

# Störning av vindkraftverk – enkät och lyssningstester

Slutrapport projektnr 40972-1

Författare Dag Glebe, Leslie Pendrill, Penny Bergman, Fredrik Öberg och Jesper Alvarsson



## Förord

Rapporten redovisar resultat från Vindvals projekt ”Förklaringsmodeller för störning av vindkraftverk (projekt nr 40972–1) och har sammanställts av Dag Glebe RISE Ljud och Vibrationer, Borås, med skriftliga bidrag från Leslie Pendrill, RISE, Metrology, Göteborg, Fredrik Öberg, RISE Ljud och Vibrationer och Jesper Alvarsson, Södertörns Högskola, samt underlag från Penny Bergman, RISE Produktdesign och Perception, Göteborg och Tanja Tränkle RISE Branddynamik, Göteborg.

# Innehåll

FÖRORD

FEL! BOKMÄRKET ÄR INTE DEFINIERAT.

<b>1. SAMMANFATTNING</b>	<b>6</b>
<b>2. SUMMARY</b>	<b>9</b>
<b>3. PROJEKTETS MÅL</b>	<b>12</b>
<b>4. PROJEKTLEDNING OCH MEDVERKANDE</b>	<b>13</b>
<b>5. PROJEKTUPPLÄGG</b>	<b>14</b>
5.1. Bakgrund	14
5.2. Projektets fokusområde	14
5.3. Projektöversikt	15
<b>6. AP1 DATAINSAMLING</b>	<b>16</b>
6.1. Metoder	16
6.1.1. Metodik vid insamlande av ljudsignaler och övriga data	16
6.1.2. Mätplatser	17
6.1.3. Turbinmodeller i undersökningen	18
6.1.4. Kommentar om skattning av ljudnivåer inomhus	18
<b>7. AP2 LYSSNINGSTESTER</b>	<b>20</b>
7.1. Metoder	20
7.1.1. Design av testfiler	20
1. Tonalitet - toner	21
2. lågfrekvensbuller (Framträdande Bas)	22
3. Högfrekvens (framträdande diskant)	22
4. Amplitudmodulering (periodiska tidsvariationer av amplitud)	22
5. Ljudstyrka (A-vägd nivå)	25
7.2. Test med parvisa jämförelser	26
7.3. Semantisk Differential	27
<b>8. AP3 ENKÄTSTUDIE</b>	<b>32</b>
8.1. Metod	32
8.1.1. Urval	32
8.1.2. Frågeformulär	33
8.1.3. Databearbetning - deskriptiva data	33
8.1.4. Databearbetning – psykometrisk utvärdering	34

8.2. Resultat	35
8.2.1. Störning – deskriptiva data	35
8.2.2. Störning – psykometrisk analys	36
8.2.3. Demografi, hälsa och attityder – psykometrisk utvärdering	39
8.2.4. Ekonomisk ersättning från vindkraftparker	40
8.2.5. Psykometrisk analys av enkätsvaren rörande ekonomisk ersättning	42
8.2.6. Tillförlitlighet och validitet	43
8.2.7. Mätning/objekt-separation och beslutsfattande	44
<b>9. DISKUSSION OCH SLUTSATSER</b>	<b>46</b>
<b>10. KÄLLFÖRTECKNING</b>	<b>49</b>
<b>11. APPENDIX</b>	<b>53</b>
11.1. Översikt av vindturbiner som ingick i undersökningen	53
11.2. Beskrivning av mätpositioner	54
11.2.1. Brattön	54
11.2.2. Möckelsjöberget (Härnösand)	55
11.2.3. Malå	56
11.3. Testlayouter	57
11.3.1. Parvis jämförelse	57
11.3.2. Semantisk differential	58
11.3.3. Enkät	60

# 1. Sammanfattning

Vid ingången till 2015 hade elproduktionen från vindkraftverk under de senaste tio åren mer än tiodubblats. En bidragande orsak var den nya generationen vindkraftverk med ökade navhöjder och större rotordiametrar. I samband med detta ställdes frågan hur dessa större kraftverk påverkar människors upplevelser av bullret från vindkraftverk. I Vindvalprojektet "Förklaringsmodeller för störning från vindkraftverk" undersöktes vilka faktorer som dominerar upplevd störning av vindkraftljud. Studien bestod av tre delar. Del ett och tre av projektet utfördes i samarbete med Uppsala Universitets Vindvalprojekt "Människors upplevelser av ljud från vindkraft i kuperad terräng relaterat till ljudmätning", projektnummer 40969-1.

I den första delen gjordes mätningar av ljudnivåer och inspelningar av karaktäristiskt vindkraftsbuller i en kartläggning på olika platser vid sju större vindkraftsparker. Urvalet var baserat på att någon form av ekonomisk ersättningsmodell kunde kopplas till dessa parker, vilket motsvarade en del av frågorna i den enkätstudie som redogörs för nedan.

I den andra delen studerades ljudegenskaper isolerat ur sin kontext (men fortfarande i egenskap av buller från vindkraftverk). Från de ljud som inspelats under kartläggningen i del 1 togs en uppsättning karaktärsdrag och egenskaper fram, som utvärderades med avseende på deras inverkan på upplevd störning i parvisa jämförelser som utvärderades med en Bradley-Terry-Luce modell (BTL). Karaktärsdragen utvärderades vidare med avseende på deras relativa intensiteter av ett antal emotionella och audiella aspekter, och aspekternas kopplingar sinsemellan, med multivariata tekniker som principalkomponent analys (PCA).

I den tredje delen undersöktes hur andra faktorer utöver den renodlade ljudupplevelsen påverkade störningsbilden. I en enkätstudie till boende runt de undersökta vindkraftsparkerna ställdes frågor som övergripande handlade om människors boendesituation, livsförhållanden, sovrummets orientering gentemot vindkraftverken, bullerstörning, visuell påverkan från vindkraftverken, ekonomiska ersättningsmodeller från vindkraftsparken, ägarstrukturer, generella attityder kring vindkraft, med mera. Syftet var att ge ett holistiskt underlag för en framtida syntesmodell för störning. De delar som detta projekt fokuserade på var sambanden mellan störning och audiella faktorer i vindkraftsbuller, ägarstrukturer samt ekonomiska ersättningsmodeller från vindkraftsparken (övriga faktorer låg inom Uppsalaprojektets fokusområden). Enkätsvaren analyserades av RISE Metrology med state-of-the-art psykometriska metoder, inklusive logistisk regression och multivariata tekniker som principalkomponent regression (PCR). Enkätfrågor om (i) vindkraft och störning analyserades i termer av varje individs känslighet,  $\theta$ , till störning och störningens grad,  $\delta$ , av svårighet; (ii) frågorna om demografi, hälsa och attityder analyserades i termer av varje individs grad av hälsa,  $\theta$ , och svårighetsgrad,  $\delta$ , av varje hälsoaspekt; (iii) frågor om ekonomisk ersättning från vindkraftsparken analyserades i termer av varje individs grad,  $\theta$ , av lätnöjdhet och varje ersättningsformens grad,  $\delta$ , av kvalitet. Begreppen känslighet och svårighet i dessa sammanhang diskuteras vidare nedan.

Resultaten från projektet visar att de rön som redovisats tidigare för mindre verk till ligger i linje med vad som framkom i det insamlade materialet från de större kraftverk som undersöktes här. Bland annat pekade resultaten på en tydlig risk med att alltför ensidigt fokusera på A-vägda ljudnivåer i olika former. I lyssningsstudien visade det sig att en framträdande lågfrekvent ton

eller ett modulerat lågfrekvent brus i ljudbilden, gav en ökad störning i samma storleksordning som en högre A-vägd ljudnivå gav. Dessutom bedömdes den upplevda ljudstyrkan för en testfil med en framträdande lågfrekvent ton som minst lika hög som en testfil med högre A-vägd ljudnivå. De subjektiva bedömningarna av vilka ljudegenskaper som hördes stämde i flera fall dåligt överens med de faktiska modifieringar som gjorts på ljudexemplen, vilket understryker svårigheterna i att beskriva ljud med ord.

Resultaten av de psykometriska analyserna indikerade en stor spridning i känslighet till störningar (såväl visuella som akustiska) från vindkraftverk bland de 500 individer som svarade på enkäten. Det fanns dock tecken på en svag positiv korrelation mellan varje individs känslighet,  $\theta$ , till störning och deras ålder, däremot ingen korrelation alls av individernas störkänslighet med årsinkomst eller allmän hälsa. En svag, positiv korrelation fanns mellan varje individs känslighet,  $\theta$ , till störning och den lokalt uppmätta ljudnivån ( $LpA$ ). Det mest störande element var knutet till enkätfrågan 15: *Hur upplever du generellt sett ljudnivån från vindkraftverken närmast din bostad?* Det minst störande var 13g: att det var svårt att ha fönster öppet på dagtid.

Om man ställer resultaten av lyssningstesterna i relation till Naturvårdsverkets riktvärden så kan två slutsatser dras. Dels är det en bra idé att komplettera ekvivalent A-vägd ljudnivå med en skärpning vid hörbara toner, som nu görs, även om inverkan av toner dessutom är beroende av frekvens och absolutnivå. Dels vore en motsvarande skärpning av rekommenderade riktvärden befogad även vid förekomst av modulerat brus, något som till exempel föreslagits i Storbritannien efter en grundlig utredning.

De tre emotionella aspekter (arousal/Aktivering – styrka på känsloreaktion, valens – positiv eller negativ värdeladdning och restoration – möjlighet till återhämtning) som utvärderades visade sig vara redundanta och kunde estimeras med hjälp av en audiell aspekt, som benämndes Styrka (med tolkningen upplevd ljudstyrka). Det visade sig att den upplevda ljudstyrkan i denna undersökning var en linjärkombination av framförallt tre ljudegenskaper (lågfrekventa toner, modulerat lågfrekvent brus, samt ljudnivå). De tre emotionella aspekterna kan alltså i denna undersökning tolkas som olika sidor av samma generella störning.

Vid analys av enkätfrågorna om demografi, hälsa och attityder i termer av varje individs grad av hälsa,  $\theta$ , och svårighetsgrad,  $\delta$ , av varje hälsoaspekt, kunde man konstatera att positiv respons på enkätfrågan *Har du öronsus?* indikerade en benägenhet att ranka störningar från vindkraftverk högt. En positiv respons på *Jag är deprimerad* indikerade istället en benägenhet att ranka störningar från vindkraftverk lågt.

Som ett resultat av analysen med PCR-tekniken kunde dock en formel för prediktering av en individs känslighet till störning från vindkraftverk härledas<sup>1</sup>:  $\theta_i = -0,4(3) - 0,002(2) \cdot Age_i[a] - 0,03(5) \cdot Educ_i[a] - 0,001(2) \cdot Health_i[logit] + 0,01(4) \cdot Income_i[cat. 1 - 4]$ , där siffrorna i parentes indikerar utvidgade mätosäkerheter med täckningsfaktor  $k = 2$ .

Trots den låga svarsfrekvensen på frågorna om ekonomisk ersättning från vindkraftsparken, kunde ändå en analys utföras av varje individs grad,  $\theta$ , av lättnöjdhet och varje ersättningsforms grad,  $\delta$ ,

---

<sup>1</sup>  $\theta = 0$  motsvarar 50% success score.

av kvalitet. Bland resultaten kan nämnas att ersättningsformen som upplevs ha den högsta kvaliteten av de ställda frågorna var 37. *Har din ort tjänat på bygdepengen?* medan fråga 29. *Betalar vindkraftsparken ut arrende till dig?* bedömdes ha lägst kvalitet. Ingen korrelation alls fanns mellan individernas lättnöjdhet med ersättningsformen och årsinkomst eller individernas känslighet för störning från vindkraftverk.



## 2. Summary

At the start of 2015, production of electricity from wind turbines had more than tenfold over the past ten years, and a contributing factor was the new generation of wind turbines with increased hub heights and larger rotor diameters. This triggered the question of how these larger power plants affect people's perception of the noise from wind turbines. The Vindval project Förklaringsmodeller för störning från vindkraftverk ("explanation models for annoyance from wind power plants"), investigated the factors that dominate perception wind turbine noise. The study consisted of three parts. Part one and three of the project were carried out in collaboration with Uppsala University Vindval project Människors upplevelser av ljud från vindkraft i kuperad terräng relaterat till ljudmätning ("People's perceptions of noise from wind power in hilly terrain in relation to sound measurements").

In WP1, measurements of noise levels and recordings of characteristic wind power noise were carried out in a survey at different locations at seven major wind farms in Sweden. The selection was based on whether any economic incentive models were associated with the respective wind farms, which was matched with a set of questions in the questionnaire below.

In WP2, sound characteristics were isolated from their context (but still considered as noise from wind power plants). From the sounds files that were recorded during the survey in WP1, a set of characteristics and properties was identified, and evaluated in a pairwise comparison test with regard to their impact on the perceived disturbance/annoyance and evaluated with a Bradley Terry-Luce model (BTL). The characteristics were further evaluated with respect to their relative intensities of a number of emotional and audiological aspects, and the interrelationships between the aspects, with multivariate techniques as principal component analysis (PCA).

