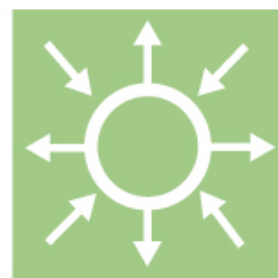


MASK II

Maskering av vindkraftsljud med avseende
på naturliga bakgrundsljud

Elforsk rapport 09:02



Karl Bolin & Mats Åbom

Jan 2009

Mask II Maskering av vindkraftsljud med avseende på naturliga bakgrundsljud

Elforsk rapport 09:02

Förord

Denna rapport utgör slutrapportering för projektet "Mask II, Maskering av vindkraftsljud med avseende på naturliga bakgrundsljud" (V-228) som genomförts inom ramen för det grundläggande programmet inom forskningsprogrammet Vindforsk.

Projektet har finansierats av Energimyndigheten som projekt P 20134-3.

Måslättningen med projektet har varit att kartlägga de omständigheter vid vilken maskering av vindkraftverkets ljud är möjlig.

Projektet har genomförts som ett doktorandprojekt.

Rapporten är skriven av Tek. Lic. Karl Bolin och Prof. Mats Åbom,
KTH/Marcus Wallenberg Laboratoriet/Institutionen för farkost och flygteknik
Teknikringen 8

100 44 Stockholm

Sweden

E-mail: kbolin@kth.se / matsabom@kth.se

Tel: +46 (0)8 790 92 02/+46 (0)8 790 79 44

Fax: +46 (0)8 790 76 29

Medlemmar i referensgrupp var:

Sten Ljunggren, Professor emeritus, KTH/ Institutionen för Byggetenskap,
Sten.Ljunggren@byv.kth.se

Hans Ohlsson, WPD Scandinavia AB, h.ohlsson@wpd.se

Stockholm januari 2009

Anders Björck

Programledare Vindforsk II

Sammanfattning

Denna rapport kartlägger under vilka omständigheter "maskering" av ljud från vindkraftverk är möjlig. Rapporten redovisar utveckling av modeller för två vanligt förekommande typer av naturligt bakgrundsljud, nämligen vindinducerat vegetationsljud och ljud från havsvågor. Modellen för vegetationsljud kan kompletteras med simuleringar av vindturbulens och därmed kan tidsvariationer av vegetationsljud beräknas. Det är viktigt eftersom detta periodvis kan göra ett vindkraftverk hörbart trots att vegetationsljudets medelnivå döljer ("maskerar") vindkraftsljudet fullständigt. De två modellerna för bakgrundsljud har validerats mot mätningar och befunnits ge en tillfredställande överensstämmelse, till exempel ger modellen för vågljud en medelavvikelse på c:a 1,0 dB. De föreslagna modellerna kan tillämpas för att skatta det naturliga bakgrundsljudet på en given plats för olika vind och vågnivåer. Detta kombinerat med en genomförd psykoakustisk studie rörande hur bakgrundsljud påverkar vindkraftsljud ger riktlinjer för när maskering av vindkraftsljud kan förväntas. Resultaten är därmed användbara för att erhålla platsspecifika riktvärden för när vindkraftverk är ohörbara. Från studierna dras följande slutsatser: (1) Prediktionsmetoder för vegetationsljud behöver inkludera vindturbulens för att korrekt kunna estimeras fluktuationer i vegetationens ljudnivå. (2) Metoderna för att estimeras ljud från vegetation och vågor har visat sig ha tillfredställande tillförlitlighet och bör kunna användas för att uppskatta bakgrundsljudet på platser där dessa ljud är de dominerande bakgrundskällorna. (3) Bakgrundsljudet behöver vara ca 10 dB högre än vindkraftverkets A-vägda ljudnivå för att total maskering av vindkraftsljudet ska vara garanterad.

