har övergetts. Antalet överklagandeinstanser för vindkraft är i realiteten bara en (1). Avståndet mellan nämnda instans och människorna ökar därmed såväl geografiskt som mentalt. Av Miljöministern och Energimyndigheten hävdad rättsosäkerhet torde därför avse de av vindkraft drabbade grannarna – inte vindkraften⁶. Av vindkraft drabbade grannar får på egen bekostnad driva försvaret för sin livsmiljö, medan motsvarande utbyggnad av vattenkraften gav rätten till fri advokathjälp och fritt ting⁷. Vindkraften, däremot, företräds ofta av jurister vid prospekteringarna varför obalans råder till den drabbade människans förfång.

Vindkraft miljöfarlig verksamhet

Följande parametrar påverkar miljön intill vindkraftverk⁸:

1. En ”död hand” läggs över landskapet, som industrialiseras
2. Hälsoeffekter för grannar blir uppenbara
3. Risk för flygande isprojektiler
4. Teletrafik / flyg störs
5. Fågellivet decimeras
6. Tysta områden är passé - fredade områden blir guldgrubbor
7. Upplyningsplikt föreligger vid försäljning av fastigheter

Vindkraften, å sin sida, hävdar att ingen signifikant påverkan sker på omgivningen vid dess värdering^{9, 10}. Huvudslutsatsen från vindkraftens sida är, t.ex., att det inte finns något samband mellan närhet till vindkraftverk och lägre priser på permanentbostäder eller fritidshus. En rapport om detta har tagits fram av ett ÅF Consult med Svensk Vindenergi som projektledare. I referensgruppen ingick Boverket, Energimyndigheten, KTH, Handelshögskolan, Eolus Vind AB och Mäklarsamfundet. Referensgruppen borde dock ha insett att projektering och byggnation av stora vindindustriområden påverkar fastighetspriserna i närområdet negativt. Att välja 100 gånger höjden av små vindkraftverk (50 meter i höjd) som påverkat område (5 km i radie) är irrelevant jämfört med de havsvindkraftverk med upp till 235 meter i höjd som nu ställs nära bostäder och fastighetsgränser (kommunalt minimiavstånd 500 meter).

Problembeskrivning

Praktikfall Gränna, Jönköping kommun

På Vätternbranterna, alldeles intill Brahehus, uppfördes under senhösten 2010 flera

- 6 Jan Bergstedt. Uppvaktn Miljödep. 19/8-10.
- 7 Andreas Carlgren. Advokatbitr åt grannar till vindkraftprojekt. Reger.kansliet. M2010/3418/R, 2
- 8 Daniel Nordin. Vindkraften påverkar fastighetsmäklarens vardag. Aktiv Mäklare. No 2 2011, sid, 6 -7.
www.fmf.se/aktivmaklare/pdf/aktivmaklare201102.pdf , 6
- 9 Vindkraft i sikte. Hur påverkas fastighetspriserna vid etablering av vindkraft? Sv Vindenergi. Sthlm. 2010, 44
www.svenskvindenergi.org/files/Vindkraftisikte100915.pdf
- 10 Marie Alpmann. Småhuspriser påverkas inte av vindkraftverk. NyT. 15/9-10. www.nyteknik.se/nyheter/energi_miljo/vindkraft/article2473592.ece

vindkraftverk med effekten 2,3 MW vardera, av samma fabrikat som de som används på Lillgrund. Tillstånd för verken gavs dock efter bygglov för verk med effekten 2,0 MW, vilka verk i sin tur var "nedskruvade" för att avge lägre källbuller med motsvarande lägre bulleremission som följd¹¹. Garantikällbuller är en certifierad bullernivå hos ett vindkraftverk. Garantikällbuller innehåller en viss säkerhetsmarginal för spridning av mätvärden mellan olika verk samt mätnoggrannhet. "Nedskruvning" innebär att turbinbladen vinklas så att bladhastigheten blir lägre hos vindkraftverket. Med lägre bladhastighet följer lägre hastighet för bladspetsen, med lägre bullernivå samt även lägre effekt och energifångst som följd. Bladspetsens vindhastighet får inte nå ljudets hastighet, eftersom speciella ljudeffekter då kan uppstå. Certifierat källbuller för i Gränna uppsatta verk vid full hastighet och effekt, mod 0, är 106,0 dB(A)¹². Av bygglovet framgår att redovisat källbuller för 2-MW-verk i mod 0 är 102,0 dB(A). Korrekt "nedskruvat" källbuller är 104,0 dB(A) vid mod 0 för ifrågakvarande verk. Med på platsen uppsatta verk kan man således förvänta sig att immissionsvärdena vid bostäderna vid mod 0 (full effekt) beräkningsmässigt ökar med cirka 4 dB(A). Mycket tyder på att full effekt är gängse även om "nedskruvade" verk uppges i ansökan t.ex. i Ramdala, Karlskrona kommun¹³. Vid tillfälle för bullermätning i Ramdala var varvtalet för verket subjektivt sett betydligt lägre än dagen före och dagen efter bullermätningen. Högre mod än 0, dvs. lägre effekt, innebär lägre energifångst. Exempelvis Länsstyrelsen i Kronobergs län motsätter sig "nedskruvning" som relevant metod för att bemästra bullernivån intill VKV¹⁴ och efterlyser i stället lösningar där 40 dB(A) uppfylls utan att VKV "skruvas ned". VKV körs ofta i mod 0 även om källbuller i miljörapporter ges för t.ex. mod 4 eller 7 ("nedskruvade" moder)^{15, 16, 17, 18} resp. i mod 0 (full effekt) i stället för mod 4¹⁹. Vindkraftverk är föremål för egenkontroll, varför myndighetens och därmed grannarnas insynsmöjlighet är liten. Transparens saknas vid mätning av buller och egenkontroll. Egenkontroll innebär att verksamhetsutövaren en gång per år inrapporterar källbuller hos vindkraftverket samt energifångst. Ofta står uppmätt energifångst och uppgivet källbuller inte i samklang med varandra, dvs. uppmätt energifångst på platsen är endast möjlig vid full effekt, medan källbullret visar "nedskruvad" effekt. Vid praktikfallet vid Gränna kan vid full effekt cirka 45 dB(A) förväntas som bullernivå vid grannbostaden. Enligt en dagbok störs de boende 2-7 nätter per månad

11 Vindkraftprojekt Norra Kärr. Bullerberäkning. BN. Jönköping. 2008-10-02 14:22

12 www.windpro.dk

13 Mary Abrahamsson. Pers. inf. Ramdala. 2010.

14 Henrik Skanert, Carl-Philip Jönsson, Kaisa Sandstedt. Dnr 551-1192-10, Furuby, Växjö kn. 2010-09-14.

15 Bertil Persson. Miljörapporter från vindkraftverk i Höörs kn, 1 sid, www.landskapsskydd.se

16 Göran Fagerström et al. Tillstånd enligt Miljöbalken till uppförande och drift av ett vindkraftverk, SNI kod 40.1-5. Dnr 551-13501-02; 1267-120. LST Skåne. 2002-10-10.

17 Göran Fagerström et al. Tillstånd enligt Miljöbalken till uppförande och drift av ett vindkraftverk, SNI kod 40.1-5. Dnr 551-17327-02; 1267-121. LST Skåne. 2002-12-05.

18 Miljörapporter. Dnr 2007/0399.862 (502), 2009/0589.862 (524). Höörs kn. 2009, 10 sid

19 Miljö- och BN. Ödeshögs kn. Prot. 2010-11-16, 4.

i form av insomningsproblem, väckningar och omsomningsproblem till graden 4 i en femgradig ICBEN-skala eller en skala enligt Rohrmann, bägge från noll till fem (5), Tabell 1²⁰, ²¹, ²². Inom 900 m till Grännaverken finns dock 42 bostäder med mer än 40 dB(A) vid mod 0. Bullerpåverkan sker i Gränna med aktuellt antal bostäder för cirka 10 capita/verk.