In WP3 it was investigated how other factors, in addition to the pure audial factors, affected the level of annoyance. In a questionnaire to habitants in the vicinity of the investigated wind farms, questions were asked regarding their housing situation, living conditions, the bedroom's orientation towards wind turbines, noise annoyance, visual impact from wind turbines, economic incentive models, ownership structures, general attitudes about wind power, and more. The purpose was to provide a holistic basis for a future synthesis model for annoyance, and this project focused on the correlation between noise annoyance and visual impact from wind turbines, ownership structures and financial compensation models from the wind farm (other factors were part of the Uppsala project scope). The questionnaire was analyzed by RISE Metrology with state-of-the-art psychometric methods, including logistic regression and multivariate techniques as principal component regression. Survey questions about (i) wind power and disturbance were analyzed in terms of each individual's sensitivity,  $\theta$ , to disturbance and the degree of disturbance difficulty  $\delta$ ; (ii) questions addressing demographics, health and attitudes were analyzed in terms of each individual's degree of health,  $\theta$ , and the severity,  $\delta$ , of every aspect of health; (iii) questions about financial compensation from the wind farm were analyzed in terms of each individual's grade,  $\theta$ , of leniency and each service quality  $\delta$ .

The results from the project show that the findings previously reported for conventional wind turbines are also applicable to the larger wind power plants investigated here. The results pointed to an apparent risk of concentrating too much on A-weighted sound levels in various forms. In the

study, it was found that a prominent low frequency tone or modulated low frequency noise, resulted in increased annoyance in the same magnitude as would a higher A-weighted noise level. In addition, the perceived loudness of a sound sample with a prominent low frequency tone was judged at least as high as a sound sample of a higher A-weighted sound level. The subjective assessments of which sound features could be heard in the test files were in many cases in conflict with the actual modifications that had been made to the sound samples, which stresses the difficulties in describing sounds with words. The results of the psychometric analyses showed a large spread in sensitivity to disturbances (both visual and acoustic) from wind power plants among the 606 individuals responding to the questionnaire. However, there was evidence of a weak positive correlation between the individual's sensitivity,  $\theta$ , to disturbance and their age, but no correlation at all with annual income or general health. A weak positive correlation existed between each individual's sensitivity,  $\theta$ , to disturbance and the locally measured noise level ( $L_{pA}$ ). The most disturbing element was linked to question 15: *How do you generally experience the noise level from wind turbines close to your home?* The least annoying was 13g: it was *difficult to have windows open during the daytime*.

If the listening test results are compared with the Swedish Environmental Protection Agency's recommendations, two conclusions can be drawn. It is a good idea to complement equivalent A-weighted sound levels with a penalty if the sound contains audible tones, as is being done today. Although, the effect of audible tones is also dependent on their frequencies and absolute levels. Secondly, a corresponding penalty would be reasonable also for modulated noise, which for example has been suggested in the UK.

The three evaluated emotional aspects (Arousal, Valence and Restoration), proved to be redundant and could be explained by one audial aspect that was called "Loudness" (as perceived in these tests, not to be confused with the ISO-parameter with the same name) in the tests. It was found that this perceived "Loudness" was a linear combination of mainly three sound qualities (low frequency toner, modulated low frequency noise, and noise level) in the presented listening test. The three emotional aspects can thus be interpreted as different sides of the same general annoyance attribute.

When analyzing survey questions about demographics, health and attitudes were analyzed in terms of each individual's degree of health,  $\theta$ , and the severity,  $\delta$ , of each aspect of health, it was necessary to reverse the scales for about half of the questions. After the scale change, it was found in the context of disturbances from wind power plants that the most difficult element was linked to question 45: *Do you have tinnitus?* The easiest was question 48-2: *I'm depressed*.

However, as a result of the analysis with PCR, a formula for predicting an individual's sensitivity to disturbance from wind power plants could be derived<sup>2</sup>:  $\theta_i = -0,4(3) - 0,002(2) \cdot Age_i[a] - 0,03(5) \cdot Educ_i[a] - 0,001(2) \cdot Health_i[logit] + 0,01(4) \cdot Income_i[cat. 1 - 4]$ , where the numbers in brackets indicate extended measurement uncertainties with coverage factor  $k = 2$ .

Despite low response rates for questions about financial compensation from the wind power plants, an analysis could still be performed of each individual's grade,  $\theta$ , of leniency and each

---

<sup>2</sup>  $\theta = 0$  corresponds to a 50% success score.

grade,  $\delta$ , of the quality of compensation. Among the results was that the compensation service experienced to have the highest quality of the asked questions was 37. *Has your community benefited from the village grants?* while ask 29. *Has the wind power plant paid compensation to you?* got the worst quality assessment. No correlation was found at all between the individuals' leniency with the compensation service and the annual income or sensitivity of the individual to disturbance from the wind power plants.

### 3. Projektets mål

Projektet avsåg att klarlägga de olika aspekter som inverkar på upplevelsen av buller från större vindkraftverk med en navhöjd om minst 95 meter samt en rotordiameter på minst 90 meter. Målet var att

- Ta fram ett underlag till en syntes, i form av ett samband för hur olika ljudkaraktärer, emotionella aspekter och audiella aspekter inverkar på den upplevda störningen av vindkraftverk.
- Ta fram ett underlag till en syntes, i form av ett samband för hur olika socioekonomiska/psykologiska faktorer, som ekonomiska incitamentsmodeller och ägarstrukturer, inverkar på den upplevda störningen av vindkraftverk.
- Sätta samman de audiella och psykologiska sambanden till en förklaringsmodell för den upplevda störningen av vindkraftverk.

Syftet med modellen är att

- Visa på hur de emotionella, audiella och psykologiska faktorerna är inbördes relaterade, för att kunna rikta eventuella åtgärder mot de mest dominerande faktorerna.
- Visa hur tidigare forskning på mindre vindkraftverk ansluter till projektets resultat, för att avgöra om upplevelsen skiljer sig mellan olika storlekar av vindkraftverk.

Projektet var ett samarbete med Uppsala Universitets projekt ”Människors upplevelser av ljud från vindkraftverk i kuperad terräng relaterat till ljudmätning”, vilka adresserar kompletterande frågor som till exempel betydelse av väder och terräng, upplevelser av ljud inomhus och motsvarande förbättrade beräkningsmodeller. Samarbetets mål var att

- möjliggöra en fördjupad bild av ljudutbredningen från större vindkraftsparker i relation till upplevelsen av ljudkaraktären från dessa. Det innebär att syntesen av de inverkande faktorerna på störning även kan innefatta en uppskattning av hur vanligt förekommande dessa störningar är och vilken geografisk yta det innefattar.

## 4. Projektledning och medverkande

I projektet har följande personer medverkat (utöver de personer som är associerade med projektet ”Människors upplevelser av ljud från vindkraftverk i kuperad terräng relaterat till ljudmätning”, och har samarbetat i arbetspaket 1 och 3 - undantag är Jesper Alvarsson som är listad nedan eftersom han författat delar i denna rapport):

- Penny Bergman, Tekn dr, psykoakustik. Senior forskare RISE Produktutveckling & Perception. Projektledare från projektstarten i oktober 2015 till juli 2017. Ledning av arbetet i AP1. Design av AP2 och projektets upplägg. Förberedande analys av enkätdata i AP3.
- Dag Glebe, Tekn dr, akustik, forskningsledare RISE Ljud & Vibrationer. Projektledare från juli 2017. Utförde AP2 (lyssningstester) och sammanställde rapport.
- Leslie Pendrill, RISE Metrology, docent, senior forskare, Enkätsvaren analys med state-of-the-art psykometriska metoder, inklusive logistisk regression och multivariata tekniker som principelkomponent regression (PCR).
- Fredrik Öberg, RISE Ljud & Vibrationer. MSc akustik, Mättekniker i andra delen av AP1, och författare till avsnitt om AP1.
- Tanja Tränkle, CivEk, RISE Branddynamik. Ansvarig för kontakter med vindkraftsbranschen.
- Niklas Rosholm, RISE Ljud & Vibrationer. MSc akustik, Mättekniker i första delen av AP1, och författare till första delrapporten till NVV/STEM.
- Henrik Hellgren, RISE Ljud & Vibrationer, MSc akustik, Forskare, Analys av data i AP2 och AP3.
- Karl Persson de Fine Licht, RISE Hållbart Samhälle. Fil. dr praktisk filosofi. Forskare, Design av AP3, och därmed de enkätfrågor som var specifika för detta projekt.
- Till denna rapport har också tillkommit bidrag från projektet ” Människors upplevelser av ljud från vindkraftverk i kuperad terräng relaterat till ljudmätning” (projekt nr 40969–1) Jesper Alvarsson, Södertörns Högskola, är författare av de gemensamma delarna av enkäten (det vill säga huvuddelen av vad som redovisas här för AP3).

## 5. Projektupplägg

### 5.1. Bakgrund

Det är ett etablerat faktum att samhällsbuller är ett ökande miljöproblem som ger upphov till negativa hälsoeffekter (till exempel [8]). I jämförelse med andra ljudkällor som till exempel trafikbuller, ger vindkraftverk en högre grad av störning för samma bullernivå (t ex [9]). Som ett resultat har problemet med omgivningsbuller från vindkraftverk tagits upp i ett stort antal studier över hela världen. Ett antal sådana undersökningar har finansierats av Naturvårdsverket för att ta hänsyn till svenska förhållanden, och här hänvisas till de existerande sammanfattningarna [10]. Det har visats att det finns ett dos-respons-förhållande mellan A-vägd ljudtrycksnivå och förekomsten av störning [5], vilket har varit utgångspunkt för tillämpliga bullerregleringar. Man har också dragit slutsatsen att även andra faktorer bidrar till störning, såsom t.ex. visuella faktorer [16].

I de studier som är relevanta för svenska förhållanden har det inte angivits några uppskattningar av hur mycket av störningen som beror på övriga egenskaper i vindturbinbuller, förutom för dos-respons-förhållandet. Det överensstämmer med Naturvårdsverkets och Boverkets rekommendationer att ljudnivån från vindkraftverk i Sverige inte bör överstiga 40 dBA vid bostäder (eller 35 dBA där låga ljudnivåer eftersträvas). Utöver detta rekommenderas att allmänna riktlinjer för miljöbuller följs. Om skillnaden mellan A-vägda och C-vägda ljudnivåer överstiger 20 dB rekommenderar Naturvårdsverket att lågfrekvensinnehållet i bullret speciellt utvärderas, och riktlinjerna för lågfrekvent buller inomhus följs upp. Om bullret innehåller tydligt hörbara toner, rekommenderas vidare att gränsvärdet sänks 5 dBA (vilket motsvarar de allmänna riktlinjerna för inomhusljud i t.ex. [6]). Det finns emellertid inga beräkningsmodeller eller reglerande system för amplitudmodulerat buller motsvarande till exempel vad som föreslagits i Storbritannien [19], [20] i de svenska rekommendationerna.

När det gäller infraljud från vindkraftverk har detta debatterats flitigt (ett belysande exempel är de båda artiklarna sida vid sida i *Acoustics Today 2013* av Timmerman respektive Leventhall med diametralt olika inställning till problematiken [2],[3]), men den allmänna slutsatsen bland forskare är att ljudnivåer från vindkraftverk i frekvensområdet  $< 20$  Hz är så pass låga att det inte utgör ett problem (se t ex [6], [12]), vilket även varit slutsatsen i en svensk utvärdering från Naturvårdsverket [4]. Därför har detta inte utvärderats vidare i denna studie.

### 5.2. Projektets fokusområde

Under de senaste åren har det kommit en ny generation vindkraftverk med en tydlig ökning av prestanda och motsvarande ökning av höjd och storlek. Energimyndigheten finansierade två parallella projekt genom Vindval, vilka slutfördes i mars 2018. Projektbeskrivningen för de båda projekten inkluderade lyssningstester för att bedöma hur olika egenskaper hos bullret från vindkraftverk är relaterat till störning, en socio-ekonomisk utvärdering med hjälp av frågeformulär som riktades mot invånare i områden kring tillämpliga vindkraftsparker, kartläggning av bullernivån och insamling av ljudexempel i de berörda områdena som indata till analyser respektive lyssningstester och utveckling av avancerade ljudutbredningsmodeller med förbättrad tillämpning av väderdata (vilket har en betydande inverkan på ljudnivån).

Lyssningstesterna, delar av kartläggningen och delar av den socioekonomiska utvärderingen utfördes i projektet Förklaringsmodeller för störning av vindkraftsbuller, vilket genomfördes vid RISE Ljud & Vibrationer. De avancerade utbredningsmodellerna togs fram och redovisas i sin helhet av projektet vid Uppsala Universitet/KTH.

### 5.3. Projektöversikt

Projektet organiserades i tre arbetspaket och involverade sju vindkraftsparker i Sverige med stora vindkraftverk (Skaveröd-Gurseröd, Jädraås, Brattön, Malö, Karsholm, Möckelsjöberget och Årjäng). I AP1 gjordes inspelningar och mätningar av vindkraftsbuller vid vindkraftparkerna. Inspelningarna låg till grund för lyssningstesterna i AP2 och resultaten av mätningarna användes bland annat för att korrelera indata till analysen i AP3. Avsikten var också att samla indata för användning i projektet ”Människors upplevelser av ljud från vindkraftverk i kuperad terräng relaterat till ljudmätning”, till exempel vid analys av vindskyddade lägen med de avancerade ljudutbredningsmodeller som tas fram i detta projekt.

I AP2 användes inspelningarna för att designa en uppsättning ljudfiler för två lyssningstester. Det ena testet adresserade upplevd störning på grund av olika egenskaper hos testfilerna med parvisa jämförelser, och det andra var ett semantiskt differentialtest för att bedöma hur olika emotionella och audiella egenskaper uppfattades och var kopplade mot varandra.

I AP3 skickades ett frågeformulär ut till respondenter som bodde i de områden som berördes av buller från någon av undersökta vindkraftparkerna. Frågorna adresserade de boendes upplevelse om vindkraftbullret och hur denna påverkades av socio-ekonomiska faktorer. Till exempel undersöktes potentiella ekonomiska incitamentsmodeller, men också sådana faktorer som om det fanns en visuell påverkan på upplevelse av vindkraftsbullret.