Summary

This report investigates under which circumstances masking of wind turbine noise is possible. It develops models of two frequently occurring natural sound sources; those of wind induced vegetation noise and noise from sea waves. The vegetation noise model is connected to wind field simulations and thereby time fluctuations of vegetation noise can be estimated. This is considered important because the wind turbine noise may be audible at short periods even though the average background sound may completely mask the wind turbine noise. Comparisons between measurements of ambient noise and model predictions show satisfying agreement. Sound from sea waves and the model show an average error of 1.0 dB. The prediction models can be used to estimate the natural ambient sound. A psycho acoustic investigation was performed. This test regarded the audibility of wind turbine noise in natural ambient noise. Results from the models can be combined with the psycho-acoustic results to give guidelines when wind turbine noise is expected to be masked by natural sounds. These guidelines are usable to acquire site specific knowledge when the wind turbine noise fulfills the Swedish environmental protection agency's noise emission guidelines for masking of wind turbine noise. From the results the following can be concluded: (1) Vegetation noise predictions need to include turbulence models to correctly estimate fluctuation in the sound level from the vegetation. (2) The methods to predict sound from vegetation and sea waves show satisfying agreement. These methods could be used to estimate ambient noise levels at sites where these are dominating the soundscape. (3) The background noise should be 10 dB above background noise level to assure complete masking.

Summering av artiklar

Nedan följer beskrivning av tre vetenskapliga artiklar som har skrivits inom projektets tidsram. Dessa har skickats in eller ska sändas till vetenskapliga tidskrifter, dessa refereras till som artikel A, B resp. C i denna rapport.

Artikel A: *Prediction method for vegetation noise*, K. Bolin insänd den 28 september 2008 till *Acustica/Acta Acustica*, minor revision

Artikel B: *Air borne sea noise*, K. Bolin and M. Åbom, skall skickas till *Journal of Acoustical Society of America*

Artikel C: *Determining the potentiality of masking wind turbine noise using natural ambient noise*, K. Bolin M. Nilsson and S. Khan, insänd den 5 maj 2007 till *Acustica/Acta Acustica*, revision

Innehåll

1	Bakgrund	1
2	Artikel A: Prediction method for vegetation noise	4
3	Artikel B: Air borne sound from sea waves	6
4	Artikel C: Determining the potentiality of masking wind turbine noise using natural ambient noise	8
5	Slutsats	10
6	Fortsatt forskning	11
	Referenser	12

1 Bakgrund

Den globala uppvärmningen och hotet som den utgör mot vår miljö medför att en förändring från dagens icke förnyelsebara energikällor till förnyelsebara är en förutsättning för en långsiktigt hållbar utveckling. Sveriges klimatmål är att till år 2020 minska utsläppen av växthusgaser med 25 % jämfört med 1990 års nivå. En av de energikällor med störst potential att bidra till denna omställning är vindkraften. Omställningen mot förnyelsebar energi innebär att vindkraftens andel av Sveriges producerade elenergi sannolikt kommer att öka inom de närmsta åren. Dagens (2008) produktion är ca 2 TWh årligen. Regeringens mål är att 20 TWh elektricitet från vindkraftsverk ska produceras år 2020. Utvidgningen innebär att en ny bullerkälla kommer att introduceras i landsdelar som tidigare haft liten förekomst av samhällsbuller eftersom utbyggnaden sker framförallt på landsbygden. Detta ställer krav på att riktlinjerna för buller från vindkraftsverk behöver vara väl anpassade mot den faktiskt upplevda ljudstyrkan eftersom det visat sig att bullerstörningar är ett av de huvudsakliga argumenten mot vindkraftsutbyggnad [1]. Utvecklingen av vindkraftverken har även den varit snabb från maskiner med 100 kW effekt på 1980-talet till dagens vindkraftverk på effekter mellan 2-5 MW. Ljudet från vindkraftverk har även det förändrats drastiskt från 1980-talets distinkta amplitudmodulationer från maskiner med lämonterade rotorblad till dagens vindkraftverk som ger ljud med lägre modulationer och med tyngdpunkten i lägre frekvensområden som därmed kan upplevas som mindre störande än äldre verk. Dessutom finns pitch-regulerade vindkraftsverk som kan reglera attackvinkeln mot vinden och därmed ges möjlighet att aktivt anpassa ljudemissionen från verken.