Praktikfall Hishult, Laholms kommun

Inom en radie av en (1) km från 19 st. 2-MW-verk vid Hishult finns sju (7) bostäder som kommer att drabbas av högre bullernivå än 40 dB(A) vid mod 0 och en konservativ beräkning med datorprogram WindPro (driftseffekt 2 MW på verken). Störningsfrekvensen kan för Hishult konservativt beräknas till en (1) capita per verk²³. Bullermätningar utfördes vid låg luftfuktighet under dagtid under maj 2010 med 12 av verken i sydvästlig riktning igång. Bullermätningarna gav bullernivå under begränsningsvärdet för de drabbade grannarna²⁴. Vid vindhastighet högre än 8 m/s avklingade bullernivån. De drabbade grannarna kräver att ärendet återförvisas för förnyad handläggning med relevant bullermätning av neutral part, nattetid, vid hög luftfuktighet, t.ex. på senhösten²⁵. Följande slutsatser kan dras av bullermätningar:

1. Bullermätningar för en punkt utfördes vid 2,7 m/s på höjden 10 m eller för 4,1 m/s på 105 m över marken. Källbuller vid mätning för denna punkt skall ökas från det som gäller 4,1 m/s dvs. 96,5 dB(A) till maximalt källbuller 104,0 dB(A) dvs. med 7,5 dB(A) oaktat felaktig vindriktning, ett tillägg med cirka 3,0 dB(A). Totalt tillägg för uppmätt bullerimmission blir således cirka 7,5+3,0 = 10,5 dB(A) eller korrekt bullerimmission 45+10,5 = 55,5 dB(A).
2. Bullermätningar för en annan punkt utfördes vid 3,8 m/s på 10 m över marken eller 5,4 m/s på 105 m över marken, varför källbullret vid mätning för denna punkt skall ökas från det som gäller 5,4 m/s dvs. 101,5 dB(A) till maximalt källbuller 104,0 dB(A) dvs. med 2,5 dB(A). Dessutom skall ett tillägg om ytterligare cirka 3,0 dB(A) göras för felaktig vindriktning. Totalt tillägg blir således cirka 2,5+3,0 = 5,5 dB(A) eller korrekt bullerimmission 43,5+5,5 = 49,0 dB(A).

Enligt en dagbok störs de boende i bostad A med vakenhet upp till 4 tim. per natt,

20 HM Miedema. H Vos. Noise sensitivity and reactions to noise and other environmental conditions. J Acoust. Soc Am 1998 104, 3432-3445.

21 B. Rohrmann. The use of verbal labels in noise annoyance scales. Theoretical deliberations and empirical findings. Dept. Psychology, Un. Melbourne, Australia. Carter, N. & Job, S.R.F. (Eds.), Proc. "NOISE AS A PUBLIC HEALTH PROBLEM". Sydney: Noise Effects '98 Pty, (vol. 2, 523-526)

22 Henning Theorell. Leg. läk. Dagbok förd vid vindkraftverk i Tuggarp, Jönköpings kn. 2011.

23 Henning Theorell. Leg. läk. Dagbok förd vid vindkraftverk i Hishult, Laholms kn. 2011.

24 Laholms kn. Miljönämnden. Mätning av ljudimmission från vindkraftpark Oxhult. Projekt 550671. 2010-06-24, 41

25 Laholms kn. Miljönämnden. Överklagande av Miljö- och BN. Laholms kn. Beslut 2010-09-15, M327/10, ljudimmission från vindpark Oxhult 3:1 m fl. Dnr 505-5514-10. LST. Halmstad, 2011-01-19, 2

mellan två (2) och sju (7) nätter per månad. Typ av störning i Hishult överensstämmer rätt väl med den i Gränna och är beroende av vindkraftverkets effektivitet. När det blåser för fullt dvs. cirka 25% av tiden låter det också som mest från vindkraftverken. Medelvindhastighet i Hishult 2010 var 6,5 m/s²⁶, ²⁷. För kommersiell vindkraft inkl. elcertifikat krävs dock cirka 7 m/s i medelvindhastighet. Verken i Hishult är, även om de är 150 m höga, för små för att kommersiell drift skall kunna nås. Störningsgrad enligt Tabell 1 noterades under perioden dec. 2010 - feb. 2011 då verken 1-12 i sydväst var igång samt enstaka verk 13-19 mot nordost var under uppstart under feb. 2011. Störningsgraden relaterades till såväl vindriktning som vindhastighet²⁸. Vindriktning och relativ vindhastighet uppmättes på marken. På navhöjden 105 m över marken torde vindhastigheten vara cirka 1 m/s högre än på marken²⁹ Följande kunde konstateras:

1. För vindriktning väst, V, från verken ökar störningsgraden p.g.a. direktbuller.
2. För vindriktning nordväst, NV, från verken, ökar störningsgraden redan vid 5 m/s troligen p.g.a. interferens mellan verken (inbördes avstånd endast 400 m).
3. Orsaken till störning redan vid 4 m/s vid vindriktning norr, N, och nordost, NO, är obekant, möjligen uppstart av nya verk 13-19 under feb. 2011.
4. Till skillnad från bullermätning under maj 2010, som visade minskande bullernivå vid vindhastighet över 8 m/s, upplevdes ökande störningsgrad även över 8 m/s.
5. Med vindhastigheten ökande störningsgrad över 8 m/s tyder på att vindbrusets maskerande effekt inte äger tillämplighet för stora vindkraftverk.

För mars-maj 2011 är konsensus densamma som för dec. 2011 – feb. 2011 dvs. dominerande vindriktning ger mest besvär, från 5 m/s upp till 13 m/s. Verken i öster ger störningar så snart det blåser därifrån, från 5 m/s i vindhastighet. (Måhända bör skyddsavståndet för buller vara dubbelt så stort i läriktningen för förhärskande vindriktning (mellan sydväst och nordväst) än i övrigt.)

Praktikfall Byåra, Simrishamns kommun

För Blästorpverken, Simrishamns kn, begicks följande misstag vid bullerberäkningar/-mätningar:

1. Bullerberäkningar enligt rapport 2010-11-25³⁰ utfördes för dimensionerande fall endast i motvind, vilket strider mot gällande mät- och beräkningsnormen

²⁶ Svenska Kraftnät. Mail den 21 februari 2011 08:14

²⁷ www.emd.dk

²⁸ Bertil Persson. Vindkraftverk och god livsmiljö oförenliga. Bygg & teknik. 5/2011.

²⁹ Bertil Persson. Vindkraftsutbyggnad – var god dröjl! Sem. 2009-10-21, Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens TIDSKRIFT nr 3 2010, sid. 14-20; <http://www.ksla.se/wp-content/uploads/2011/01/KSLAT-2010-3-Vindkraft.pdf>

³⁰ Ljudberäkning vindkraft Borrby, Simrishamns kn. ÅF-consult-rapp. 560121, 2010-11-25, 14 sid.

- som föreskriver att mätningar skall ske i tre (3) andra riktningar än lä.
2. Bullerberäkningarna utfördes med program Nord 2000 med okända formelsamband.
 3. I föreliggande fall har dock "nedskruvning" skett till 101,0 dB(A) dvs. mod 4 eller 500 kW.
 4. Det är dock inte sannolikt att "nedskruvning" kommer att ske annat vid bullermätningar eftersom energifångsten därmed skulle minska med 25%.
 5. I förekommande fall gäller bullerberäkningen för två (2) bostäder 289 resp. 589 m från närmaste VKV och endast för förhärskande vindriktning sydväst dvs. en fjärdedel av året.
 6. För övriga vindriktningar, dvs. $\frac{3}{4}$ -delar av året, har bullerskugga från ekonomibyggnader intill de bägge bostäderna, 289 resp. 589 m från närmaste VKV, tagits i anspråk dvs. vindhastigheten blir lägre än 8 m/s för höjden 10 m intill beräkningspunkten.
 7. Om ljudskugga finns ligger beräkningspunkten även i lä i fråga om vind. Detta har inte beaktats vid beräkningen av källbullret, att beräkningspunkten ligger i lä och därför kräver än högre vindhastighet vid vindkraftverket och därmed högre källbuller.