## 6. AP1 Datainsamling

Det första arbetspaketet hade huvudsyftet att samla in data, vilka användes i detta projekt och i Uppsala Universitets motsvarande Vindvalsprojekt ”Människors upplevelser av ljud från vindkraft i kuperad terräng relaterat till ljudmätning”. Datainsamlingen omfattade

- Insamling av underlag för lyssningstest i AP2
  - Inspelning av vindkraftsbuller på olika positioner och avstånd
  - Mätdata för ljudnivåer, för att bedöma absolutnivåer på vindkraftsbullret som referens till uppspelningsnivåer
- Insamling av indata till de beräkningsmodeller som togs fram i Uppsala Universitets motsvarande Vindvalsprojekt och som underlag för utvärderingen av enkätsvar i båda projekten. Detta material omfattade
  - Mätning av vindkraftsbuller på olika positioner och avstånd vid de sju vindkraftsparkerna
  - Samtidig insamling av vinddata vid mätpositioner
  - Loggade effektdata från vindkraftsverken (tillhandahållen av ägarna till vindkraftsverken), tillsammans med vind/effektsamband, vilket möjliggjorde en skattning att skatta vindhastigheter vid nav.

### 6.1. Metoder

#### 6.1.1. Metodik vid insamlande av ljudsignaler och övriga data

Den främsta avsikten var att samla in representativa ljudfiler för ett antal olika avstånd miljöer och verkstyper. Eftersom vindkraftsverken var utvalda på grundval av ekonomiska ersättningsmodeller var dock verkstyperna påfallande homogena (största andelen var Vestas V112). Dock gjordes insamlingar på ett flertal utvalda platser på olika avstånd från parkerna. För att uppnå önskad kvalitet på ljudfilerna användes en metodik som inte sammanföll med de mätstandarder som tagits fram med andra syften (projektformuleringen var inte att tillhandahålla standardiserade mätdata på ett antal platser). Det var också viktigt att kunna skatta inspelningarnas absolutnivå, vilket inte sammanfaller med resultaten från mätningar enligt standarderna.

De två typer av mätningar som vanligtvis brukar utföras vid vindkraftsmätningar är emissions- och immissionsmätningar. De förra görs för att bestämma ljudnivån som emitteras från vindkraftverken (dvs hur mycket ljud som vindkraftverket alstrar i egenskap av ljudkälla, till exempel för en deklaration av ljuddata), och de senare för att bestämma ljudnivån i vissa punkter på ett avstånd från vindkraftverket (i [11] uttrycks detta så här: ”punkter som är aktuella för immissionsmätningar är vanligtvis ljudnivån från aktuella vindkraftverk nära ett specificerad [sic] gränsvärde”). Emissionsdata i form av vind/effektsamband för de aktuella verken tillsammans med loggade effektdata av olika kvalitet (ofta i 10 s intervall) tillhandahölls av vindkraftsbolagen. Alltså kunde ekvivalenta ljudnivåer skattas för de hushåll som ingick i enkätstudien. Även beräknade ljudutbredningsdata från tillståndshandlingar fanns till förfogande, och överensstämmelsen kunde dessutom verifieras mot tillämpliga uppmätta värden från projektets mätningar. För att kunna göra säkra prediktioner av emissionsdata (och bakgrunds nivåer) krävs annars att verken stängs av i samband med mätningarna, vilket inte medgavs, men alltså heller



inte behövdes här. Med de verifierade ljudutbredningsestimaten fanns det ingen anledning att mäta immissionsnivåer i anslutning till de bostäder som omfattades av enkätstudien, vilket för övrigt inte var något alternativ eftersom enkäten vände sig till 1462 hushåll, och där nyttan dessutom varit tvivelaktig<sup>3</sup>.

Mätningarna avvek från emissionsstandarden IEC 61400–11, på ett antal punkter. Följande omständigheter kan noteras:

- 1) Mätskiva användes inte eftersom detta passar dåligt för inspelning av lyssningstestsignaler (jämför kommentarer i [5]).
- 2) Av samma skäl gjordes mätningarna gjordes 1,5 m ovan mark (sammanfaller med rekommendationerna i [11]) vilket resulterade i att ljudnivåerna kunde ställas i relation till normal lyssningshöjd. Ljudnivån motsvarar då tillgängliga kartläggningar med Naturvårdsverkets formel samt Nord2000-utbredningsmodell som är genomförda i samband med tillståndsförfarandet för vindkraftverken.
- 3) Mätningarna utfördes vid ett flertal platser, varav en stor andel var på större avstånd från verken.
- 4) Tillstånd för att stänga av verken för skattning av bakgrundsnivå kunde inte utverkas generellt, men en tillförlitlig skattning av bakgrundsnivån kunde i de flesta fall göras med hjälp av de rekommenderade metoder som anges i [11]. Möckelsjöberget.
- 5) Vind och effektdata tillhandahölls i 10s-intervall av vindkraftsbolagen för vissa mätningar
- 6) Vind mättes inte på 10 m höjd utan på 4 m höjd, vilket ger en bättre indikation av hur pass vindstilla det är vid mottagaren. Detta är framförallt en fördel vid bedömning av vindstilla lägen.

### 6.1.2. Mätplatser

Mätningar gjordes vid sju vindkraftsparker belägna vid Skaveröd-Gurseröd, Jädraås, Brattön, Malö, Möckelsjöberget och Årjäng, Tabell 1. Mätplatserna uppvisar en större variation (exempelvis Brattön - öppen terräng, Malå - snöklädd terräng och Möckelsjöberget - mycket tyst och vindstilla på grund av speciella kuperade terrängförhållanden), och en översikt av några typiska mätplatser redovisas i Appendix 11.2. Sammanlagt gjordes 127 mätningar/inspelningar i 22 positioner.

Tabell 1 Vindkraftspark och motsvarande koordinater

Vindkraftspark	Koordinater enligt RT90
Brattön	(6505865.962, 1267775.772)
Jädraås	(6743932.828, 1530281.002)
Malå Ytterberg	(7226940.471, 1640777.473)
Möckelsjöberget	(6961521.481, 1605722.678)
Skaveröd	(6524728.214, 1246565.625)
Årjäng	(6595667.369, 1285799.976)

<sup>3</sup> I de fall där immissionsmätningar är påkallade är ofta bakgrundsnivån i samma storleksordning som vindkraftsljudet, vilket innebär att det behöver göras en noggrann skattning av hur bakgrundsljudet varierar över den långa tidsperiod som enkäten adresserar för att tolkningen av mätningen ska vara meningsfull. Detta är svårt eller omöjligt att i göra på ett sätt som skulle rättfärdiga att göra immissionsmätningar med syftet att korrelera med enkätsvar inom projektramen.



Figur 1 Uppställning vid inspelning av ljud nära ett vindkraftverk på Brattön

### 6.1.3. Turbinmodeller i undersökningen

Eftersom vindkraftsparkerna valdes på grundval av de ekonomiska incitamentsmodellerna så blev urvalet av de ingående turbinmodellerna förhållandevis homogent. Det finns idag modeller som både är betydligt högre och har mångdubbelt högre effekt. Detta återspeglar sig förstas på de insamlade data och på resultaten, vilket måste beaktas när slutsatser dras om generaliserbarhet. En översikt av turbinmodeller i respektive vindkraftspark ges i tabellen i Appendix 11.1.

### 6.1.4. Kommentar om skattning av ljudnivåer inomhus

Mätning av inomhusvärden eller fasadegenskaper låg inte inom ramen för dataundersökningen i projektet (som det var formulerat i ansökan). Men det kan här vara på sin plats att, baserat på den data som fanns till hands framförallt från tillståndsbedömningarna, göra en grov skattning av konsekvenserna i lågfrekvensområdet, och jämföra med svenska riktlinjer.

Folkhälsomyndighetens *Allmänna råd om buller inomhus* (FoHMFS 2014:13) innehåller riktvärden för lågfrekvent buller när olägenhet för människors hälsa föreligger. Med utgångspunkt i dessa kan man grovt uppskatta avstånd mellan turbinnav och hus när FoHMS riktvärden överskrids inomhus, Tabell 2.

Observera att tabellen i princip inte säger något om huruvida man kan förvänta sig att riktvärdet överskrids i ett enskilt hus i närheten av gränsvärdet. Speciellt kan det vara vilseledande att ta till sig de ”säkerhetsmarginaler” som ibland lagts till i samband med skattningar av fasadreduktionens inverkan i lågfrekvens: Exempelvis antar man i [14] samma reduktionsvärden ( $\Delta L_p$  (dB)) värden för öppet och stängt fönster, medan man vid studier för danska Miljøstyrelsen uppmätte mycket stora skillnader (upp till 10 dB skillnad i 160 Hz-bandet) mellan öppet och stängt fönster i ett av två undersökta fall [15]. Därför är det extremt riskfyllt att göra prognoser baserat på schablonvärden på enskilda hus, och framförallt kan man inte relatera individuella klagomål till sådana värden utan att göra en specifik utvärdering av det aktuella problemet. Vad man kan göra är att skatta förväntade problem, men utfallet kommer att bero av de specifika förhållanden som gäller för det enskilda huset.

Skattningen är baserad på följande antaganden: Ljudeffektnivå är taget från den konsultmätning som mätt högst ljudeffekt. Ljudutbredningsmodell är Naturvårdsverkets formel. Navhöjd 100 m (liten betydelse). Klimatskärmens ljudisolering är tagen från Deltas rapport *Low frequency noise*

from large wind turbines (2010). Beräkningen är gjord utan rumskorrekationer, men är konservativ givet andra erfarenhetstal med beräkning genom fasad för låga frekvenser.

Tabell 2 Relationer mellan ljudtrycksnivå,  $L_{eq}$  (dB) för riktvärden och avstånd (m) turbinnar –hus

	Relationer [Tersband – Ljudtrycksnivå - Avstånd]								
Tersband (Hz)	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
FoHMFS 2014:13 riktvärde (dB)	56	49	43	42	40	38	36	34	32
Storleksordning, största avstånd vid vilket detta värde kan förväntas inomhus. (m)	50	150	250	150	150	200	200	250	250

Slutsatsen är att med dessa förutsättningar och beräkningsmetodik verkar 40 dBA-kravet vara dimensionerande vid bullerkartläggning, och risken att överskrida riktvärdena inomhus är låg. Avstånden i Tabell 2 ovan är inte i samma storleksordning som avstånd till närmaste bebyggelse för stora vindkraftverk (minst 500 m).

# 7. AP2 Lyssningstester

## 7.1. Metoder

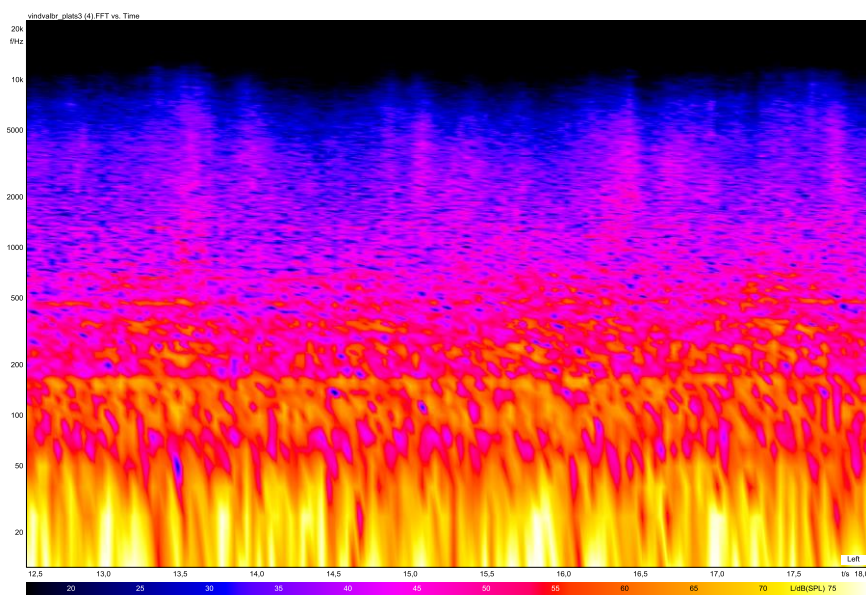
### 7.1.1. Design av testfiler

Från inspelningarna som gjordes i AP1 valde mätpersonal som medverkat vid datainsamlingen ut en uppsättning av 13 filer som ett representativt urval för hela spannet av inspelningar. Dessa filer utvärderades genom att filerna genomlyssnades och de karaktärsdrag som kunde uppfattas i filerna identifierades och noterades. Karaktärer betecknar i det här sammanhanget olika urskiljbara egenskaper, aspekter eller komponenter i ljudbilden, som det till exempel avsetts i Vindvals rapportering [10]. Tillsammans spänner dessa karaktärsdrag upp helheten i ljudbilden. Identifieringsprocessen innefattade både lyssning och granskning av motsvarande spektrogram i kombination, för att fastställa hur de olika ljudkaraktärerna manifesterade sig när inspelningarna plottades som funktion av tid och frekvens. Ljud som med säkerhet kunde konstateras stamma från andra källor än vindkraftverken bortsågs ifrån (till exempel fågelsång, bilpassager mm). Listan jämfördes med vad som rapporterats i litteraturen för den nya generationen vindkraftverk, t.ex. distinkt amplitudmodulering, "svischande" ljud etc. [19][1][12][34], och en reviderad lista med ett begränsat antal intressanta, förväntade och typiska karaktärsdrag och egenskaper togs fram (motsvarande de som kommenteras under respektive rubrik nedan, och i Tabell 3). Det bör påpekas att alla karaktärsdragen alstras av källan, och att utbredningen påverkar sådana saker som ljudnivå, frekvensbalans (framförallt genom luftabsorption, och i vissa situationer genom skärmning och möjligen reflektioner), amplitudmoduleringens karaktär (framförallt på olika avstånd i närheten av vindkraftverken eftersom källan är distribuerad) och inte minst maskering på grund av varierande påverkan från bakgrundsljud. Dessa delar låg utanför ramen för detta lyssningstest, men kommer åtminstone delvis att kunna adresseras med hjälp av de avancerade ljudutbredningsmodeller som tagits fram i Uppsala Universitet/KTHs motsvarande Vindvalprojekt. Följande principer låg till grund för designen/syntetiseringen av testfiler:

- Testfilerna skulle spänna upp de relativa skillnader som identifierades vid lyssning till de 13 exempelfilerna, det vill säga att skillnaderna mellan testfilerna skulle motsvara de skillnader som upplevdes vid lyssning
- Bara ett karaktärsdrag skulle ändras åt gången i testfilerna, för att renodla dess specifika inverkan på störningsupplevelsen. Anledningen var att undersökningen avsåg att ta fram betydelsen av olika karaktärsdrag i ljudinspelningarna, inte att jämföra alla linjärkombinationer av dessa. Kombinationsmöjligheterna bidrar till att varje vindkraftverk får en mer eller mindre unik signatur (en undersökning baserad på olika signaturer löper en betydande risk att generera icke-generaliserbara svar, eftersom ett stort antal möjliga parametrar varierar samtidigt).
- För att ge lyssningstesterna ett rimligt omfång begränsades antalet filer till åtta. Detta innebar förstås att alla möjliga parametrar för de olika ljuden inte kunde undersökas, utan de mest framträdande skillnaderna i materialet fick prioriteras (parameterstudier bör istället göras i efterhand för de karaktärsdrag som uppfattades som mest störande i testet).
- För att skapa realistiska och jämförbara ljudfiler för lyssningstesterna valdes en typfil ut som original för att basera de olika syntetiserade filerna på. Kriterierna var att ljudfilen skulle innehålla ett representativt set av tydliga karaktärsdrag, och sakna biljud som till

exempel fågelkvitter.

- Alla förändringar av ljudkaraktär i de respektive testfilerna gjordes som förstärkning av de existerande karaktärsdragen i originalfilen.
- Alla testfiler i vilka olika ljudkaraktärer framhövdes normaliserades sedan till samma A-vägda nivå i den digitala filen. Undantag var en testfil där enda förändring från originalfilen var enbart en höjning av just den A-vägda nivån



Figur 2 Spektrogram för typfilen som användes för att ta fram testfiler. Genom att förskjuta färgskalan kan olika egenskaper visualiseras. Horisontella linjer indikerar toner, vertikala tidsvariationer

Typfilen valdes ut på workshopen på grundval av att den ansågs låta representativt för inspelade vindkraftsbuller och dessutom uppvisade alla egenskaper på den reviderade listan (jämför Tabell 3 Egenskaper som utvärderades vid lyssningstestet Tabell 3). Dessa egenskaper identifierades i ett spektrogram av den valda filen, och kunde sedan extraheras med hjälp av skraddarsydda filter och läggas i separata filer som användes för att framhäva karaktärsdragen i originalfilen (de tidsvariabla egenskaperna behövde renodlas i några ytterligare steg, vilket redogörs för nedan). De karaktärsdrag som valdes att gå vidare med var:

#### 1. TONALITET - TONER

Toner betecknar ljudenergi inom ett relativt smalt band som kan associeras med en viss frekvens och som är tydligt hörbar under en tidsrymd. Toner brukar framförallt definieras/karakteriseras med parametrarna frekvens och bandbredd. Dessutom kan tonerna även beskrivas med parametrarna som absolut eller relativ amplitud, harmoniskt innehåll (harmoniska övertoner, vilka framförallt spelar roll för vågformen i tidsplanet), frekvensstabilitet mm. Två distinkta toner valdes för utvärdering av tonalitet: En mycket smalbandig högfrekvent ton vid 1315 Hz och en lågfrekvent ton vid 156 Hz, med en mer bredbandig karaktär (se även nedan). 1315 Hz-tonen sammanföll inte med någon av de harmoniska övertonerna till 156 Hz-tonen (dessutom var endast de första två övertonerna detekterbara i spektrogrammet) och var tydligt hörbar även om den var svag i förhållande till den totala ljudenergin (jämför [12]). I en utökad parameterstudie så borde alla relevanta parametrars relation utredas, men de två stickprov som gjordes kombinerade de två

huvudparametrarna på ett typiskt sätt för inspelningarna: De lågfrekventa tonerna hade generellt en större bandbredd (och större amplitud) än de relativt få tonerna med högre frekvens. De högfrekventa tonerna var varken inte speciellt vanliga eller starka, men gav ett märkbart bidrag till helhetsintrycket när de uppträdde. Eftersom de högfrekventa tonerna hade ett relativt litet amplitudintervall, och testfilerna designades efter de variationer som fanns hos exempelfilerna, så var den relativa nivåökningen hos den högfrekventa tonen mindre än hos den lågfrekventa tonen i de respektive testfilerna. Studien var alltså inte en parameterstudie utan en utvärdering av egenskaperna som de manifesterade sig i de utvärderade ljudfilerna, vilket är viktigt för tolkningen av resultaten. Inte minst behövs en studie där parametrar ändras relativt eftersom toners penetreringsförmåga är relativt hög [12], vilket kan bli betydelsefullt i de fall när vindkraftsbullret och bakgrundsbullret har samma storleksordning.

## 2. LÅGFREKVENSBULLER (FRAMTRÄDANDE BAS)

Ofta används 200 Hz som en övre gräns för lågfrekvent buller, medan ljud under 20 Hz räknas som infraljud (vilket fortfarande är hörbart vid starka amplituder men karaktären ändras och man kan t ex inte längre uppfatta toner i infraljudsområdet [1]). Lågfrekvent buller parametreras ofta med det totala energiinnehållet i de aktuella banden. Ibland görs detta ovägt eller med C-vägning och ibland med avseende på A-vägningskurvan [55]. Men eftersom den senare schablonmässigt viktar ner de lägsta frekvenserna oproportionerligt mycket används ibland G-vägning, vilket är avpassat för lågfrekvens [54].

I denna studie separerades den relativt bredbandiga tonen vid 156 Hz ut. Därför extraherades det övriga lågfrekventa bullret ut med ett lågpasfilter vid 140 Hz, vilket tillsammans denna ton spände upp den allra mesta energin i området under 200 Hz. Detta måste alltså beaktas när störningen från buller i lågfrekvensområdet diskuteras i denna rapport.

## 3. HÖGFREKVENNS (FRAMTRÄDANDE DISKANT)

Karaktären hos ljudet förändras med avståndet bland annat på grund av att ljudabsorption i luften minskar det högfrekventa ljudet i större utsträckning än det lågfrekventa (jämför t ex [10]). Ett möjligt scenario är att omgivningsljudet i vissa situationer innehåller mycket högfrekvens, till exempel genom sus i löv och träd. Därför kan ljudbilden förskjutas så att den relativa andelen högfrekvens i den totala ljudbilden minskar med avstånd tills bakgrundsbullret dominerar, varefter vindkraftsverkets buller kan komma att definieras av enbart den lågfrekventa delen. I originalfilen var bakgrundsljuden relativt svaga, men hur olika typer och bakgrundsljud påverkar upplevelsen skulle i sig kunna utgöra en studie som bland annat skulle kunna ge mer kunskap om vilka hänsyn som behöver tas vid vindskyddade lägen.

Efter den första lyssningsutvärdering föreslogs högfrekvens som en potentiell egenskap att bedöma, men avvisades senare på grundval av en inledande pilotstudie, eftersom en extra förstärkning av den befintliga ljudenergin i området över 1000 Hz inte uppfattades som naturlig.

## 4. AMPLITUDMODULERING (PERIODISKA TIDSVARIATIONER AV AMPLITUD)

Tidsvariationer där amplituden i hela eller delar av frekvensspektret varierar med en viss frekvens kallas amplitudmodulation, och när det gäller vindkraftsljud så innebär denna beteckning att modulationsfrekvensen kan sättas i samband med bladpassagesfrekvensen. Mycket litteratur har

skrivits om detta genom åren med olika vinklingar och terminologi (till exempel i [5], [10], [19], [20], [21], [23], [24], [25], [34], [26], [27], [28], [28], [29], [30], [31]), men några gemensamma termer har utkristalliserat sig. Två huvudgrupper brukar nämnas i samband med vindkraftsbuller: Ett vanligt förekommande swischande ljud (ofta refererat till som NAM, normal amplitudmodulering, på engelska till exempel "swishing", "swooshing" eller "whooshing") vilket ibland kompletteras med ett mer dunkande eller klappande ljud (ofta kallat OAM, "other amplitude modulation" på engelska till exempel "thumping", "throbbing" eller "whooping"). NAM i framförallt två variationer var det som hittades i ljudinspelningarna, vilket inte är förvånande. I den mycket omfattande rapport som kom i december 2013 i samband till att det engelska förslaget för amplitudmodulering togs fram så uttryckte man det så här om OAM [21] (översatt):

- *Effekten har bara rapporterats på ett begränsat antal anläggningar för vindkraftparker.*
- *Även på de platser där effekten har identifierats positivt, är det intermittent;*
- *Effekten kan inträffa enbart under några bladrotationer, eller det kan fortgå i perioder av flera minuter eller timmar;*
- *OAM uppträder inte vid alla vindkraftverk, och även hos dem där OAM har rapporterats är det en intermittent och atypisk egenskap*

Detta bör man särskilt ha i åtanke när man diskuterar resultaten från denna studie: De karaktärer ljudfilerna uppvisade beror till stor del av urvalet (en omfattande insamling av ljudinspelningar gjordes, men under relativt homogena omständigheter), och behöver inte spegla möjliga allvarliga men samtidigt betydligt ovanligare problem. Detta diskuteras vidare i slutdiskussion i kapitel i 9.

Amplitudmodulering gör också att buller kan uppfattas tydligare vid maskerande omgivningsbuller på samma sätt som när det gäller toner [12], vilket på samma sätt som för toner.

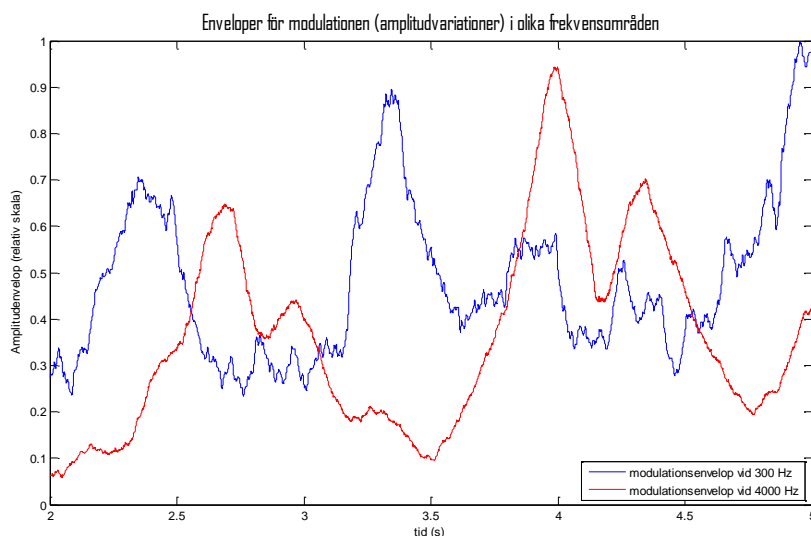
I fallet med det modulerade bruset skilde sig modulationsfrekvensens fas mellan olika frekvensband även om det rörde sig om NAM i de föreliggande fallen. Ett högfrekvent modulerat brus, vilket i en pilotstudie beskrevs som ett "svischande" ljud (eng. "swishing"), kunde höras i flera filer i och identifierades som ljudenergi i ett brett band från 0.8/1 kHz och uppåt med ett centrum vid ungefär 3 kHz. I dessa och i flera andra filer hördes ett modulerat brus som typiskt låg mestadels inom bandet 200 - 400 Hz, och där "originalfilen" hade en tyngdpunkt vid ungefär 300 Hz. Detta ljud beskrevs i pilotstudien som "svoschande" av en av testpersonerna för att illustrera den mer lågfrekventa karaktären, vilket skulle kunna motsvaras av det engelska "swooshing" (vilket speglar skillnaderna onomatopoetiskt och är en distinktion som bland annat gjordes i [24], men uttrycken används ofta även synonymt utan någon entydig definition). Att frekvensområdet 200-400 Hz identifierades som typiskt och dominerande modulerat i de undersökta ljudfilerna stämmer väl med slutsatsen från UK IOA Amplitude Modulation Working Group (tillsatt efter att ovanstående brittiska förarbete lagts fram) [19]: "based on a number of cases of modulation measured at typical residential separation distances, the range of 100 – 400 Hz has been found to be representative of frequencies dominating the modulation for the majority of cases". Den primära anledningen att modulerat brus innehåll inom olika band var tydliga i samma ljudfil var att modulationsfrekvenserna var tidsfördröjda ungefär 0,5 s (det vill säga fasskiftad) i förhållande till varandra. Båda frekvensband modulerades alltså med samma modulationsfrekvens ( $f_m \approx 0,7$  Hz, dock var frekvensen inte stabil), men med en fasskillnad/tidsförskjutning. Eftersom IOAs metod förutom referensområdet 100-400 Hz som komplement även föreslår 50-200 Hz och 200-800 Hz så övervägdes att utöka området uppåt,

men vid lyssning (speciellt i bandet 400-800 Hz) och korskontroll av spektrogram så gjordes bedömningen att referensområdet 100-400 Hz typiskt dominerade upplevelsen av modulation i de utvalda filerna. Återigen bör dock ett frågetecken sättas för hur typiskt urvalet är ur ett större perspektiv.