Perceptionen av en ljudkälla beror på i vilket sammanhang ljudet upplevs. Det är därför inte bara av betydelse vilken ljudnivå vindkraftverk har utan även hur mycket bakgrundsljud som finns eftersom det påverkar uppfattningen av vindkraftsljudet. Denna interaktion mellan två ljud kan ge upphov till så kallad maskering. Till exempel kan ett vindkraftverk vara hörbart i en relativt tyst miljö medan det i en bullrigare miljö är ohörbart, trots samma eller högre ljudnivå. På detta sätt blir riktlinjer med konstanta ljudnivåer missvisande eftersom de upplevs olika på olika platser. Konsekvenserna av ett dylikt regelverk blir att vindkraftverk i tidigare lugna och tysta miljöer kan upplevas kraftfullare i förhållande till områden med högre bakgrundsljud. Det finns redan riktlinjer i flera europeiska länder som tar hänsyn till detta vid bestämning av ljudemission från vindkraftverk. I Storbritannien [2] tillämpas regler där den tillåtna ljudnivån är korrelerad till uppmätta värden på bakgrundsljudet. Mätningar av bakgrundsljud sker vid

projektering av vindkraftsanläggningar och den tillåtna ljudnivån bestäms därefter. Dessa mätningars varaktighet är vanligtvis ett par veckor långa. En sådan praxis innebär att hänsyn ej nödvändigtvis tas till olika årstiders skiftande förhållanden och ljudnivåer från bakgrunden. Till exempel försvinner vågornas brus när isen lägger sig och skogen som susar under hösten kommer att låta annorlunda under vintern när löven har fallit av. Om samma bakgrundsnivåer används för att uppskatta maskeringen under olika årstider, när bakgrundsljuden sannolikt är olika, blir bedömningen av den maskerande effekten missvisande under långa perioder av året.

Ett tidigare forskningsprojekt rörande ljud från vegetation [3] visade att det var möjligt att prediktera ljudnivåer från olika vegetationstyper och trädarter. Vidare undersökningar vidgade kunskapen om hur vindens turbulens orsakar fluktuationer i ljudet från träd [4] och resulterade i att mätningar utfördes på flera olika platser. Dock presenterades inga simuleringsresultat från modeller med koppling mellan turbulensmodeller och modellen för vegetationsljud. Delvis beroende på att vegetationsmodellen var analytisk och turbulensmodeller oftast är diskretiserade p.g.a. turbulensens kaotiska natur som vanligtvis kräver stokastiska modeller för att efterlikna slumpmässigheten i vindturbulensen. Denna rapport beskriver i artikel A hur en diskretiserad modell för vegetationsljud baserad på den tidigare nämnda modellen [3] kan kopplas till en modern modell av vindturbulens samt jämför denna modell med ett flertal mätningar av tidsfluktuerande vegetationsljud. I Artikel A beskrivs även en utökad modell för hur ljud från lövträd kan modelleras vintertid.

Mätningar och en modell för havsbrus beskrivs i artikel B. Den syftar till att redogöra vilka ljudnivåer som uppstår när vågor bryter mot stränder eftersom denna ljudkälla har visat sig dominera ljudlandskapet runt stora delar av den svenska kusten [5]. I detta fall bör vindkraftverkens ljudnivå anpassas efter våghöjden och inte efter vindhastigheten.

Undersökningar av sinnesorganens detektionsförmågor har skett sedan 1800-talet [6]. Den lägsta nivå där stimuli detekterades kallades för tröskeln (eng. threshold). Antagandet att det existerade en absolut gräns mellan detektion och icke-detektion motsades redan från början av resultat från psykofysiska tester. Resultaten från detektionstester visade sig vara normalfördelade. Förklaringen till att gränserna var diffusa antogs vara att yttre omständigheter såsom allmäntillstånd, trötthet och uppmärksamhet varierade mellan försöken.

Under 1950- och 1960- talen utvecklades nya testmetoder inom psykofysiken. Det visade sig att testdesignen hade stor inverkan på resultaten, något som motsades av tröskelteorin. Till exempel påverkas försökspersoner av information om hur ofta stimuli uteblir i test. Om 90 % av stimuli anges innehålla stimuli ökar risken för falskt alarm, d.v.s. att försökspersoner svarar att stimuli presenterades trots att det inte