Praktikfall Näsbyholm, Trelleborgs kommun

Vid fyra (4) st. 2,3-MW-verk finns sex (6) bostäder inom 600 m, vilka enligt en konservativ beräkning med WindPro får mer än 40 dB(A) i bullernivå vid full effekt, mod 0. Cirka 5 capita störs per verk. Störningsfrekvensen varierar mellan fem (5) och 15 nattväckningar per månad. Under dagtid vid västliga och sydvästliga vindar, samtidigt med mulet väder dvs. stor reflektion mot molnen eller disigt väder, upplevs bullret utomhus som ett svischande eller bankande, som påtagligt stör samtal och tankeverksamhet³¹. Vid denna typ av väder 10 dagar i följd, kan svischande eller bankande inträffa upp till mellan 6 och 7 gånger, dvs. minst två (2) gånger per vecka. Bostaden ifråga är gammal med puts på utsidan och med träreglar mot ytter- och innerväggar. Dessutom upplevs i farstun till bostaden åt söder och i vardagsrummet åt söder och väster svischandens mindre påtagligt medan ett dovt mullrande är mer påtagligt. Det känns som om rummen kommer i egensvängning. Denna egensvängning hörs mest i farstun, men är också påtaglig i vissa delar av vardagsrummet. Vardagsrummet har två (2) dubbelfönster av gammal typ mot söder resp. väster med spröjs och sex (6) smårutor. Vid bullerberäkningar för Näsbyholm hade en mätosäkerhet om 1,1 dB(A) inte

tillagts resulterande källbuller 100,3 dB(A)^{32, 33, 34, 35, 36}, mätning skett på en punkt 110 m från ett av verken, medan den skall utföras på ett avstånd av 1,5 x navhöjden dvs. 96 m från samtliga verk³⁷. Med anledning av det felaktiga mätavståndet skall korrekt källbuller ökas med 0,9 dB(A). Luftfuktigheten i Näsbyholm var osedvanligt låg vid mättillfället, varför inverkan av relevant luftfuktighet nattetid (då begränsningsvärdet 40 dB(A) gäller) skall beaktas, cirka 99%, dvs. ett tillägg göras med cirka 0,5 dB(A). Uppgifter om vindhastighet och effekt lämnades för Näsbyholmsfallet av verksamhetsutövaren själv, dvs. rådata saknas i rapporten, varför dessa vind- och effektdata saknar bevisvärde. Spridningen i mätresultat i bullernivå är för stor för att regression skall kunna göras dvs. $R^2 < 0,75$. I verkligheten beräknas $R^2 = 0,09$, Figur 1. Figur 1 visar ljudtrycksnivå som funktion av vindhastighet på höjden 10 m för ett (1) vindkraftverk i Näsbyholm. Inget signifikant samband fanns mellan, å ena sidan vindhastigheten och, å andra sidan, ljudtrycksnivå, varför resultaten inte borde ha nyttjats men så skedde ändå vid beslut i Miljönämnden. Subjektiv bedömning av upplevt buller för verk 1-3 saknar relevans som bevis i frågan. Därför bör en spridning av cirka 1 dB(A) mellan enstaka verk i stället ha beaktas. Om resultaten i Figur 1 ändå accepteras skall resulterande källbullernivå med ledning av ovan sagda beräknas till $100,3 + 1,1 + 0,5 + 0,9 = 102,8$ dB(A), vilket värde överensstämmer väl med garantikällbuller för Enercon 1,8 MW E-70 för mod 4. Bullerberäkning för full effekt om 2,3 MW har därför skett med garantikällbuller för Enercon 2,3 MW E-70 mod 0 dvs. 103,1 dB(A) enl. SNV 6241^{38, 39}.

Konsensus av praktikfall

Vid bullerberäkningar / mätningar för vindkraftverk undertrycks källbullret för vindkraftverket, uppges "nedskruvad" effekt, vilken är i det närmaste ogörlig att kontrollera, samt utförs beräkningar med förfinade metoder (program Nord 2000), vilka är att betrakta som "Black box". Nord 2000-programmet kräver en mängd specifika indata, vilka går att styra så att begränsningsvärdet ständigt uppfylls. Efterföljande kontroll av att begränsningsvärdet uppfylls utförs av högst densamme konsult som utförde bullerberäkningen, varför fråga är om cirkelbevis. Bullermätningarna utförs vidare under, för verksamhetsutövaren, mest gynnsamma förhållanden, dagtid vid låg

- 32 Stephan Schönfeld. Martin Almgren. Mätning av ljudeffekt från vindkraftverk enl. IEC 61400-11 Turbin 4, Näsbyholm vindkraftpark. Projekt 542336. ÅF Ingemansson. 2009-10-23, 20
- 33 MILJÖSKYDD NÄSBYHOLMS FIDERKOMMISS. LST Skåne. SDS. 2009-05-29, 1
- 34 § 15 Ansökan om uppgradering av vindkraftverken på fastigheterna Näsbyholm 2:1 i Trelleborgs kn enligt 5§ förordningen (1998:889) Om miljöfarlig verksamhet. Dnr 555-14093-09 1287-147, 2
- 35 Dick von Blixen Finecke. Ansökan om uppgradering av vindkraftverken på fastigheterna Näsbyholm 2:1, NÄSBYHOLMS FIDERKOMMISS. Trelleborgs kn. Bilaga a § 15/2009, 2
- 36 Universal Wind AB. WindPRO version 2.6.0.235 Aug 2008. 2009.01.21, 2
- 37 Mätning och beräkning av buller från vindkraftverk. Elektroniskt dokument www.naturvardsverket.se/sv/Verksamheter-med-miljopaverkan/Buller/Buller-fran-vindkraft/
- 38 Ljud från vindkraftverk. Boverket, Energimyndigheten, Naturvårdsverket. Rap 6241. 2001, 38 s.
- 39 Ljud från vindkraftverk. Reviderad utgåva av rapport 6241. Naturvårdsverket. 2009, 43

luftfuktighet, högt bakgrundsbuller, på för få verk, etc., medan ett relevant mätförhållande är nattetid vid temperaturinversion och hög luftfuktighet. En bullermätning måste utföras under dygnet alla timmar av strikt neutral part, t.ex. SP, med mätning även av alla parametrar som påverkar bullerutbredningen. I praktikfallen ingår minst 53 bostäder eller cirka 160 grannar intill 34 vindkraftverk, vilka kommer att exponeras för en tidigare icke upplevd typ av oregelbundet buller. Störningsfrekvensen blir minst cirka 4,5 capita per verk. Störningarna tar sig uttryck i nattetid störande buller med tonala inslag och bullertoppar, som i det lågfrekventa området, inomhus under enbart 10 min långa registreringar med varierande toppar om cirka 15 dB över minimivärdet^{40, 41}. Exemplifierade placeringar av verk får betraktas som de, under omständigheterna, mest gynnsamma med hänsyn till antalet störda grannar. Framgent kommer vindkraftverk att få placeras allt närmre drabbade grannar. Enligt Professor Erik Skärbäck, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp, kan, med ett skyddsavstånd av 250 m en produktion av 100 TWh vindel per år beräknas för vindkraftverk placerade på slätten, för 400 m i skyddsavstånd, 30 TWh per år produceras på slätten samt 10 TWh per år vindel med 650 m i skyddsavstånd till bostäder⁴². Enligt Professor Erik Skärbäck krävs ett omvänt laga skifte av den typ som ägde rum under 1800-talet för att produktionsmålet 30 TWh per år vindel skall kunna uppfyllas 2020 och samtidigt högst 40 dB(A) i bullernivå innehållas⁴³. Så blir uppenbart inte fallet, att 40 dB(A) kommer att kunna innehållas, utan en rimlig bedömning är att högre frekvens av grannar än ovan kommer att störas.