För att kunna göra testfiler där dessa egenskaper/karaktärsdrag lyfts fram så kan man jämföra med hur det har gjorts i litteraturen. Två huvudspår finns: antingen jämför man olika inspelade ljud där man förutsätter att skillnaderna mellan inspelningarna speglar det man frågar efter, även om en stor andel av parametrarna sannolikt kommer att skilja sig markant), vilket gjorts i t ex [17] där man undvek problemet med parameterosäkerhet genom att istället låta testdeltagarna ta ställning till beskrivande ord (psykoakustiska deskriptorer) som gav varje ljudexempel en subjektiv psykoakustisk profil (det blir dock inte möjligt att från denna profil härleda sig tillbaks till hur ljudfilen faktiskt lät). Men eftersom det i princip är en omöjlighet att spänna upp en större rymd av karaktärsdrag och samtidigt hålla övriga parametrar konstant görs ofta någon form av enklare grövre filtrering (till exempel skarpa lågpasfiltreringar) av de inspelade filerna [25][28]. Problemet med dessa har varit att de påverkar flera karaktärsdrag på samma gång, samtidigt som de heller inte blir realistiska. Det andra spåret är att syntetisera ljudet baserat på en modell som definieras av en uppsättning parametrar t ex [28][29][30][32][33]. Svårigheten är här ännu större att få till realistiska filer, samtidigt som parameteruppsättningarna inte räcker till för att göra tillräckligt bra syntetiska kopior av alla de undersökta karaktärsdragen i de verkliga ljudfilerna. I vissa fall förlitar man sig på att det räcker att ta fram olika psykoakustiska mått ur filerna för att kvantifiera störningen [26], och ibland får boende själv skatta en störning, vilket då inte är kopplat till någon speciell ljudfil [24] [34].

Den uppenbara anledningen att ta fram syntetiserade ljudexempel av en verklig ljudfil (mer än att verifiera modellen) är att man kan använda den för parameterstudier och fixera övriga parametrar. Avsikten med lyssningstesterna var inte en parameterstudie, men däremot fanns ett behov att kunna förändra ett karaktärsdrag i taget utan att påverka de övriga. Ingen av de genomgångna lyssningstesterna erbjöd denna möjlighet för alla de önskade karaktärsdragen utan omfattande handpåläggning (framförallt inte den typiska fasförskjutningen vid amplitudmoduleringen), varför enkla men specialanpassade modifieringar applicerades på originalfilen, som ju uppvisade alla de typiska karaktärsdragen. Bruset i de prominenta frekvensbanden extraherades i separata filer som därefter Hilberttransformerades i Matlab, vilket gav amplitudenveloperna av modulationerna (dessa skulle med fördel kunna användas för att karakterisera ljudet i en rent syntetisk modell, där man till exempel skulle kunna lågpasfiltrera och parametrisera signalen och sedan spara detta som metadata – alla dessa steg kan göras automatiskt). Fasset mellan de båda enveloperna kan ses i Figur 1. Amplitudenvelopen normaliserades och multiplicerades med de bandbegränsade brusfilerna för att renodla moduleringen. De resulterande filerna användes sedan var för sig för att förstärka det existerande modulerade bruset hos originalfilen inom respektive band, och tillsammans för att förstärka den totala moduleringen (med skiftande fas över de olika frekvensområdena) över hela det aktuella frekvensområdet.





Figur 1 Amplitudenvelop (Hilberttransform) av modulerat ljud i banden runt 300 Hz (blå linje) respektive 4 kHz (röd linje). Lägga märke till förskjutningen i tid. Om avsikten varit att skapa indata till en ren syntetisering kan man överväga att till exempel lågpasfiltera och parametrisera kurvorna.

Lyssningsfilerna skapades sedan genom att överlagra respektive isolerade egenskaper på originalfilen.

## 5. LJUDSTYRKA (A-VÄGD NIVÅ)

Förutom ovanstående egenskaper bedömdes också påverkan av förändring i  $L_p$  (ljudtrycksnivå), vilken vid regelmässigt uttrycks A-vägd i för riktvärden. För att inkludera A-vägd  $L_p$  i bedömningen normaliserades alla modifierade filer till samma A-vägd ljudnivå, och dessutom skapades en fil som var identisk med originalfilen, men med skillnaden att A-vägd ljudnivå höjdes med 2 dB. Den uppdaterade listan, med de valda egenskaperna och de motsvarande lyssningsfilerna, presenteras i tabell 1.

Tabell 3 Egenskaper som utvärderades vid lyssningstestet

Filnummer	Namn lyssningsfil	Egenskap	Motsvarande fysikalisk egenskap eller parameter
1	Original	Originalljud	Referens – ej modifierad
2	156 Hz ton,	Tonalitet (lågfrekvens)	Hörbara toner med bandbredd mycket mindre än ett tersband
3	1315 Hz ton	Tonalitet (högfrekvens)	
4	Lågfrekvens	Lågfrekvens	Ljudenergi under 140 Hz
5	Modulation @ 300Hz	Modulation (lågfrekvens)	Amplitudmodulering inom olika frekvensband med modulationsfrekvens mellan 0.25 Hz < $f$ < 2 Hz
6	Modulation @ 3000Hz	Modulation (högfrekvens)	
7	Modulation totalt	Modulation (fullt spektrum)	
8	Ljudnivå	A-vägd ljudtrycksnivå	A-vägd ljudtrycksnivå, $L_{p,A}$

En testpanel på 25 personer valdes ut för lyssningsförsöken. Urvalsprocessen syftade till att ge en rimligt balanserad spridning i ålder och kön, och motsvarande demografiska data visas i Tabell 4. Deltagarna genomförde ett parvis jämförelsetest och därefter följde ett semantiskt differentialest. Testtiden för de båda deltesten låg sammanlagt typiskt runt 15–20 minuter. De muntliga

instruktionerna till deltagarna var att det handlade om från vindkraftverk och att de skulle lyssna i hörlurar som skulle behållas på under båda testerna. Ljudnivån justerades för att matcha den rekommenderade maximala ljudtrycksnivån i bostadszoner i Sverige (dvs  $L_A = 40$  dBA), vilket också låg nära ljudnivån på det buller som spelades in på originalfilen.

I början av varje test ställdes en rad bakgrundsfrågor, för att sammankoppla resultaten med metadata om ålder, kön, kända/upplevda hörselproblem och även i vilken utsträckning deltagarna själva hade varit störda av buller från vindturbiner under de senaste 12 månaderna.

Tabell 4 Demografiska data för lyssningstestpanelen

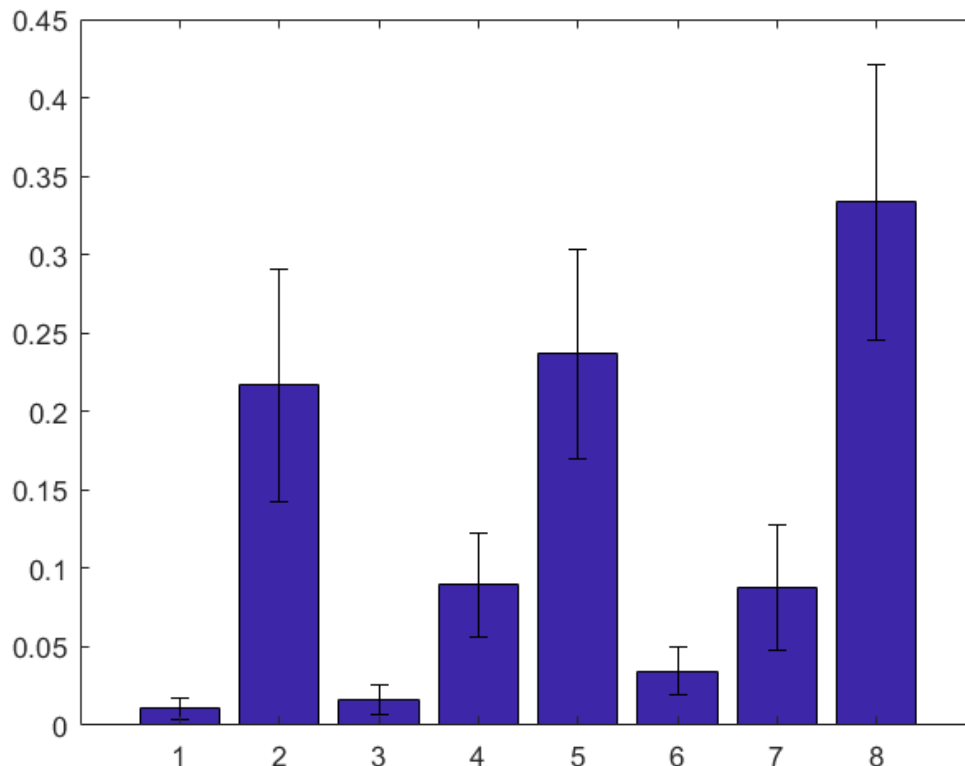
Antal män	Antal kvinnor	Medianålder	Medelålder	Lägsta ålder	Högsta ålder
17	8	46	46.3	25	62

## 7.2. Test med parvisa jämförelser

Det första lyssningstestet innebar att de åtta ljudfilerna kombinerades i par i alla möjliga kombinationer. Ordningen för paren randomiserades av mjukvaran EyeQuestion, som användes för testdesign och datainsamling. Det totala antalet kombinationer (om inte den inbördes ordningen av ljudfilerna i respektive par beaktas) är för åtta testobjekt,  $n = 8$ :

$$(n - 1)! = \frac{n(n-1)}{2} = \frac{7 \cdot 8}{2} = 28 \quad (1)$$

Testet inleddes med en skriftlig instruktion till deltagarna att 28 par ljudfiler skulle presenteras för dem, och för varje par skulle de lyssna på båda ljudfilerna i den (slumpmässiga) ordning de presenterades av testprogrammet. De skulle sedan välja vilken av de båda ljudfilerna som uppfattades som mest störande. Testpersonerna hade möjlighet att gå tillbaka och lyssna flera gånger på båda filerna innan valet gjordes. De kunde också välja ett tredje alternativ, att båda ljuden uppfattades som lika störande eller att ingen skillnad kunde höras mellan de båda ljuden. Testdesignen innefattade också kontroller i form av upprepade par i omkastad inbördes ordning och jämförelsepar med en och samma lyssningsfil, vilket resulterade i ofullständiga dataset av parvisa jämförelser för de enskilda testpersonerna. Efter att alla deltagare hade avslutat testen utvärderades insamlade testdata med en Bradley-Terry-Luce-modell, vilket resulterade i en uppsättning parametervärden som anger relativ upplevd störning hos de olika ljudfilerna samt i en felkovariansmatris, från vilken medelfel och därefter 95% konfidensintervall kunde beräknas för var och en av testfilerna, Figur 1.



Figur 2 Relativ störning. BTL-parametrar (staplar) med 95% CI (ändlägen på inlagda intervall). De bedömda ljudfilerna var 1) Original, 2) 156 Hz ton, 3) 1315 Hz ton, 4) Låg frekvens, 5) Modulation @ 300 Hz, 6) Modulation @ 3000 Hz, 7) Total modulation och 8) Ljudnivå, (se Tabell 3 för ljudfilernas egenskaper)

### 7.3. Semantisk Differential

I det andra lyssningstestet utvärderades var och en av de åtta ljudfilerna i ett semantiskt differential-test innefattande tre emotionella och fyra audiella aspekter (motsvarande känslomässiga respektive ljudrelaterade kvaliteter eller egenskaper), listade i Tabell 5. Dessa aspekter har använts tidigare av Penny Bergman, bland annat i [35] och [36]. Flertalet av de engelska termerna är vedertagna begrepp i svenskan, men då inom psykologi, varför översättningar används här. De tre emotionella aspekterna var (med den svenska term som används i denna rapport i fetstil):

- 1) Arousal - **Aktivering**/styrka på en känsloreaktion,
- 2) Valence/Valens - **Attraktion**/upplevd positiv-negativ värdeladdning hos testobjektet och
- 3) Restoration – möjlighet till **Återhämtning**).

När det gäller de audiella aspekterna fanns det i de flesta fall svenska motsvarigheter som stämde bra med det allmänna språkbruket för egenskaper hos ljud. Undantaget är att det saknas en entydig term för de allra lägsta frekvenserna, varför här används den ej vedertagna termen men lättförståeliga termen "Basighet". De audiella aspekterna var:

- 1) Fluktuation – hur mycket ljudet varierar över tid (Fluctuation)
- 2) Basighet – hur mycket (Bassiness)
- 3) Tonalitet – om rena toner kan urskiljas (Tonality)
- 4) Styrka (Loudness)

Deltagarna uppmanades att bedöma aspekterna i skalor med ett antal diskreta steg. Den svenska tolkning som gjordes framgår och definieras av benämningen av ytterlighetsvärdena på denna skala, enligt i Tabell 5. Testet avsåg att undersöka i vilken utsträckning aspekterna kunde uppfattas i de olika testfilerna.