presenterades, jämfört med om 50 % av stimuli anges innehålla stimuli. För att kunna förklara resultaten lanserades signaldetektionsteori av Swets [7] på 70-talet. Enligt denna teori finns inte en tröskel, istället ansågs nivån för detektion variera, inte bara p.g.a. omständigheterna utan även beroende på hur testen var utformade. På detta sätt inkluderades beslutsteori i psykofysiken och de testresultat som var oförenliga med tröskelteori kunde förklaras med signaldetektionsteori. En central del av signaldetektionsteori är att kompensera för andelen "falska alarm" (FA) d.v.s. när en försöksperson rapporterar förekomst av stimuli trots avsaknaden av detta. Då kan sannolikheten för detektion $P(H)$ kompenseras för sannolikheten för falskt alarm $P(FA)$ och ett detektionsindex, d' , beräknas $d' = (P(H) - P(FA)) / (1 - P(FA))$. Denna parameter ger en skattning av detektionen utan bias som kan uppstå från den valda testmetodiken och ger därmed en mer korrekt beskrivning av detektionsfrekvensen än sannolikheten $P(H)$.

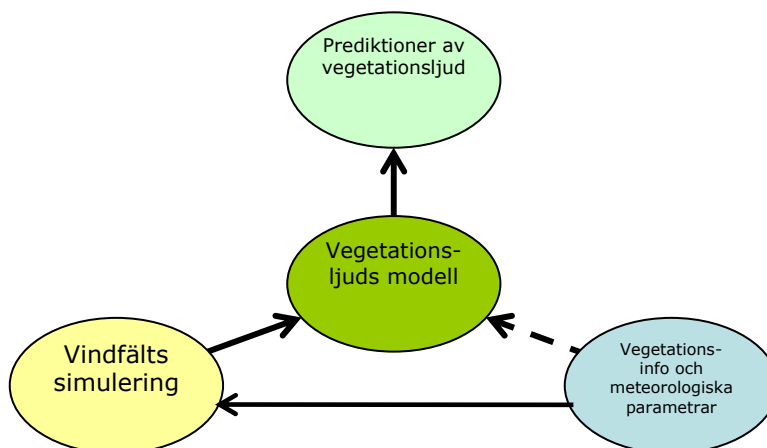
Det är vetenskapligt vedertaget att det inte existerar en entydig tröskel. Däremot definieras "empiriska trösklar" som är valda kriterier på d' eller $P(H)$ för att underlätta fastställandet av riktlinjer när stimuli är detekterbart. Inom audiologin används vanligtvis $P(H) = 0,5$ som definition av hörtröskeln, se ISO 389-7 [8]. För att underlätta jämförelser mellan den aktuella studien och andra används detta gränsvärde även i denna studie.

Maskering av ljud orsakas av att ett ljud (bakgrundsljudet) påverkar perceptionen (uppfattningen) av ett annat ljud (signalen) så att signalens upplevs få en lägre volym än om den skulle ha hörts utan bakgrundsljud. Maskeringens motsats, en förstärkning av signalen kan också uppstå om signalen och bakgrunden uppfattas som samma ljud. Det är därför intressant att undersöka om bakgrundsljud har en maskerande eller förstärkande effekt på vindkraftsbuller.

Det finns två olika sorters maskeringseffekter som kan uppstå, den första kallas energimaskering och den andra för informationsmaskering [9], i de flesta fall är den totala maskeringen en blandning av dessa två. Energimaskering uppstår när bakgrundsljudet är högre än signalen i samtliga frekvensband. Komplexa och tidsvarierande signaler med markanta händelser påverkas normalt mer av informationsmaskering medan enklare signaler med kort varaktighet kan vanligtvis väl beskrivas med hjälp av energimaskering. Mer komplexa ljud och ljud där signal och bakgrund är lika varandra visar sig ofta på stora skillnader mellan modeller med energimaskering och resultat från tester. Desto större likheter mellan signal och bakgrund desto större påverkan har informationsmaskering. Vid likartade karakteristika mellan signal och bakgrund ökar även risken för att förstärkning, i stället för maskering, uppstår. Om modeller baserade på energimaskering är möjliga att tillämpa när det gäller vindkraftsbuller i miljöer med naturligt bakgrundsljud samt under vilka omständigheter maskering respektive förstärkning uppstår är frågeställningar som analyseras i artikel C.