Material och metoder

Material

Beräkning av skyddsavstånd från 5145 bostäder i Sverige, varav 3436 i skog och 1709 på slätten, till 1221 vindkraftverk, varav 918 i skog och 303 på slätten, utfördes för 54 prospekt vars underlag finns att redovisat vid Kungliga biblioteket och de sex universitetsbiblioteken (med skyddsavstånd avses minsta avstånd mellan bostad och vindkraftverk). Prospekten innefattar bygglovs- och tillståndshandlingar. Tabellerna 2-3 visar en sammanställning av prospekten, i skog resp. på slätten.

Metoder

Beräkningen baseras på gällande svenska beräkningsregler och begränsningsvärden med datorprogrammet WindPro som beräkningshjälpmedel. Som metod användes Boverkets, Energimyndighetens och Naturvårdsverkets, SNVs modell 6241⁴⁴. Diskussion fördes

- 40 Bob Thorn. Assessing Intrusive Noise and Low Amplitude Sound. Massey Un. Wellington Campus, Inst Food Nutrition and Human Health, 316
- 41 Green & Ribnick Adverse impacts from wind turbines in Australia 2011-09-02, 9
- 42 Erik Skärbäck. BULLER I BLÅSVÄDER. Ljudmilj.C. LU. Lund. 2011-03-25.
- 43 Erik Skärbäck Vindlokalisering i jordbruksbygder – potentialer och konsekvenser. Sem. 2009-10-21, Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens TIDSKRIFT nr 3 2010, sid. 48-57; <http://www.ksla.se/wp-content/uploads/2011/01/KSLAT-2010-3-Vindkraft.pdf>
- 44 Ljud från vindkraftverk. Boverket, Energimyndigheten, Naturvårdsverket rap. 6241. 2001, 38 sid

med EMDs programmerare angående dess program WindPro⁴⁵. WindPro gör enligt MED en rimlig medelvärdesbedömning av bullernivån. Erfarenhet finns av WindPro under ett 20-tal år med små problem för omgivningen som följd. I datorprogrammet Nord 2000, som Delta i Köpenhamn har utvecklat, vilket program ingår som en del i utbudet från EMD, kan alla indata ändras t.ex. temperatur, vindriktning för enskilda verk, luftfuktighet, mod, etc. Med Nord 2000 fås därför oftast bullernivå under 40 dB(A) som resultat utan att man behöver ”skruva ned” vindkraftverken. Verksamhetsutövaren ändrar i stället indatan. Vilka indata som gäller för Nord 2000-körningen är därför viktiga. Verken får bara köras under beting som ges i indatan dvs. vid en viss luftfuktighet och temperatur samt vindriktning. Övrig tid får verken stängas av. Luftfuktighet och temperatur samt vindriktning är parametrar som grannar kan uppmäta. Vid samtliga ovannämnda praktikfall har Nord 2000 använts med problem med för hög bullerimmission för grannarna som följd. Följande övriga aspekter finns på beräkningar av bullerimmission från vindkraftverk:

1. Riktvärden/riktlinjer för bullernivå och skuggbildningstid har upphävts genom domar i Miljööverdomstolen, MÖD, SVEA HOVRÄTT 2009⁴⁶, ⁴⁷, ⁴⁸. Efter MÖDs dom finns endast begränsningsvärden för bullernivå kvar. Regeringen, myndighetsnämnder och länsstyrelser har i beslut godtagit att begränsningsvärdena överskrids med hänsyn till samhällsnyttan vilket klart strider mot MÖDs domslut. Dessa bygglov bör därför upphävas enl. MÖDs domslut.
2. Att ”skruva ned” verken i högre mod är kapitalslöseri. Verk skall hellre flyttas längre bort från bostäderna eller minskas i antal. Modkörning ger en olämplig lokalisering av vindkraftverken⁴⁹. Modkörning tillämpas vid en klar majoritet av prospekteringen och överklagandena⁵⁰.
3. I det fall högre mod än mod 0 skall nyttjas bör VKV plomberas till denna mod i syfte att undvika okynneskörning vid lägre mod och därmed högre källbullernivå. Ändring av mod bör givetvis inte ske vid bullermätning. Aktuell mod bör kunna kontrolleras i verkets körjournal. Ändring av mod bör inte ske under körning eftersom vindhastigheten inte kan prognostiseras i förväg.

Resultat, analys och diskussion

Tabell 4-5 visar resultat från genomgången av beräknad bullernivå vid 5145 bostäder med avseende på bulleremission från 1221 vindkraftverk. Ur logaritmisk regression

45 Thomas Sörensen. Personlig information (e-post). EMD, Aalborg. Tfn +45 9635 4444, 2009.

46 www.naturvardsverket.se/80/sv/Verksamheter-med-miljopaverkan/Industrier/Principiella-domar-fran-Miljo-overdomstolen/

47 SVEA hovrätt. Miljödomstolen. Rotel 1309. Länsstyrelsen i Kalmar län visavi Cementa AB. Mål M 5069-07. Dnr 617. Löpnr 5586-07. 2009-02-26, 6 sid.

48 SVEA hovrätt. Miljödomstolen. Rotel 1305. Länsstyrelsen i Kalmar län visavi Kalmar industrier. Mål M 1303-07. Dnr 546. Löpnr 3226-07. 2009-01-29, 13 sid.

49 Agne Hansson. Regeringens vindkraftsamordnare. Personlig information. Ödeshög. 2009-09-02.

50 Henrik Skanert, Carl-Philip Jönsson, Kaisa Sandstedt. Dnr 551-1192-10, Furuby, Växjö kn. 2010-09-14.

beräknades avståndet från bostad med bullernivån 40 dB(A) till närmaste vindkraftverk i meter enligt följande samband: $r_{40} = a(w) \cdot e^{b(x)}$ (1) där w betecknar effekt på vindkraftverket (MW) och x antal vindkraftverk (st), Tabellerna 4-5. Ur regressionen erhöles följande samband, dels för vindkraftverk i skog (medelavstånd 882 meter), dels för verk på slätten (medelavstånd 771 meter), Tabellerna 6-7 samt Figurerna 2-3:

$$r_{40} = (59,4 \cdot w) \cdot \ln(x) + 110 \cdot w + 333 \quad R^2 = 0,82 \quad (2)$$

$$r_{40} = (41 \cdot w) \cdot \ln(x) + 98 \cdot w + 293 \quad R^2 = 0,77 \quad (3)$$

där w betecknar effekt på vindkraftverket (MW) och x antal vindkraftverk (st).

Ovanstående samband, vilka baseras på antal verk och storlek på verken, får givetvis ses som tumregler. Sambanden är ändå mer nyanserade än nuvarande rekommendationer om minst 500 meter i skyddsavstånd mellan bostad och vindkraftverk. Siffran 500 meter ligger till grund för skyddsavstånd mellan bostad och vindkraftverk i merparten av landets kommuner. Nuvarande skyddsavstånd ligger även till grund för kontraktsskrivning mellan markägare och prospektör. Markägaren och prospektören är senare under tillståndprocessen oförstående till att svenska beräkningsregler och begränsningsvärden äger prioritet före skrivna kontrakt. Skrivna kontrakt mellan markägare och prospektören blir i stället avgörande. För att uppfylla tillståndsvillkoren söker därför markägare och prospektörer med uppdragsrapporten till och med att ändra nuvarande svenska beräkningsregler.

Slutsatser

Följande slutsatser kan dras av beräknade skyddsavstånd från 5145 bostäder till 1221 vindkraftverk:

1. Beräkning har skett baserad på 54 verkliga prospekt.
2. Prospekten innefattar färdiga eller genomförda bygglovs- och tillståndshandlingar.
3. Beräkningen baseras på gällande svenska beräkningsregler och begränsningsvärden.
4. Beräkningen visar att rekommenderat skyddsavstånd 500 meter är alltför litet.
5. Beräkningen ger ett mer nyanserat skyddsavstånd med vindkraftverkens antal och effekt som beroende parametrar än nu gällande schablon om 500 meter.