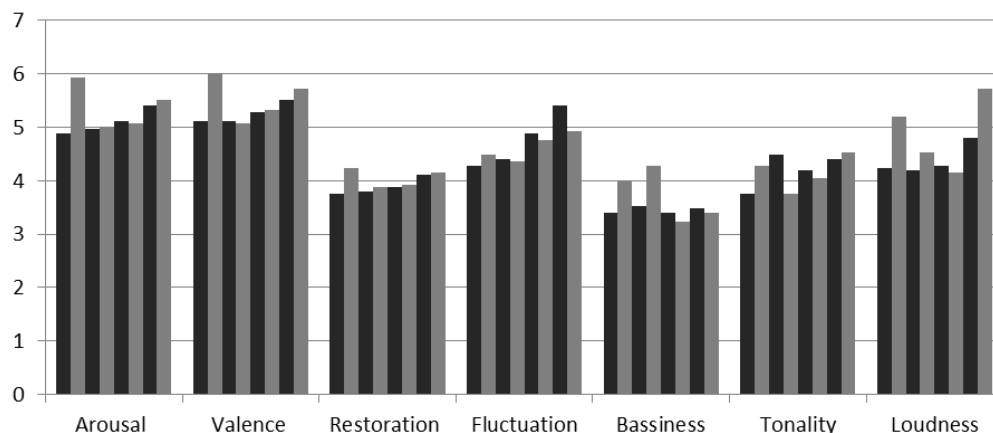
Testresultatet analyserades med en Repeated measures ANOVA i statistikpaketet SPSS, och resultaten visas i Tabell 6. Medelvärdena visualiseras dessutom i Figur 3. Som en del i resultatanalysen gjordes Mauchly's Test för att kontrollera om sfäricitetsantagandet kunde antas gälla för datasetet, vilket är en förutsättning för att korrekt utvärdering av signifikansnivåerna. I de fall där den inte gjorde det användes en Greenhouse-Geisser-korrektion, och de resulterande signifikansnivåerna och styrkorna ( $\eta_p^2$ , där p står för partiell) anges i Tabell 7. Resultaten visar på 95% signifikansnivå att det fanns skillnader mellan ljuden med avseende på varje aspekt, med undantag för Basighet och Tonalitet. Det vill säga, i dessa två fall var det ingen signifikant skillnad mellan någon av de testade ljudfilerna, men hos de andra aspekterna fanns det minst ett par av ljudfilerna som uppvisade en signifikant skillnad mellan sig.

Tabell 5 Lista över de aspekter som utvärderades för varje ljudfil i semantic differential testet

Syfte	Aspekter /engelska	Aspekter /svenska	Antal skalsteg	[Lägsta - högsta] skalvärden
Utvärdera ljudets emotionella effekter på testpersonerna	Arousal	Aktivering	9	Ljudet är [mycket avslappnande - mycket stressande]
	Valence	Attraktion	9	Ljudet är [mycket positivt - mycket negativt]
	Restoration	Återhämtning	5	Möjlighet till avkoppling är [mycket bra - mycket dålig]
Utvärdera i vilken grad testpersonerna uppfattar respektive audiell aspekt i ljudet	Fluctuation	Fluktuation	9	Ljudet fluktuerar [inte alls - väldigt mycket]
	Bassiness	Basighet	9	Ljudet är [inte alls – mycket] dovt
	Tonality	Tonalitet	9	I ljudet hörs toner [inte alls – väldigt mycket]
	Loudness	Styrka	9	Ljudet är [väldigt svagt - väldigt starkt]

Tabell 6 Beskrivande statistik för aspekterna i tabell 3 och testobjekt, vilka utgörs av ljudfiler med respektive egenskaper enligt i tabell 1

Objekt	Aktivering		Attraktion		Återhämtning		Fluktuation		Basighet		Tonalitet		Styrka	
	M	$\sigma$	M	$\sigma$	M	$\sigma$	M	$\sigma$	M	$\sigma$	M	$\sigma$	M	$\sigma$
1	4,88	1,48	5,12	1,48	3,76	0,88	4,28	1,72	3,4	1,71	3,76	2,11	4,24	1,56
2	5,92	1,04	6	1,12	4,24	0,52	4,48	1,69	4	1,78	4,28	2,34	5,2	1,19
3	4,96	1,4	5,12	1,36	3,8	0,71	4,4	1,68	3,52	1,61	4,48	2,08	4,2	1,19
4	5	1,8	5,08	1,82	3,88	0,83	4,36	1,75	4,28	2,01	3,76	2,31	4,52	1,58
5	5,12	1,42	5,28	1,4	3,88	0,78	4,88	1,59	3,4	1,35	4,2	2,25	4,28	1,37
6	5,08	1,29	5,32	1,31	3,92	0,7	4,76	1,51	3,24	1,48	4,04	2,03	4,16	1,34
7	5,4	1	5,52	1,26	4,12	0,6	5,4	1,53	3,48	1,5	4,4	1,71	4,8	0,87
8	5,52	1,16	5,72	1,06	4,16	0,55	4,92	1,71	3,4	1,44	4,52	2,16	5,72	1,1



Figur 3 Testobjektens medelvärden för respektive aspekt. För varje aspekt visar staplarna från höger till vänster: Original, 156 Hz ton, 1315 Hz ton, lågfrekvens, modulation @ 300 Hz, modulation @ 3000 Hz, modulation totalt och ljudnivå, jfr. Tabell 3

Tabell 7 Resultatet av Mauchly's test av antagandet om sfäricitet i semantic differential-testet, motsvarande  $\chi^2$  term, korrektionsterm  $\epsilon$ , frihetsgrader (korrigerade i de fall där sfäricitetsantagandet inte håller), tillsammans med sannolikhet,  $p$ , och styrka,  $\eta_p^2$ , av aspekterna i ljudet

Aspect	Håller sfäricitetsantagandet?	$\chi^2$	Greenhouse-Geisser korr. $\epsilon$	Df	df fel	F	p	Skiljer sig ljuden åt? (p < 0.05, 95% sign.)	$\eta_p^2$
Aktivering	Nej	42.6	.67	4.70	113	3.74	.004	Ja	.135
Attraktion	Nej	83.0	.51	3.59	86.2	3.65	.011	Ja	.132
Återhämtning	Nej	55.4	.53	3.72	89.3	3.46	.013	Ja	.126
Fluktuation	Nej	40.5	.67	4.69	113	2.89	.019	Ja	.107
Basighet	Nej	52.5	.61	4.29	103	2.18	.072	Nej	.083
Tonalitet	Nej	43.0	.68	4.80	115	2.07	.077	Nej	.079
Styrka	Ja	33.8	NA	7	168	10.3	<.001	Ja	.300

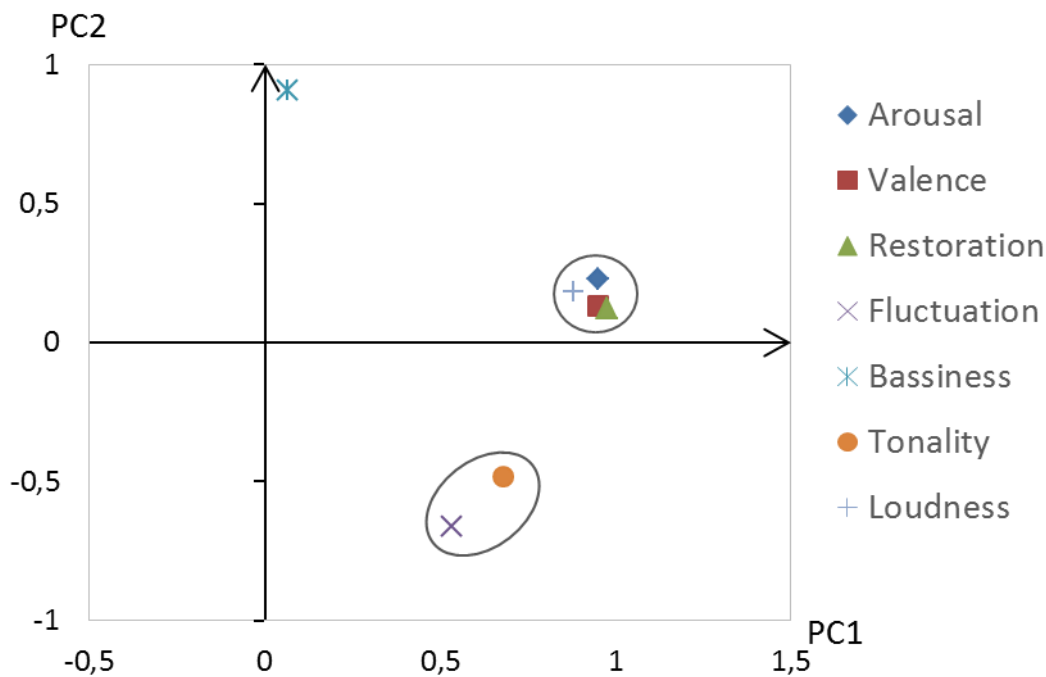
Förutom de analyser som diskuterats ovan genomfördes även en PCA (principalkomponentanalys) för att utvärdera förhållandet mellan aspekterna. De två första komponenterna förklarar 84,4% av variansen, och koordinaterna för testfilerna och aspekterna på de axlarna i motsvarande PCA-plan anges i tabell 6 respektive tabell 7. Lägg märke till att denna PCA är skalad på så vis att koordinatvärdena är desamma som korrelationsvärdena för aspekterna i tabell 7.

Tabell 8 Koordinater för testfilerna, på de två dominerande principalkomponentaxlarna.

Test file	PC1 (61.41%)	PC2 (22.96%)
Original	-1.18	0.18
156 Hz ton,	1.39	1.42
1315 Hz ton	-0.67	-0.44
Lågfrekvens	-0.81	1.63
Modulation @ 300Hz	-0.33	-0.72
Modulation @ 3000Hz	-0.45	-0.69
Modulation totalt	0.78	-0.98
Ljudnivå	1.28	-0.40

Tabell 9 Koordinater för aspekterna, på de två dominerande principalkomponentaxlarna.

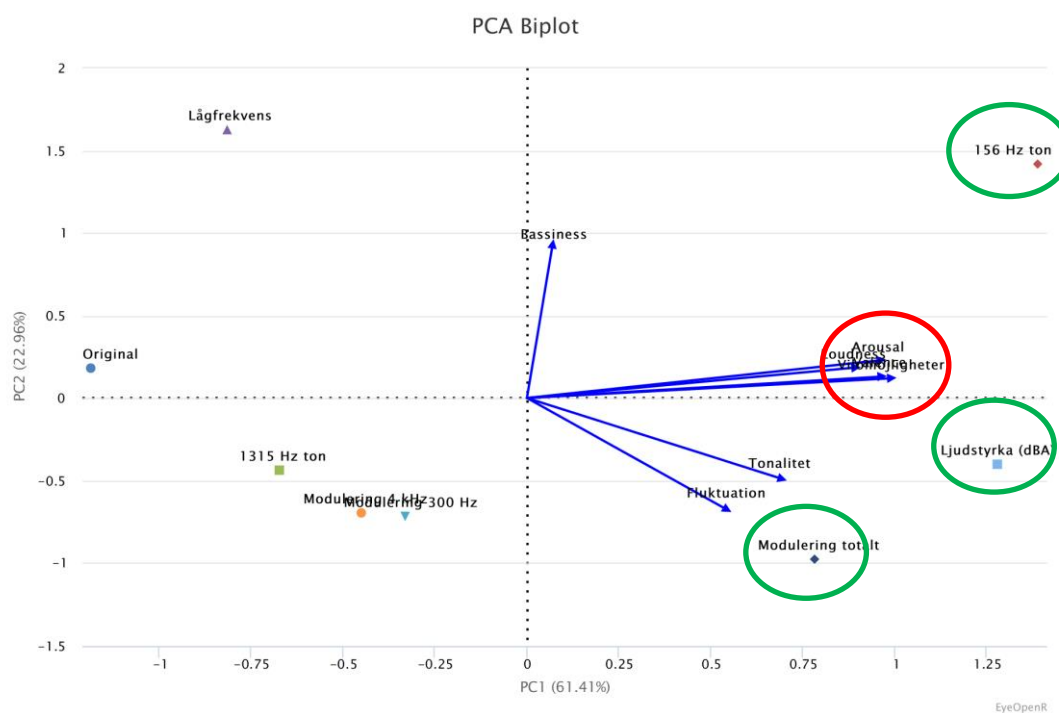
Aspect	PC1 (61.41%)	PC2 (22.96%)
Aktivering	0.95	0.23
Attraktion	0.95	0.13
Återhämtning	0.98	0.12
Fluktuation	0.53	-0.66
Basighet	0.07	0.91
Tonalitet	0.68	-0.48
Styrka	0.88	0.18



Figur 4 Planet för de två första principalkomponenterna med inprickade aspekter. Ringen indikerar ett kluster som är starkt kopplat till PC1 och består av Arousal/Aktivering, Valence/Attraktion, Restoration/Återhämtning och Loudness/Styrka, och ellipsen inkluderar Fluctuation/Fluktuation och Tonality/Tonalitet. Bassiness/Basighet ligger nästan på axeln PC2 och långt ifrån de övriga aspekterna.

Som framgår i Figur 4 ligger de emotionella aspekterna väl samlade vid axeln för PC1, tillsammans med den audiella aspekten Styrka. Det vill säga, de emotionella aspekterna bedömdes alla på ett liknande sätt, och PC1 kan tolkas som en generell störning. När det gäller testfilerna så har både ”156 Hz ton”, ”ljudnivå”, och i viss mån ”modulation totalt” påfallande högre koordinatvärden för PC1 än övriga filer. Dessa tre testfiler spänner alltså upp den störning som de emotionella aspekterna representerar, uttryckt i PC1.

På samma sätt spänner testfilerna ”156 Hz ton” och ”lågfrekvens” upp PC2, som motsvarar den audiella aspekten Basighet. I detta testet var den aspekten nästan ortogonal mot PC1 och de emotionella aspekterna, och var alltså inte viktiga för störningen. Här bör dock poängteras att en förändring i absolutnivån mycket väl kunde ha förändrat bedömningen av de emotionella aspekterna hos ”lågfrekvens”-filen.