2 Artikel A: Prediction method for vegetation noise

Ett ökat intresse för vindkraftverk i skogsmiljö har noterats de senaste åren. Detta beror på att höjden på verken har ökat och därmed blir den negativa påverkan av träden på vindhastigheten lägre. Knappt 65 % av Sveriges yta är skogstäckt och möjligheterna att placera vindkraftverk i skogar utan större påverkan på övrigt skogsbruk är god. Ett allmänt förekommande ljud på landsbygden är därför det ljud som skapas när vinden blåser genom träd. Vinden genererar både ljud från vegetation och från eventuella vindkraftverk, därmed kommer korrelationen mellan dessa två ljudkällors styrka att vara hög. Av dessa anledningar är vegetationsljud en mycket intressant källa att studera för att bedöma maskering av vindkraftverk. En semiempirisk modell av vegetationsljud presenteras i denna artikel. Denna modell inkluderar simulering av vindturbulens och därigenom skapandet av turbulenta tidserier av vindhastigheten [10]. Dessa kan användas för att beräkna fluktuationer av ljudet från vegetation, för en schematisk bild av modellen se Fig. 1. Fluktuationerna anses viktiga eftersom vindkraftverken periodvis kan höras och därmed uppfattas som störande trots att medelnivån från skogens vegetationsljud maskerar vindkraftverket fullständigt.

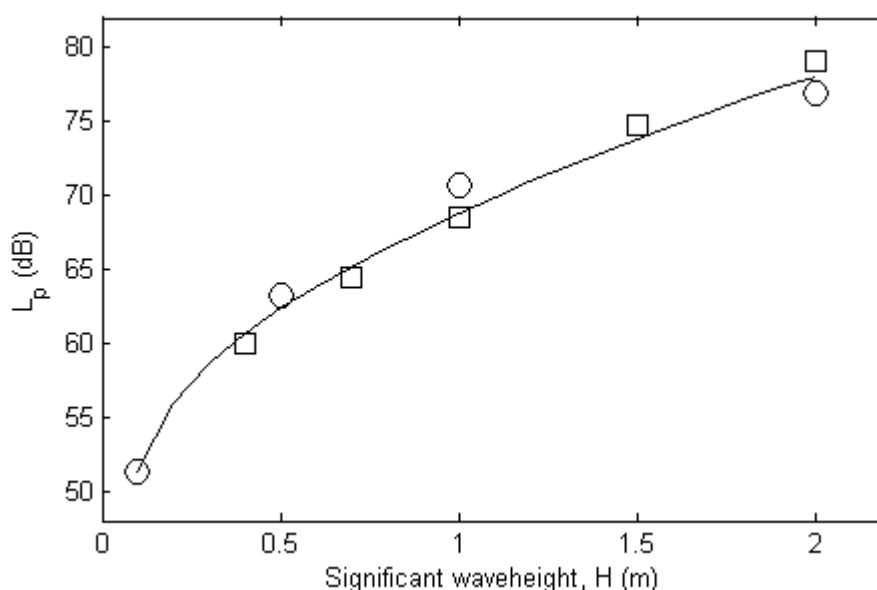


Figur 1. Visar hur beräkningsalgoritmer för Fégeants modell [3,4] (- - -) och den modifierade metoden i Artikel A med vindturbulens (—).

En tidigare modell för vindkraftsbuller [3] har använts som utgångspunkt men modifierats enligt: (1) diskretiserats för att kunna användas tillsammans med vindturbulensmodeller; (2) ge bättre överensstämmelse med mätningar av barrträd samt; (3) modellera ljud från lövträd under vintertid när de är avlövade. Den nya modellen jämförs med den tidigare [3] samt med mätningar vid högre vindstyrkor än tidigare rapporterats. Jämförelsen mellan mätningar och modellresultat för hur turbulensen påverkar fluktuationerna visar god överensstämmelse. Mätningar från avlövade träd ger ljudtrycksnivåer upp till 57 dB vid vindstyrkor på knappt 7 m/s och därmed bör även dessa ha en maskerande verkan på vindkraftsbuller. Vidare visar modellen för ljudemission från lövträd vintertid att även dessa förhållanden kan predikteras med rimlig noggrannhet.