Tabeller

Tabell 1 – Kortfattad beskrivning av störningsgrad för buller.

S t ö r - n i n g s - grad	ICBEN	Rohrmann
0	-	Ej hörbart
1	Uppfattar, störs inte	Hörbart icke störande
2	Hör tydligt, kan störa kvalificerat skrivarbete men inte intellektuellt okvalificerat arbete	Lätt störande
3	Kan störa telefonsamtal, avkoppling utomhus	Måttligt störande
4	Påtagligt störande, kan tvingas gå in, kan störa insomning	Påtagligt störande
5	Outhärdligt ute, svårt somna in, vaknar nattetid, står ej ut hemma dagtid	Ytterst störande/ outhärdligt

Tabell 2a – Prospekt i skogen del 1

ISBN	Prospekt
Effekt: 0,8 MW	
978-91-86007-92-8	Analys av rapport om bullermätningar avseende vindkraftverk E-53 vid Krokek, Ödeshögs kommun, Östra Götalands län
978-91-86007-63-8	Bullernivå, energi och skuggor från ett vindkraftverk vid Krokek, Ödeshögs kommun, Östergötlands län
2,0 MW	
978-91-86007-17-1	Bullernivå och skuggbildningstid från 12 inmätta vindkraftverk vid Kåphult samt 11 projekterade vid Oxhult, Laholms kommun
978-91-86007-18-8	Bullernivå och skuggningstid från 8 vindkraftverk vid Ullstorp, Kristianstads kommun
978-91-86007-25-6	Bullernivå och sannolik skuggningstid ifrån 8 vindkraftverk Fällan, Aneby och Tranås kommuner
978-91-86007-26-3	Bullernivå och sannolik skuggningstid för 39 vindkraftverk vid Färingtofta Norra, Hässleholms och Klippan kommuner
978-91-86007-31-7	Beräkningar av bullernivå och sannolik skuggningstid för 33 vindkraftverk vid Maltesholm, Kristianstads kommun
978-91-86007-32-4	Buller- och skuggningstidsberäkningar för mellan två och 9 vindkraftverk vid Mörtsunda och Skjutbanan, Ljusterö, Österåker kommun

- 978-91-86007-33-1 Buller och skuggor för två vindkraftverk vid Åkarp, pa Linderöd, Kristianstads kn
- 978-91-86007-34-8 Beräkning av buller och skuggor från tre vindkraftverk vid Eke, Huaröd, Kristianstads kn
- 978-91-86007-36-2 Omgivningseffekter i form av buller och skuggor ifrån 7 vindkraftverk vid N Kärr, Jönköpings kn
- 978-91-86007-37-9 Omgivningseffekter i form av buller och skuggor från 4 vindkraftverk vid Glemmingebro, Ystads kn
- 978-91-86007-39-3 Buller, elenergi och skuggor från 5 vindkraftverk vid fast. Hörby 1:95, Sölvesborgs kommun
- 978-91-86007-40-9 Buller, elenergi och skuggor från 12 vindkraftverk vid Tolseröd-Borrestad, Kristianstads kommun
- 978-91-86007-41-6 Buller, elenergi och skuggor från ett vindkraftverk vid Benarp, Hörby kommun
- 978-91-86007-46-1 Omgivningseffekter i form av buller och skuggor från 3 vindkraftverk vid Näteryd och Krokek, Ödeshög kn
- 978-91-86007-47-8 Miljöeffekt i form av buller, energi och skuggor från utökad vindkraftpark i Oxhult/Kåphult, Laholms kn
- 978-91-86007-54-6 Beräkning av buller och skuggor från två vindkraftverk vid Araskog, Sjöbo kn

Tabell 2b – Prospekt i skogen del 2

ISBN	Prospekt
978-91-86007-61-4	Bullernivå och skuggtid för fem vindkraftverk vid Gummaråsen, Döware, Tvååker, Varbergs kn
978-91-86007-65-2	Bullernivå, energifångst och sannolik skuggtid för 11 vindkraftverk vid Kråkerum, Mönsterås kn
978-91-86007-71-3	Bullernivå och skuggningstid för tre (3) vindkraftverk vid Fågelås, Hjo kn, Västra Götalands län
978-91-86007-78-2	Bullernivå, energifångst och sannolik skuggningstid för nio (9) vindkraftverk på Trundön, Piteå kn
978-91-86007-79-9	Bullernivå och sannolik skuggningstid för 236 vindkraftverk vid Svartnäs, Falu och Ockelbo kommuner
978-91-86007-85-0	Bullernivå, energifångst och sannolik skuggningstid för fyra (4) vindkraftverk vid Folkarp, Tranås kn
978-91-86007-89-8	Bullernivå, energifångst och sannolik skuggningstid för fyra (4) vindkraftverk vid Uddarp, Ö Göinge
978-91-86007-94-2	Bullernivå för vindkraftverk vid Allerum, Helsingborgs kommun
978-91-86007-99-7	Bullernivå vid sexton (16) vindkraftverk i Ölme, Kristinehamns kommun

2,3 MW

978-91-86007-65-2	Bullernivå, energifångst och sannolik skuggtid för 11 vindkraftverk vid Kråkerum, Mönsterås kn
978-91-86007-73-7	Bullernivå och sannolik skuggningstid för två (2) vindkraftverk 9 och 10 vid Forshälla, Uddevalla kn
978-91-86007-74-4	Bullernivå och sannolik skuggningstid för sjutton (17) vindkraftverk vid Forshälla, Uddevalla kn
978-91-86007-90-4	Bullernivå, energifångst och sannolik skuggningstid för upp till 17 vindkraftverk vid Västraby, Helsingborgs, kn
978-91-86007-99-7	Bullernivå vid sexton (16) vindkraftverk i Ölme, Kristinehamns kommun

2,5 MW

978-91-86007-23-2	Bullernivå och sannolik skuggningstid för 11 vindkraftverk vid Furuby, Växjö kommun
978-91-86007-25-6	Bullernivå och sannolik skuggningstid ifrån 8 vindkraftverk Fällan, Aneby och Tranås kommuner
978-91-86007-44-7	Omgivningseffekter i form av buller och skuggor ifrån 3 vindkraftverk vid Galneryd, Hjo kommun
978-91-86007-44-7	Omgivningseffekter i form av buller och skuggor ifrån 3 vindkraftverk vid Galneryd, Hjo kommun

978-91-86007-66-9	Bullernivå, energifångst, fotomontage och sannolik skuggtid för nio (9) vindkraftverk vid Ballingslöv, Hässleholms kn
978-91-86007-69-0	Buller, energi och skuggningstid från elva (11) vindkraftverk vid Furuby, Växjö kn
978-91-86007-72-0	Bullernivå, energifångst och sannolik skuggningstid för fem (5) vindkraftverk vid Skabersjö, Svedala kn
978-91-86007-76-8	Bullernivå, energifångst och skuggningstid för fem (5) vindkraftverk på Dunabolet och Skalleberg, Hjo kn
978-91-86007-76-8	Bullernivå, energifångst och skuggningstid för fem (5) vindkraftverk på Dunabolet och Skalleberg, Hjo kn
978-91-86007-81-2	Bullernivå, energifångst och sannolik skuggningstid för sju (7) vindkraftverk å Algustorp, Hässleholms kn
978-91-86007-87-4	Bullernivå, energifångst och sannolik skuggningstid för åtta (8) vindkraftverk vid Deranäs, Ljungby kommun