Figur 5 Planet för de två första principalkomponenterna där förutom pilar som representerar aspekterna, även ljudfilerna är inprickade.

En Tukey's HSD (Honestly Significant Difference) Test utfördes på datasetet, vilket visade att endast testfilen med förstärkt 156 Hz ton hade en signifikant högre nivå av alla emotionella aspekter (Aktivering - 99% signifikansnivå, Attraktion - 99% signifikansnivå och Återhämtning - 95% signifikansnivå) i förhållande till den "ursprungliga" filen. Den enda av de övriga testfilerna som hade en signifikant högre nivå än "Original"-filen för en emotionell aspekt var den fil som hade 2 dB högre A-vägd nivå än de övriga filerna, men endast för aspekten Återhämtning, och endast på en 90% signifikansnivå.

## 8. AP3 Enkätstudie

I AP3 sammanställdes en enkät (exempel från enkäten kan ses i 11.3.3 Enkät) av RISE och UU/KTH i samarbete, och redovisningen sker samordnat och i relevanta avsnitt med överlapp mellan rapporterna. Hela enkäten finns i en separat bilaga.

### 8.1. Metod

#### 8.1.1. Urval

Enkäten skickades ut till boende runt de sju vindkraftparker som studerades i detta projekt. Samtliga boenden inom fem kilometers avstånd från vindkraftparkerna valdes ut, vilket omfattade 2905 personer. Av dessa personer valdes slumpmässigt en boende ut per hushåll, vilket resulterade i 1462 deltagare i enkäten. Uppsala-projektet administrerade sedan utskick av enkäten till deltagarna, vilket innebar ett till tre utskick via post, de första två utskicken innehöll även inloggningsuppgifter för enkätsvar via internet, det sista utskicket innehöll en pappersenkät med ett förfrankerat returkuvert. När en deltagare svarat registrerades detta anonymt, så endast de deltagare som inte svarat fick påminnelser. Totalt valde 624 deltagare att besvara enkäten (42.7 %).

Tabell 10 Demografisk data och bakgrundsvariabler. Antalet svarande per fråga och kategori. Procent av antalet svarande på frågan inom parentes.

<b>Kön</b> (n=595 <sup>a</sup> )	<b>Kvinna</b> 260 (43.6%)	<b>Man</b> 336 (56.4%)			
<b>Ålder</b> (n=582 <sup>a</sup> )	<b>18–35 år</b> 31 (5.3%)	<b>36–50 år</b> 116 (19.9%)	<b>51–65 år</b> 203 (34.9%)	<b>65–80 år</b> 203 (34.9%)	<b>80 år+</b> 35 (6.0%)
<b>Utbildning</b> (n=573 <sup>a</sup> )	<b>Grund-/Folkskola</b> 117 (19.3%)	<b>Gymnasium</b> 164 (27.0 %)	<b>Eftergymnasial utbildning 0–3 år</b> 133 (21.9 %)	<b>Eftergymnasial utbildning 3 år eller längre</b> 159 (26.2%)	
<b>Utskicksområde</b> (n =607 <sup>a</sup> )	<b>Årjäng</b> 99 (16.3%)	<b>Brattön</b> 130 (21.4%)	<b>Jädraås</b> 13 (2.1%)	<b>Karsholm</b> 178 (29.3%)	
	<b>Malå Ytterberg</b> 19 (3.1%)	<b>Möckelsjöberge</b> 121 (19.9%)	<b>Skaveröd</b> 47 (7.7%)		
<b>Boendetyper</b> (n=554 <sup>a</sup> )	<b>Permanentboende</b> 528 (89.5%)	<b>Fritidsboende</b> 62 (10.5%)			
<b>Boendeår</b> (n=554 <sup>a</sup> )	<b>0–5 år</b> 73 (13.2%)	<b>6–15 år</b> 124 (22.4%)	<b>16–30 år</b> 162 (29.2%)	<b>31–50 år</b> 148 (26.7%)	<b>51 år+</b> 47 (8.5%)
<b>Antal boende</b> (n=577 <sup>a</sup> )	<b>1 vuxen</b> 107 (18.5%)	<b>2+ vuxna</b> 272 (47.1%)	<b>1 vuxen</b> <b>1+ barn</b> 28 (4.9%)	<b>2+ vuxna</b> <b>1+ barn</b> 170 (29.5%)	

<sup>a</sup> n=Antalet svarande per fråga



### 8.1.2. Frågeformulär

Frågorna utvecklades i samråd mellan båda projektdelarna (RISE och UU/KTH) och handlade övergripande om deltagarnas: boendesituation, livsförhållanden, sovrummets orientering gentemot vindkraftverken, bullerstörning, visuell påverkan från vindkraftverken, annan upplevd påverkan från vindkraftverken, generella attityder kring vindkraft, ekonomisk ersättning från vindkraftsparken, demografi, hälsa, ljudkänslighet och negativa känslolägen (negative affectivity). En kortfattad beskrivning av innehållet i enkäten finns i Appendix 11.3.3. Hela enkäten finns som bilaga. Majoriteten av frågorna har tidigare använts i forskning kring vindkraftbuller och valdes ut eftersom de i tidigare studier visat sig adressera företeelser som haft effekt på störningsupplevelsen.

I följebrevet beskrevs studiens syfte, att undersöka effekterna av vindkraftsbuller vid en av de sju vindkraftparkerna. Dessutom tydliggjordes att deltagande i enkäten skedde utan ersättning, samt att kompletterande uppgifter kring bullerexponering skulle insamlas. Slutligen beskrevs att personuppgifterna hanterades enligt Offentlighets- och sekretesslagen 24 kap. 8 § [57].

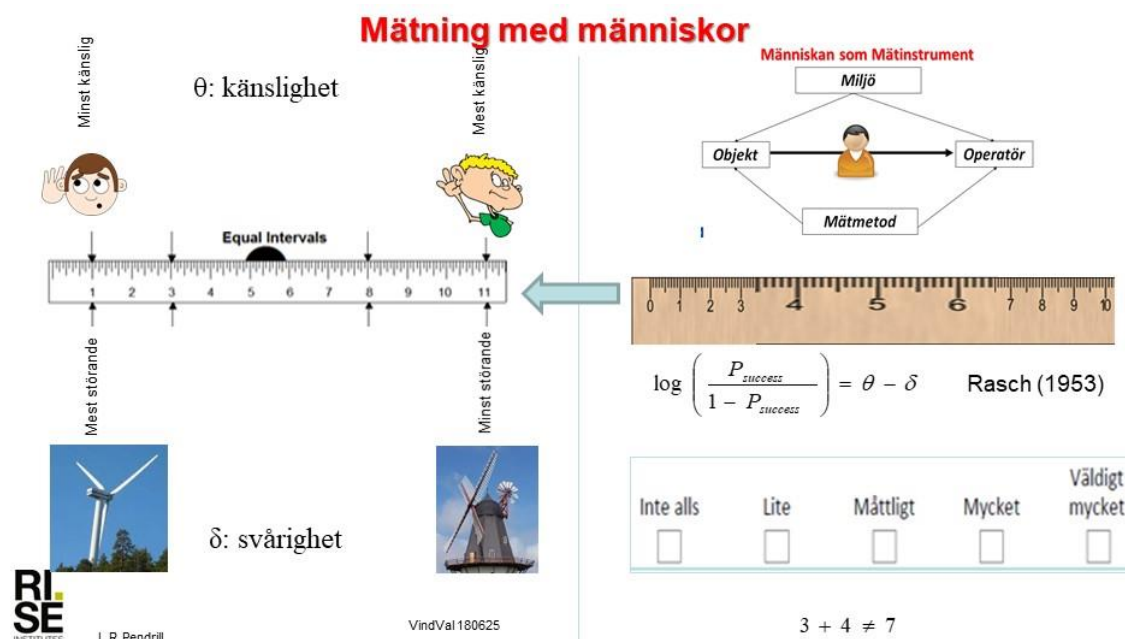
### 8.1.3. Databearbetning - deskriptiva data

Bearbetning och framtagning av de deskriptiva data utfördes först med SPSS statistikpaket [43] av Jesper Alvarsson, Södertörns Högskola. I enkäten ingick två psykologiska skalor, vilket betyder att flera frågor användes för att mäta en psykologisk egenskap. Dessa frågor slogs samman för att ge en mer heltäckande bild. Skalorna mätte ljudkänslighet och negativa känslolägen (negative affectivity). För att kontrollera att de olika frågorna mätte upplevelsen på ett likartat sätt gjordes reliabilitetsanalyser (kommentar: detta steg behövs inte utföras med de metoder som senare användes av RISE, eftersom de klarar av att hantera sådana skillnader i statistikmodellen). Analyserna visade att båda skalorna hade hög intern reliabilitet (Cronbachs  $\alpha_{\text{ljudkänslighet}} = .802$  och Cronbachs  $\alpha_{\text{negativa känslolägen}} = .801$ ). Därmed slogs svaren på de enskilda frågorna samman för varje deltagare och medelvärdet av dessa svar användes i analyserna.

Störning från bullerkällor utvärderades med en ISO-standardiserad fråga [53]. I den svenska översättningen mäter frågan bullerstörning på en femgradig skala från: ”inte alls störd” till ”väldigt mycket störd” [40]. Skalan kan användas i sitt femgradiga originalutförande. Ett vanligt förekommande sätt inom epidemiologiska studier är dock att dela upp svaren i de två huvudkategorierna ”inte störd” och ”störd” av buller. Detta görs för att på ett enkelt sätt plocka fram ett entalsvärde av antalet personer som är störda av buller, vilket underlättar om man vill skatta hur fördelningen av störning hos en grupp människor ser ut. Praxis är att slå samman de två översta kategorierna (”mycket störd” och ”väldigt mycket störd”) till en huvudkategori som anger antal personer som är störda av buller. Personer som skattar störning på de tre nedre kategorierna (”inte alls störd”, ”lite störd” och ”måttligt störd”) betecknas som ej störda av buller. Det är alltså ett konservativt sätt att skatta antalet personer som är störda av buller, eftersom även de som angett (”lite störd” och ”måttligt störd”) faktiskt angett att de upplever störning av buller, även om de skattat störningen lågt. Denna omkodning genomfördes på svaren på bullerstörning från samtliga ljudkällor (se fråga 11 i Appendix 11.3.3).

### 8.1.4. Databearbetning – psykometrisk utvärdering

För de delar av enkäten som var kopplade till detta projekt utförde Leslie Pendrill, RISE, även en analys med state-of-the-art psykometriska metoder, inklusive logistisk regression och multivariata tekniker som principalkomponent regression (PCR). Enkätfrågor om (i) vindkraft och störning analyserades i termer av varje individs känslighet,  $\theta$ , för störning och störningens grad,  $\delta$ , av svårighet; (ii) frågorna om demografi, hälsa och attityder analyserades i termer av varje individs grad av hälsa,  $\theta$ , och svårighetsgrad,  $\delta$ , av varje hälsoaspekt; (iii) frågor om ekonomisk ersättning från vindkraftsparken analyserades i termer av varje individs grad,  $\theta$ , av lätnöjdhet och varje ersättningsformens grad,  $\delta$ , av kvaliteten.



Figur 6 Psykometrisk logistisk regression

För att fullt ut kunna dra nytta av informationen i enkätsvaren är det viktigt att göra separata uppskattningar av person- och objektattribut. För att korrekt hantera ordinaldata (som anger hur svarsalternativen kan rangordnas, men inte hur stora skillnaderna är) som är typiska för frågeformulärsvaren, tillämpades en psykometrisk logistisk regression, där de logariterade oddsen för ett lyckat svar (svarssannolikheten) modellerades som linjärt varierande med skillnaden mellan ett respondentattribut,  $\theta$  ("förmåga") och en uppgifts svårighetsgrad,  $\delta$  ("utmaningsnivå") [44][45]:

$$\log \left( \frac{P_{success}}{1 - P_{success}} \right) = \theta - \delta \quad (7.1)$$

Attributvärdena erhöles genom att med hjälp av ekvation 7.1 transformera data från att vara "råa" ordinala poäng till att istället ligga på en kvantitativ intervallskala [figur 7.1] där alla vanliga statistiska och metrologiska verktyg kan tillämpas (i motsats till ordinala skalor [46]). Tillvägagångssättet gör det möjligt att avslöja de olinjäriteter som är karakteristiska för ordinala

data [47], Figur 5. En systematisk undersökning av ekvation. 7.1 kan göras antingen för ett fixt personattributvärde,  $\theta$ , för ett antal objektattribut  $\delta$ , eller *vice versa*.

En betydande fördel med denna metodik för invariant-mått av Rasch är att den ger:

- Mått på svårighetsgrad av varje enkätfråga som inte påverkas av förmågan (eller attityderna) hos enstaka respondenter.
- Mått på förmågan (eller attityderna) för varje respondent som inte påverkas av svårighetsgraden av enstaka enkätfrågor [48]
- Det vill säga, om man jämför svårighetsgrader hos olika frågor kan man förutsäga vilken som kan förväntas ge högre värden på svarsskalan. Om man vet hur hög ”förmågan” är hos respondenten och hur hög ”svårighetsgraden” är på frågan, så kan man skatta vilka svar man kan förvänta sig på just denna enkätfråga.