3 Artikel B: Air borne sound from sea waves

I denna artikel presenteras mätningar av vågbrus samt en modell för denna ljudkälla. Anledningen att studera detta ljud är att det dominerar ljudlandskapet vid kustregioner och därmed vid gynnsamma förhållanden kan maskera vindkraftsljud. Maskering av off-shore vindkraftverk kan visa sig vara av synnerligen stor betydelse eftersom det finns stora outnyttjade vindresurser till havs. Mätningar av vågljud har skett på flera plaster runt den svenska kusten och resultat redovisas för våghöjder mellan 0,4 och 2,0 m och för olika våg- och strandtyper. En undersökning av olika ljudgenereringsmekanismer visar att ljudalstringen mest sannolikt beror av oscillerande luftbubblor och kollektiva oscillationer i bubbelmoln. Mätningar visar typiska ljudtrycksnivåer vid strandkant mellan 51 dB och 78 dB, se Fig 2. Avståndsdämpningen har visat sig nära en linjekälla vilket innebär att ljudet avtar med 3 dB per avståndsdubbling från strandkanten.



Figur 2. Figuren visar mätningar (o och □) av ljudnivåer på 20 m avstånd från strandkanten som funktion av signifikant våghöjd samt beräkningar med föreslagen modell (—).

Den genererade ljudeffekten från vågorna beror främst på våghöjden men hur vågen bryter påverkar också genereringen. Jämförelse mellan mätningar och modellprediktioner visar medelvärden av avvikelser på 1.0 dB. Slutsatsen från

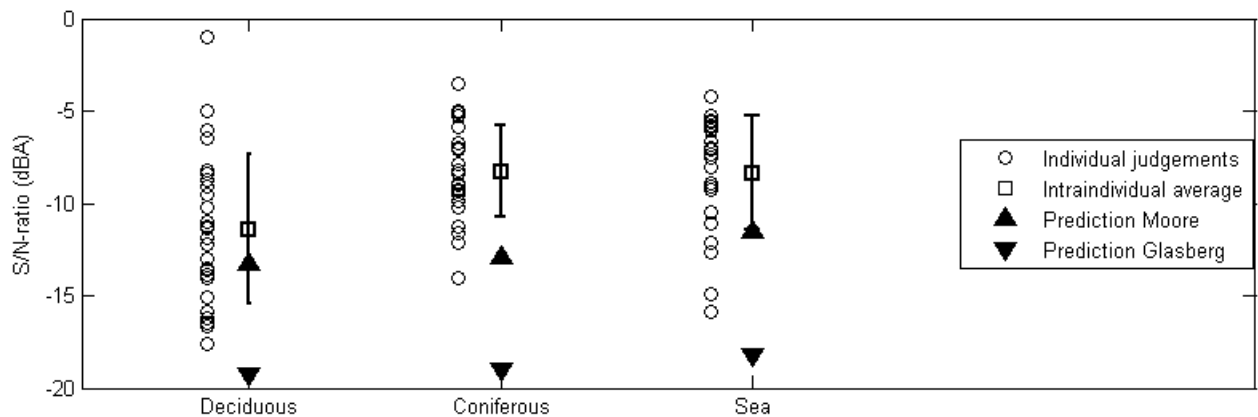
studien är att ljudnivån från brytande vågor kan vara tillräckligt höga för att maskera vindkraftsbuller och att prediktioner av denna ljudkälla är möjliga. En möjlighet i kustnära områden med bebyggelse är att ljudemissionen från vindkraftverk anpassas till rådande vågljud via en aktiv reglering av driften.