Tabell 2c – Prospekt i skogen del 3

ISBN	Prospekt
Effekt: 2,5 MW	
978-91-86007-88-1	Bullernivå, energifångst och sannolik skuggningstid för sex (6) vindkraftverk "Luveryd" vid Fällan, Aneby och Tranås kommuner
978-91-86007-89-8	Bullernivå, energifångst och sannolik skuggningstid för fyra (4) vindkraftverk vid Uddarp, Ö Göinge
978-91-86007-89-8	Bullernivå, energifångst och sannolik skuggningstid för fyra (4) vindkraftverk vid Uddarp, Ö Göinge
978-91-86007-99-7	Bullernivå vid sexton (16) vindkraftverk i Ölme, Kristinehamns kommun
978-91-86007-99-7	Bullernivå vid sexton (16) vindkraftverk i Ölme, Kristinehamns kommun
3,0 MW	
978-91-86007-14-0	Skuggbildning och bullernivå vid 3 vindkraftverk å Knuts kulle, Gnosjö kn
978-91-86007-16-4	Buller och skuggor från 11 vindkraftverk å Kåphult 1:10, Laholms kommun
978-91-86007-18-8	Bullernivå och skuggningstid från 8 vindkraftverk vid Ullstorp, Kristianstads kommun
978-91-86007-19-5	Bullernivå och sannolik skuggningstid för 24 vindkraftverk å Ljusterö, Österåker kommun
978-91-86007-24-9	Bullernivå och sannolik skuggningstid från 10 vindkraftverk vid Sjönnebol, Säfte kommun

978-91-86007-27-0	Bullernivå och sannolik skuggningstid för 27 vindkraftverk vid Sjönebol och Torserud, Säfle kn
978-91-86007-28-7	Bullernivå och sannolik skuggningstid ifrån 17 vindkraftverk i Granliden och Järnstads vindkraftpark, Ödeshögs kommun
978-91-86007-31-7	Beräkningar av bullernivå och sannolik skuggningstid för 33 vindkraftverk vid Maltesholm, Kristianstads kommun
978-91-86007-32-4	Buller- och skuggningstidsberäkningar för mellan två och 9 vindkraftverk vid Mörtsunda och Skjutbanan, Ljusterö, Österåker kommun
978-91-86007-40-9	Buller, elenergi och skuggor från 12 vindkraftverk vid Tolseröd-Borrestad, Kristianstads kommun
978-91-86007-51-5	Miljöeffekt i form av buller och skuggor från fyra vindkraftverk vid Raftasjöhöjden, Krokoms kn
978-91-86007-52-2	Miljöeffekt i form av buller och skuggor från 26 vindkraftverk vid Forsvik, Karlsborg kommun
978-91-86007-61-4	Bullernivå och skuggtid för fem vindkraftverk vid Gummaråsen, Döware, Tvååker, Varbergs kn
978-91-86007-65-2	Bullernivå, energifångst och sannolik skuggtid för 11 vindkraftverk vid Kråkerum, Mönsterås kn
978-91-86007-68-3	Buller, energi och skuggningstid från tre (3) vindkraftverk vid Rosenberg, Mariestads kn
978-91-86007-78-2	Bullernivå, energifångst och sannolik skuggningstid för nio (9) vindkraftverk på Trundön, Piteå kn

3,6 MW

978-91-86007-57-7	Buller, energi och skuggor från vindkraftverk vid Nottebäck, Uppvidinge kommun
978-91-86007-84-3	Bullernivå, energifångst och sannolik skuggningstid för arton (18) vindkraftverk vid Ljunga, Ljungby kn
978-91-86007-87-4	Bullernivå, energifångst och sannolik skuggningstid för åtta (8) vindkraftverk vid Deranäs, Ljungby kommun

Tabell 3a – Prospekt på slätten del 1

ISBN Prospekt

0,8 MW

978-91-86007-38-6	Omgivningseffekter i form av buller och skuggor från 4 vindkraftverk vid Blästorps, Simrishamns kn
978-91-86007-70-6	Bullernivå och skuggningstid för två (2) vindkraftverk vid Borrby-Vallby, Simrishamns kn, Skåne län
978-91-86007-91-1	Bullernivå, energifångst och sannolik skuggningstid för två (2) vindkraftverk vid Tarstad, Svalövs kn

978-91-86007-91-1 Bullernivå, energifångst och sannolik skuggningstid för två (2) vindkraftverk vid Tarstad, Svalövs kn

1,0 MW

978-91-86007-77-5 Bullernivå, energifångst och sannolik skuggningstid för åtta (8) vindkraftverk vid Reslöv, Eslövs kommun

978-91-86007-91-1 Bullernivå, energifångst och sannolik skuggningstid för två (2) vindkraftverk vid Tarstad, Svalövs kn

2,0 MW

978-91-86007-10-2 Buller från 5 vindkraftverk vid fast. Hörby 1:95, Sölvesborgs kommun

978-91-86007-13-3 Skuggbildning och bullernivå vid 12 vindkraftverk i N Vånga, Vara kommun

978-91-86007-15-7 Buller och skuggor från 4 vindkraftverk vid fastigheten Näsbyholm 2:1, Trelleborgs kommun

978-91-86007-21-8 Bullernivå och sannolik skuggningstid för 9 vindkraftverk vid Rydsgård, Skurups kommun

978-91-86007-29-4 Beräkningar av bullernivå och sannolik skuggningstid för 11 vindkraftverk i Sotared vindkraftpark, Falkenbergs kn

978-91-86007-35-5 Buller och skuggor från 9 eller 12 vindkraftverk vid Gärsnäs, Simrishamns kommun, Skåne län

978-91-86007-39-3 Buller, elenergi och skuggor från 5 vindkraftverk vid fast. Hörby 1:95, Sölvesborgs kommun

978-91-86007-43-0 Buller, elenergi och skuggor från 19 vindkraftverk vid Blästorps, Gullåker, Gärsnäs och Olofsfält, Simrishamns kn

978-91-86007-54-6 Beräkning av buller och skuggor från två vindkraftverk vid Araskog, Sjöbo kn

978-91-86007-55-3 Buller och skuggor från 9 vindkraftverk i Glemminge-Köpinge Vindkraftpark, Ystads kn

978-91-86007-55-3 Buller och skuggor från 9 vindkraftverk i Glemminge-Köpinge Vindkraftpark, Ystads kn

978-91-86007-58-4 Bullernivå, energifångst och skuggningstid vid Östra Herrestad vindkraftpark, Simrishamns kn (9-13 verk)

978-91-86007-62-1 Bullernivå, energi och skuggor från tre nya vindkraftverk vid Tejarpsdalen, Klågerup, Svedala kn

978-91-86007-62-1 Bullernivå, energi och skuggor från tre nya vindkraftverk vid Tejarpsdalen, Klågerup, Svedala kn

978-91-86007-69-0 Buller, energi och skuggningstid från elva (11) vindkraftverk vid Furuby, Växjö kn

978-91-86007-80-5 Bullernivå, energi och sannolik skuggningstid för åtta (8) vindkraftverk vid Ingelstråde, Höganäs kommun

- 978-91-86007-82-9 Bullernivå, energi och sannolik skuggningstid för upp till sju (7) vindkraftverk vid Eriksfält, Ystads kn
- 978-91-86007-83-6 Bullernivå, energifångst och sannolik skuggningstid för två (2) vindkraftverk å Ingelstorp, Ängelholms kn

Tabell 3b – Prospekt på slätten del 2

ISBN	Prospekt
Effekt: 2,0 MW	
978-91-86977-01-6	Bullernivå vid tolv (12) vindkraftverk i Norra Vånga, Vara kommun
Effekt: 2,3 MW	
978-91-86007-15-7	Buller och skuggor från 4 vindkraftverk vid fastigheten Näsbyholm 2:1, Trelleborgs kommun
978-91-86007-30-0	Beräkningar av bullernivå och sannolik skuggningstid för två vindkraftverk vid Ingelstråde, Höganäs kommun
978-91-86007-35-5	Buller och skuggor från 9 eller 12 vindkraftverk vid Gärsnäs, Simrishamns kommun, Skåne län
978-91-86007-42-3	Omgivningseffekter i form av buller och skuggor ifrån 2 vindkraftverk vid Sörby, Trelleborgs kn
978-91-86007-48-5	Miljöeffekter i samband med efterhandslegalisering av för stort byggda vindkraftverk å Näsbyholms Fideikommiss, Trelleborg kn
978-91-86007-58-4	Bullernivå, energifångst och skuggningstid vid Östra Herrestad vindkraftpark, Simrishamns kn (9-13 verk)
2,5 MW	
978-91-86007-35-5	Buller och skuggor från 9 eller 12 vindkraftverk vid Gärsnäs, Simrishamns kommun, Skåne län
978-91-86007-58-4	Bullernivå, energifångst och skuggningstid vid Östra Herrestad vindkraftpark, Simrishamns kn (9-13 verk)
978-91-86007-90-4	Bullernivå, energifångst och sannolik skuggningstid för upp till 17 vindkraftverk vid Västraby, Helsingborgs, kn
978-91-86007-97-3	Bullernivå vid tre (3) vindkraftverk vid Duveke (Loarp), Svalövs kommun
3,0 MW	
978-91-86007-12-6	Buller och skuggor från 4 - 5 vindkraftverk å fast. Glemminge 140:2, m.fl., Köpingsbro, Ystads kommun
978-91-86007-11-9	Buller från 12 vindkraftverk i N Vånga, Vara kommun

- 978-91-86007-35-5 Buller och skuggor från 9 eller 12 vindkraftverk vid Gärsnäs, Simris-
hamns kommun, Skåne län
- 978-91-86007-45-4 Beräkningar av vindhastighet, effekt, produktion och andel av i Vara
prospekterad intäkt ifrån ett nytt vindkraftverk vid Norra Vånga, Vara
kn
- 978-91-86007-49-2 Miljöeffekt i form av buller och skuggor från två vindkraftverk vid
Forsvik, Karlsborgs kommun
- 978-91-86007-53-9 Bullernivå och skuggningstid från tre vindkraftverk vid Berget, Gudhem,
Falköpings kommun
- 978-91-86007-60-7 Utlåtande angående buller, energi och skuggor från 2 vindkraftverk vid
Örum, Ystads kommun
- 978-91-86007-67-6 Buller, energi och skuggningstid från två (2) vindkraftverk vid Berget,
Gudhem, Falköpings kn
- 978-91-86007-97-3 Bullernivå vid tre (3) vindkraftverk vid Duveke (Loarp), Svalövs
kommun

3,6 MW

- 978-91-86007-21-8 Bullernivå och sannolik skuggningstid för 9 vindkraftverk vid Rydsgård,
Skurups kommun
- 978-91-86007-60-7 Utlåtande angående buller, energi och skuggor från 2 vindkraftverk vid
Örum, Ystads kommun
- 978-91-86007-86-7 Bullernivå, energifångst och sannolik skuggningstid för nitton (19)
vindkraftverk i Hakefjorden vid Brännö, Göteborgs kn, Västra Göta-
lands ln

Tabell 4a – Resultat i skog del 1

Rapport	V e r k (st)	Bostäder (st)	a	b	R ²	r 4 0 (m)
Effekt: 0,8 MW						
2011_92	1	18	16387	-0,0890	-0,09	540
2009_63	1	18	14810	-0,0885	1,00	400
2,0 MW						
2008_17	23	5	67321	-0,1063	0,62	960
2008_18	8	15	55687	-0,1063	0,89	790
2009_25	6	43	30881	-0,0986	0,90	600
2009_26	39	14	29786	-0,0833	0,56	1050
2009_31	33	12	10908	-0,0653	0,56	800
2009_32	23	91	103692	-0,1237	0,77	750
2009_33	2	6	30535	-0,1002	0,99	560
2009_34	3	3	27271	-0,0919	0,78	690
2009_36	11	111	29748	-0,0940	0,76	700
2009_37	3	36	44876	-0,1105	0,76	540
2009_39	2	2	178103	-0,2419	1,00	800
2009_40	12	10	139358	-0,1284	0,89	820
2009_41	1	9	17583	-0,0872	0,99	525
2009_46	3	19	61805	-0,1168	0,95	570
2009_47	22	8	8001	-0,0517	0,71	1015
2009_54	2	10	14483	-0,0757	0,95	780
2009_61	5	75	58375	-0,1133	0,97	615
2010_65	10	5	203294	-0,1363	0,79	900
2010_71	6	15	83162	-0,1204	0,94	650
2010_78	9	298	37818	-0,0962	0,98	810
2010_79	236	60	144444	-0,1241	0,97	1095
2010_85	4	65	65827	-0,1149	0,96	638
2010_89	3	15	64704	-0,1182	0,98	580
2011_94	4	20	32630	-0,1045	0,99	500
2011_99	16	10	40246	-0,1006	0,52	720
2,3 MW						
2010_65	10	5	714254	-0,1541	0,79	1250
2010_73	2	4	64641	-0,1130	0,99	720
2010_74	17	35	99004	-0,1170	0,59	915

2010_90	17	38	44503	-0,0931	0,90	1080
2011_99	16	10	39445	-0,1005	0,52	760
2,5 MW						
2009_23	11	13	39133	-0,0958	0,83	840
2009_25	6	43	31753	-0,0981	0,90	640
2009_44	5	18	63731	-0,1167	0,89	600
2009_44	3	18	52222	0,1155	0,97	520
2010_66	9	11	152222	-0,1225	0,92	1140
2010_69	11	13	105834	-0,1223	0,89	800
2010_72	4	1122	37235	-0,1006	0,90	638
2010_76	5	18	32026	-0,0969	0,72	660
2010_76	3	18	49559	-0,1138	0,97	520
2010_81	7	37	22104	-0,0841	0,89	767
2010_87	8	33	49706	-0,1072	0,80	700
2010_88	6	10	17765	-0,0831	0,92	635
2010_89	3	60	22237	-0,0856	0,98	725
2010_89	4	60	55115	-0,1024	0,69	920
2011_99	16	10	58943	-0,1008	0,52	1040
2011_99	16	10	52490	-0,1009	0,53	925

Tabell 4b – Resultat i skog del 2

Rapport	V e r k (st)	B o s t ä d e r (st)	a	b	R ²	r 4 0 (m)
Effekt: 3,0 MW						
2008_14	3	21	90735	-0,1096	0,97	1125
2008_16	11	6	10426	-0,0581	0,54	980
2008_18	8	15	98982	-0,1063	0,89	1340
2008_19	23	23	36347	-0,0883	0,88	1060
2009_24	10	25	150477	-0,1258	0,98	970
2009_27	27	8	118618	-0,1053	0,80	1650
2009_28	17	49	181520	-0,1177	0,83	1610
2009_31	33	12	17229	-0,0653	0,56	1240
2009_32	23	91	154719	-0,1237	0,77	1100
2009_40	12	10	285990	-0,1284	0,89	1700
2009_51	4	4	18696	-0,0719	1,00	1040
2009_52	26	20	152935	-0,1120	0,57	1700
2009_61	5	75	114546	-0,1133	0,97	1220

2010_65	10	5	424399	-0,1363	0,79	1300
2010_68	3	25	51194	-0,1073	0,88	700
2010_78	9	298	50360	-0,0962	0,98	1070

3,6 MW

2009_57	1	20	29741	-0,0918	0,99	750
2010_84	18	47	65093	-0,0976	0,64	1300
2010_87	8	33	72946	-0,1065	0,80	1025

Tabell 5a – Resultat på slätten del 1

Rapport	V e r k (st)	B o s t ä d e r (st)	a	b	R ²	r 4 0 (m)
---------	-----------------	-------------------------	---	---	----------------	--------------

Effekt: 0,8 MW

2009_38	3	36	53249	-0,1192	0,96	444
2010_70	4	34	27886	-0,1005	0,91	500
2010_91	2	63	28745	-0,1000	0,99	460
2010_91	2	63	31384	-0,1000	0,99	580