4 Artikel C: Determining the potentiality of masking wind turbine noise using natural ambient noise

Denna artikel berör hur naturligt bakgrundsljud påverkar hur vindkraftsljud upplevs. Studien innehåller resultat från psyko-akustiska tester med 30 deltagare. Hörtröskeln från vindkraftsljuden samt den partiella ljudnivån av vindkraftverk i bakgrundsljud har estimerats. Hörtröskeln avser den ljudnivån när vindkraftsljudet inte hörs och den partiella ljudnivån beskriver hur bakgrundsljudet påverkar upplevelsen av vindkraftsljudet. För att få en bred bild av maskering används tre olika typer av bakgrundsljud (från lövträd, barrträd och vågor) och två olika vindkraftsbuller, dels från ett 100 kW vindkraftverk från 1991 med distinkta amplitudmodulationer och dels från en vindkraftspark från 1990-talet med 17 stycken 1.8 MW vindkraftverk med huvudsakligt energiinnehåll under 1 kHz. De två olika ljuden är valda för att få en så stor skillnad i karaktär som möjligt men kan givetvis inte påstås vara relevanta för alla typer av vindkraftsljud. Mätningarna från vindkraftsparken erhöles från en 20 minuters period som delvis innehåller amplitudmodulationer liknande de i ljudet från det enstaka vindkraftverket. Ljudstimuli från 2 MW vindkraftsverken är valt så att det inte innehåller hörbara amplitudmodulationer. Detta för att ge resultaten ökad relevans och användbarhet för både äldre som nyare vindkraftverk. Ljudet från vindkraftsparken som mätningarna är utförda vid har rönt ett stort intresse från både akademiskt håll [11] samt från näringslivet [12]. I Referens 11 beskriver närboende ljudet från vindkraftverken "som från ett oändligt tåg" men det använda ljudet i denna rapport har inte dylik karaktär. Dessutom bör noteras att amplitudmoduleringar kan påverka den upplevda störningen mer än hörtröskeln och den partiella ljudstyrkan vilka har utvärderats i denna artikel. Testerna använder uteslutande monauralt stimuli. Anledningarna till detta är huvudsakligen att båda ljudkällorna är orörliga och därmed blir ljudupplevelsen inte lika riktighetsberoende som för rörliga ljudkällor som t.ex. trafik- och flygplansljud där riktningen mot källan förändras och är en viktig del för att ljudet ska upplevas realistiskt. Förutom det ger monaurala ljud ett mittvärde av detektionen till skillnad från ytterligheterna, bakgrundsljud i ena örat och vindkraftsljud i det andra örat (maximal detektion) och monauralt bakgrundsljud och vindkraftsljud i ett öra (minimal detektion). Dessutom skulle en undersökning ett relevant antal kombinationer av binaurala ljud för

att ge en heltäckande bild av hur direktiviteten påverkar hörtröskeln och partiell ljudstyrka bli ett mycket omfattande arbete.

Resultaten från testerna har jämförts med två modeller utvecklade vid Cambridge University [13, 14], se Fig. 3. I denna figur visas vid vilka signal-brus-förhållanden (ljudnivån för vindkraftverket minus ljudnivån för bakgrundsljudet) då hörtröskeln uppkommer. Studien visar att hörtröskeln estimeras mest korrekt av en modell [13] med tidsberoende ljud som är grunden till en ANSI-standard [15] men att partiell ljudstyrkan estimeras mest noggrant med en modell som tar hänsyn till tidsvarierande ljud [14]. Slutsatserna från studien är att bakgrundsljudet behöver vara ca 10 dB högre än vindkraftverkets A-vägda ljudnivå för att total maskering av vindkraftsljudet ska vara garanterad. Vidare indikerar resultaten att den partiella ljudnivån för vindkraftverksljud sjunker ca 3 dB om ljudnivån från bakgrunden är 6 dB högre än vindkraftsljudet. Ett exempel på detta är att om ljudnivån på bakgrunden är 46 dB och vindkraftverkets ljudnivå är 40 dB men det uppfattas lika högt som 37 dB vindkraftsljud i tyst bakgrund.



Figur 3. Hörtröskel visas som signal-brus-förhållande för vindkraftsljud från vindkraftsparken. (o) är individuella bedömningar medan (□) visar medelvärdet, staplarna visar 95 % konfidensintervall och trianglarna visar prediktioner med de två olika modellerna.

5 Slutsats

Från studierna dras följande slutsatser:

1. Prediktionsmetoder för vegetationsljud behöver inkludera vindturbulens för att korrekt kunna estimeras fluktuationer i vegetationens ljudnivå.
2. Metoderna för att estimeras ljud från vegetation och vågor har visat sig ha tillfredställande tillförlitlighet och bör kunna användas för att uppskatta bakgrundsljudet på platser där dessa ljud är de dominerande bakgrundskällorna.
3. Hörtröskeln för vindkraftsljud är ca 10 dB under ljudnivån från omgivande naturligt bakgrundsljud.

Slutsatserna i punkt 2 och 3 har utnyttjats vid omarbetningen av Naturvårdsverkets rekommendationer för beräkning av ljud från vindkraftverk, Ref. 17.

6 Fortsatt forskning

För att erhålla kunskap om hur bakgrundsljud påverkar hur vindkraftsljud uppfattas bör ytterligare undersökningar göras som fokuserar på den upplevda störningen. I artikel C presenterades förvisso mätningar av hörtröskeln och den partiella ljudstyrkan. Den partiella ljudstyrkan skulle kunna fungera som en indikator på hur störande vindkraftsljuden uppfattas, men tidigare forskning [16] visar att andra parametrar än ljudnivån kan vara avgörande för hur störande vindkraftverk upplevs. Dessa resultat är från 1997 och utvecklingen av vindkraftsverk med tillhörande förändringar i ljudkaraktär har varit stor sedan dess. Trots att vindkraftsljuden är ålderstigna och knappast är helt relevanta i dagens läge indikerar ändå rapporten att vid så pass låga A-vägda ljudnivåer som 40 dB kan andra faktorer än ljudnivån vara av stor betydelse för den upplevda störningen från vindkraftsljud. Denna slutsats visar att undersökningar av hur störande vindkraftsljud är bör vara intressanta att genomföra eftersom detta inte med säkerhet bara beror på ljudnivån. Under projektets gång genomfördes en förstudie av korrelationen mellan ljudstyrka, maskering och störning. Tyvärr gav inte undersökningen entydiga resultat angående sambandet mellan partiell ljudstyrka och upplevd störning. Vidare undersökningar inom detta område planeras av författarna tillsammans med forskare från Stockholms Universitet under våren 2009.

Referenser

- [1] E. Pedersen, Human response to wind turbine noise, Göteborgs Universitet, ISBN 987-91-628-7149-9, 2007.
- [2] R. Meir & et al.: The assessment and rating of noise from wind farms. Technical report ETSU-R-97, Department of Trade and Industry 1996.
- [3] O. Fégeant. Wind-induced vegetation noise. part 1: A prediction model. *Acta Acustica*, 85:228–240, 1999.
- [4] O. Fégeant. Masking of wind turbine noise: Influence of wind turbulence on ambient noise fluctuations. Technical Report 2002:12, Department of Civil and Architectural Engineering, Royal Institute of Technology, Sweden, 2002.
- [5] P. Appelqvist, Maskering av vindkraftsljud via naturligt makgrundsljud-särskilt havsbrus, *Trita-AVE* 2006:100, 2006.
- [6] G. T. Fechner, *Element der Psychophysik*. Leipzig: Breitkopf & Härterl, 1860.
- [7] M. M. Green and J. A. Swets: *Signal Detection Theory and Psychophysics* (2 ed.), New York, Krieger Publishing, 1974
- [8] ISO 389-7:2005 Acoustics – Standard reference zero for the calibration of pure-tone air conduction audiometers, Part 7 Reference threshold of hearing under free-field and diffuse-field listening conditions, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2005.
- [9] R. A. Lufti: How much masking is informational masking?, *Journal of Acoustical Society of America* 88, 2607-2610 (1990)
- [10] J.Mann: Wind field simulation, *Prob. Engng. Mech*, 1998
- [11] G. P. van den Berg. "The Sounds of High Winds: the effect of atmospheric stability on wind turbine sound and microphone noise." Doctoral thesis University of Groningen, Netherlands, May 2006.
- [12] R Ramakrishnan, Wind Turbine Facilities Noise Issues, 4071/2180/AR155Rev3, December 2007
- [13] B. C. J. Moore, B. R. Glasberg and T. Baer: A model for the prediction of thresholds, loudness and partial loudness. *Journal of the Audio Engineering Society*, 45, 224–240, 1997.
- [14] B. R. Glasberg and B. C. J. Moore: Development and evaluation of a model for predicting the audibility of time-varying sounds in the presence of background sounds, *Journal of Audio Engineering Society*, 53, 906-918, 2005.
- [15] ANSI, S3.4-2003: Procedure for the Computation of Loudness of Steady Sounds, American National Standards Institute, New York, 2003.
- [16] K. Persson Waye, E. Öhrström, M. Björkman, Buller och bullerstörningar från vindkraftverk. Avdelningen för miljömedicin Göteborgs Universitet. ISRN GU-MMED-97/1-SE
- [17] Rapport: Ljud från vindkraftverk, Rapportnummer 6241, Boverket, Energimyndigheten och Naturvårdsverket, 2001, ISBN 91-620-6241-7