1,0 MW

2010_77	8	33	14756	-0,0816	0,67	560
2010_91	2	63	37367	-0,1000	0,99	680

2,0 MW

2008_10	2	14	123691	-0,1349	0,78	560
2008_13	7	79	48653	-0,1118	0,71	560
2008_15	4	16	31274	-0,0970	0,75	685
2008_21	9	31	27967	-0,0950	0,84	620
2009_29	11	6	83536	-0,1815	0,87	645
2009_35	12	38	13277	-0,0731	0,60	720
2009_39	2	14	11345	-0,0755	0,50	555
2009_43	15	78	17862	-0,0833	0,54	638
2009_54	2	10	16349	-0,0757	0,95	810
2009_55	6	38	22646	-0,0908	0,64	595
2009_55	5	38	19018	-0,0870	0,63	580
2009_58	12	38	10704	-0,0676	0,54	718
2009_62	5	24	30945	-0,0975	0,89	610
2009_62	3	24	39170	-0,1031	0,94	620
2010_69	11	13	109039	-0,1236	0,88	780

2010_80	2	87	62698	-0,1155	0,54	590
2010_82	3	49	23875	-0,0915	0,76	615
2010_83	2	34	17003	-0,0849	0,58	565
2011_101	12	70	48088	-0,1082	0,54	638

2,3 MW

2008_15	4	16	28108	-0,0970	0,75	560
2009_30	2	4	51440	-0,1097	0,97	675
2009_35	12	38	19589	-0,0760	0,55	940
2009_42	2	25	42942	-0,1109	0,96	520
2009_48	4	16	25036	-0,0932	0,71	620
2009_58	12	38	16138	-0,0715	0,51	920

2,5 MW

2009_35	12	38	17781	-0,0760	0,60	970
2009_58	12	38	14180	-0,0680	0,55	940
2010_90	17	38	62293	-0,0931	0,90	1350
2011_97	6	44	39438	-0,1013	0,77	680

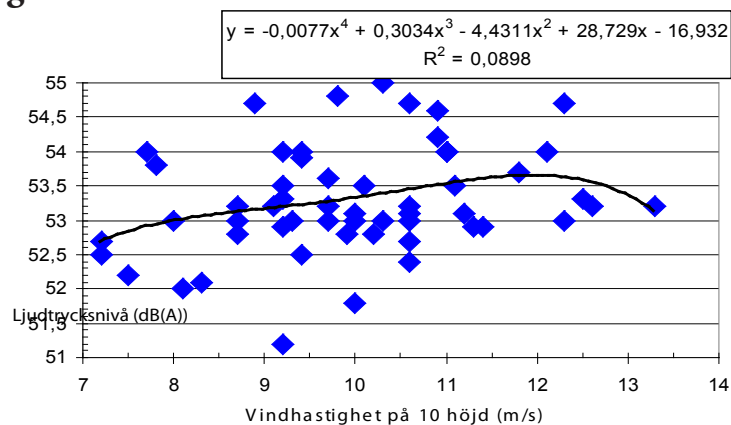
3,0 MW

2008_12	4	32	4357	-0,0439	0,58	760
2008_11	7	79	69262	-0,1123	0,71	780
2009_35	12	38	18545	-0,0731	0,60	1000
2009_45	7	79	121333	-0,1192	0,62	1030
2009_49	2	9	39898	-0,0944	1,00	900
2009_53	2	14	30061	-0,0979	0,96	590
2009_60	2	25	59396	-0,1039	0,96	820
2010_67	2	14	30022	-0,0979	0,96	580
2011_97	6	44	27155	-0,0896	0,68	750

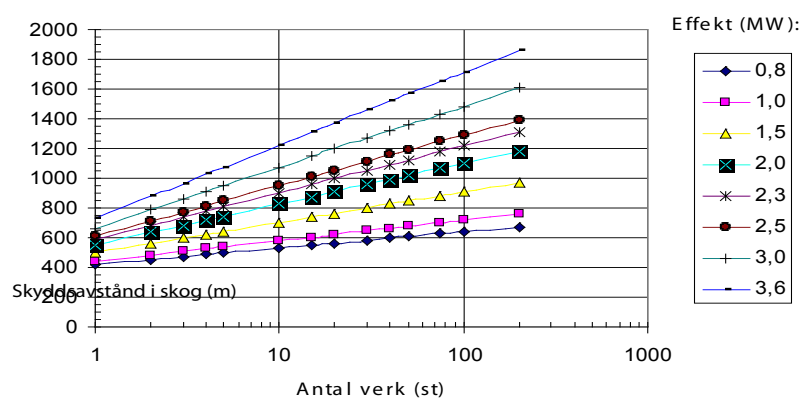
Tabell 5b – Resultat på slätten del 2

Rapport	V e r k (st)	B o s t ä d e r (st)	a	b	R ²	r 4 0 (m)
Effekt: 3,6 MW						
2008_21	9	31	41799	-0,0950	0,84	920
2009_60	2	25	59884	-0,1070	0,95	920
2010_86	19	31	90921	-0,1084	0,97	1180

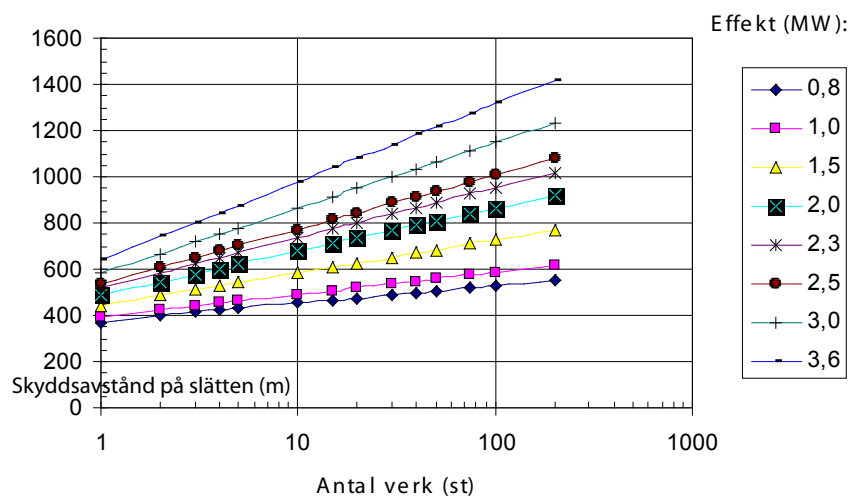
Figurer



Figur 1 - Ljudtrycksnivå som funktion av vindhastighet på höjden 10 meter. Inget signifikant samband fanns, men detta samband kom ändå till användning vid beslut i Miljönämnden



Figur 2 – Skyddsavstånd till bostad vid vindkraftverk i skog.



Figur 3 – Skyddsavstånd till bostad vid vindkraftverk på slätten.



BULLER I BLÅSVÄDER

Buller i blåsväder är precis vad vindkraftverk alstrar när vindarna tar fart, och vindkraftsbullret har satt vindkraften i blåsväder politiskt och opinionsmässigt. Ljudmiljöcentrum vid Lunds universitet arrangerade våren 2011 ett tvärdisciplinärt symposium i Lund för att sätta vindkraftbullret ytterligare i blåsväder genom att utsätta det för forskningvärldens granskning i en samlad vetenskaplig genomlysning av frågor om vindkraft och bullerstörningar. Hur ser forsknings- och kunskapsläget ut idag och vilka luckor finns? Symposiet syftade till att belysa akustiska såväl som hälsomässiga och samhälleliga aspekter.

Ljudmiljöcentrum ville med symposiet "Buller i blåsväder" tillhandahålla en arena där aktuell forskning om vindkraft och ljudmiljöperspektiv kunde presenteras och diskuteras. I denna skrift finns nu material som presenterades på symposiet tillgängliggjort för de som inte var där, och de som önskar reflektera och referera till aktuell forskning.



LUNDS UNIVERSITET

Lyssnande Lund - Ljudmiljöcentrum vid Lunds universitet

Box 117, 221 00 Lund
Telefon 046-222 09 46.

www.ljudcentrum.lu.se