Följande nomenklatur tillämpas vid hanterandet av data:

$$i = \begin{cases} 1, \text{respondent } A \\ 2, \text{respondent } B \\ 3, \text{respondent } C, \dots \end{cases} \quad j = \begin{cases} 1, \text{störning } a \\ 2, \text{störning } b \\ 3, \text{störning } c, \dots \end{cases} \quad c = \begin{cases} 1, \text{fråga } Q1 \\ 2, \text{fråga } Q2 \\ 3, \text{fråga } Q3, \dots \end{cases}$$

I fall där enkätsvaren fördelas på flera än 2 ( $k = 1, \dots, K$ ) kategorier, används den polytomos hos Rasch [49][50] som ger svarssannolikhet  $v_{i,j}$  för respondenten  $i$  till störning  $j$ :

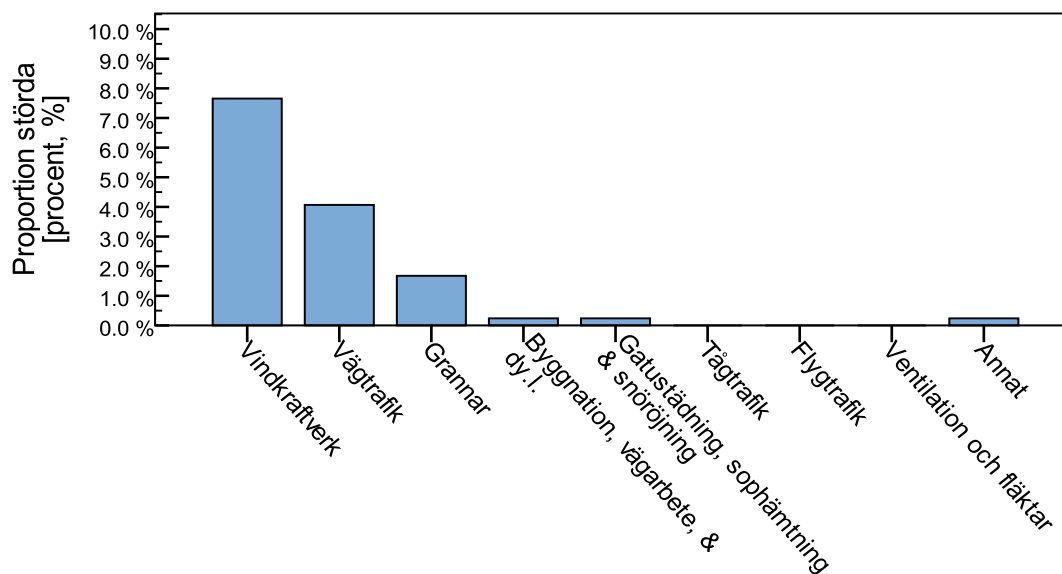
$$P(v_{i,j} = c) = \frac{e^{[c(\theta_i - \delta_j) - \sum_{k=1}^c \tau_{k,j}]}}{\sum_{c=0}^{K_j} e^{[c(\theta_i - \delta_j) - \sum_{k=1}^c \tau_{k,j}]}} \quad (7.2)$$

där  $\tau_k$  betecknar tröskeln för kategori  $k$ .

## 8.2. Resultat

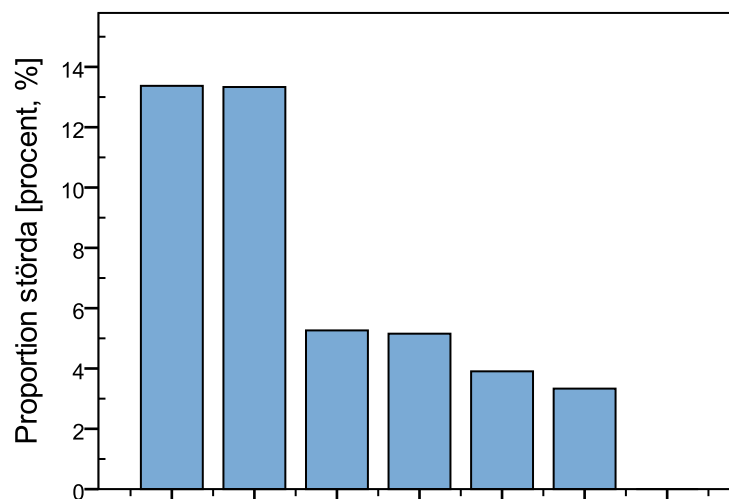
### 8.2.1. Störning – deskriptiva data

För att undersöka hur framträdande vindkraftverken är som källa till ljudstörning jämfördes samtliga ljudkällor gentemot proportion störda Figur 7 visar att vindkraftverken är den vanligaste störningskällan hos deltagarna: 1.75 gånger fler deltagare upplever ljuden från vindkraftverken (7.2 %) som störande jämfört med ljud från vägtrafik (4.1 %).



Figur 7 Andel störda av de nio ljudkällorna som listades i fråga 11. Längs x-axeln ligger de respektive ljudkällorna, medan y-axeln beskriver antalet deltagare i procent som upplevdes sig störda.

Proportion störda av vindkraft jämfördes också mellan de sju vindkraftparkerna i studien, och redovisas anonymiserat. Andel störda personer låg stratifierat: De två vindkraftparker kring vilka flest deltagare upplevde sig störda av buller hade 13,4 % respektive 13,3 % andel störda personer. På en tydligt lägre nivå låg två parker med 5,3 % respektive 5,2 %. Därunder låg två parker med 3,9 % respektive 3,3 %. Vid en av parkerna rapporterade sig ingen deltagare vara störd.



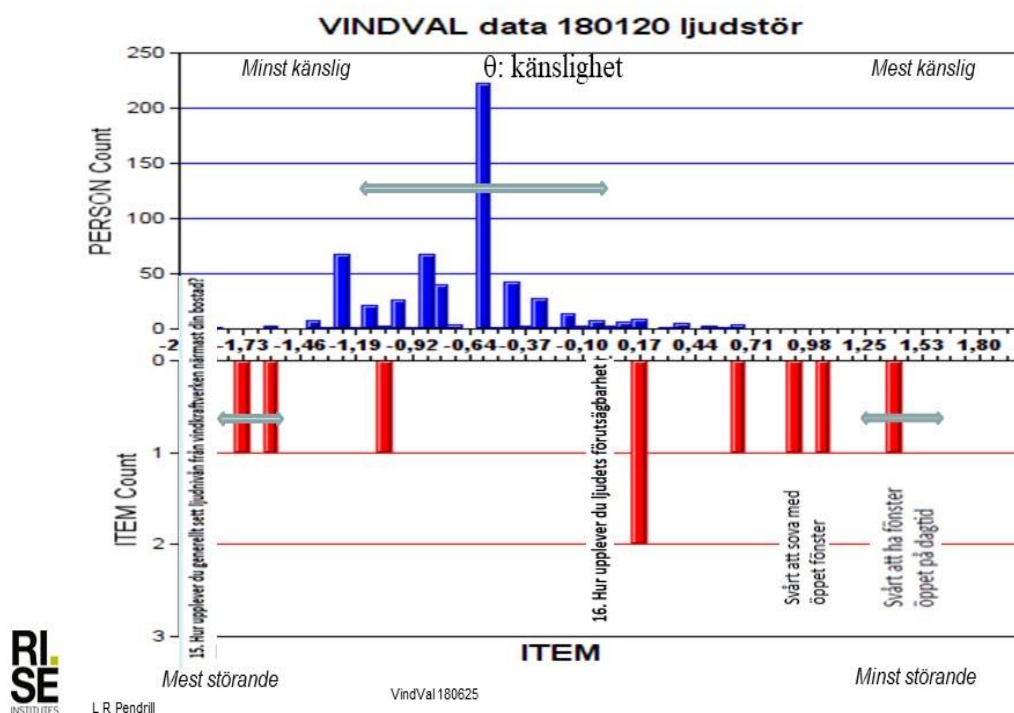
Figur 8 Andel störda av vindkraftbuller kring de sex vindkraftparkerna. Längs x-axeln ligger vindkraftparkerna, medan y-axeln beskriver antalet deltagare i procent som upplevdes sig störda.

### 8.2.2. Störning – psykometrisk analys

Svar till frågorna om vindkraft och störning [11 - 20] analyserades i termer av varje individs känslighet,  $\theta$ , för störning och störningens grad,  $\delta$ , av svårighet. I detta sammanhang blir tolkningen av hur begreppen fungerar så här:

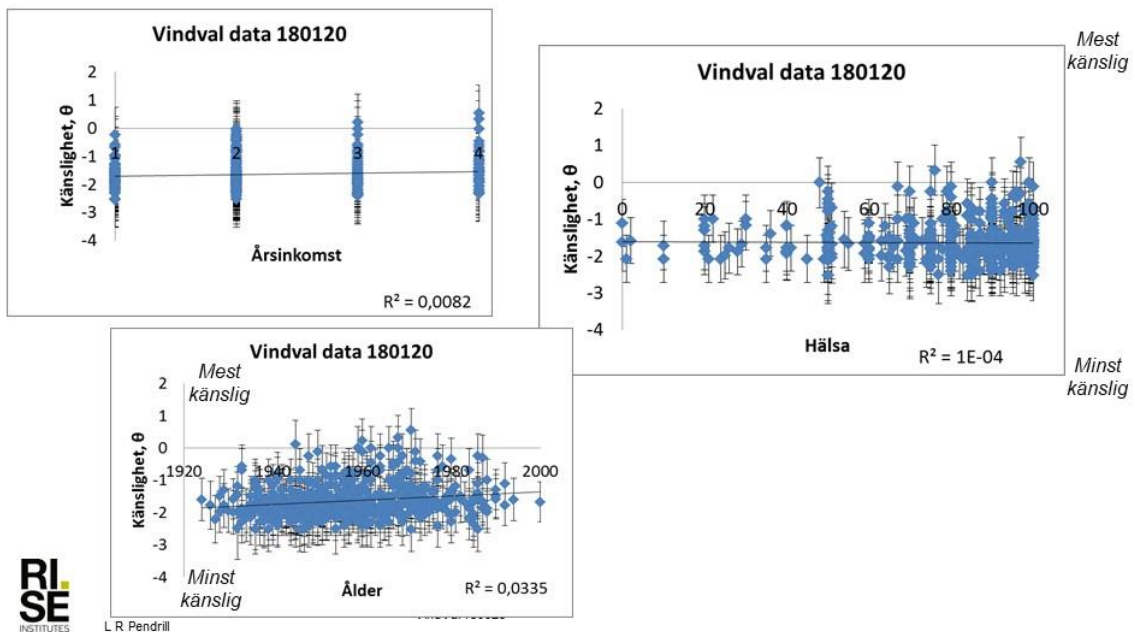
- En högre känslighet för störning,  $\theta$ , ökar en individs benägenhet att bedöma störningen som hög i sina svar
- En högre svårighetsgrad,  $\delta$ , hos en fråga innebär att frågan (aspekten) i sig kommer att generera svar med högre bedömd störning

Resultaten av de psykometriska analyserna indikerade en stor spridning i känslighet för störningar från vindkraftverk (såväl visuella som akustiska) bland de 500 individer som svarade på enkäten, Figur 9.



Figur 9 Psykometriska histogram över känslighet för respondenterna [blå staplar] för ljudrelaterade störningar [röda staplar] från vindkraftverk bland de 500 individer [Raschanalys med ekv. 7.2 av svar på enkätfrågorna 11 – 16]. De dubbeländade horisontella pilarna indikerar utvidgade mätosäkerheter [ $k = 2$ ]

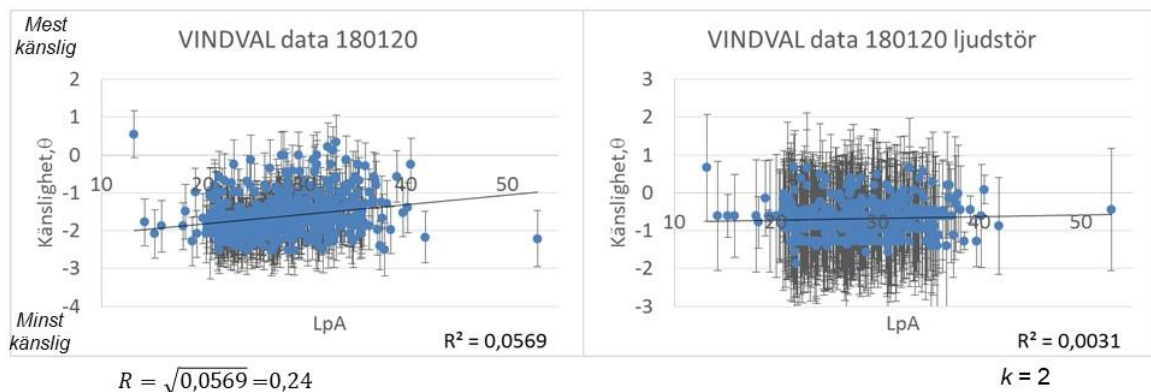
Det mest störande elementet var knutet till enkätfrågan 15: *Hur upplever du generellt sett ljudnivån från vindkraftverken närmast din bostad?* Det minst störande var 13g: att det var svårt att ha fönster öppet på dagtid.



Figur 10 Korrelationsdiagram av varje individs känslighet,  $\theta$ , för störning, plottat mot deras ålder, årsinkomst och allmän hälsa [utvidgade mätosäkerheter  $k = 2$ ]

Det fanns tecken på en svag positiv korrelation mellan varje individs känslighet,  $\theta$ , till störning och deras ålder, däremot ingen korrelation alls av individernas störkänslighet med varken årsinkomst eller allmän hälsa.

**Frågor om vindkraft och störning**  
Nedan följer frågor kring din upplevelse av de vindkraftverk som finns i närheten av din bostad samt vindkraft i allmänhet. Om du är tillfälligt boende, skall svaren på frågor som relaterar till de vindkraftverk som finns i närheten av din bostad beskriva de tidpunkter då du vistas i bostaden.

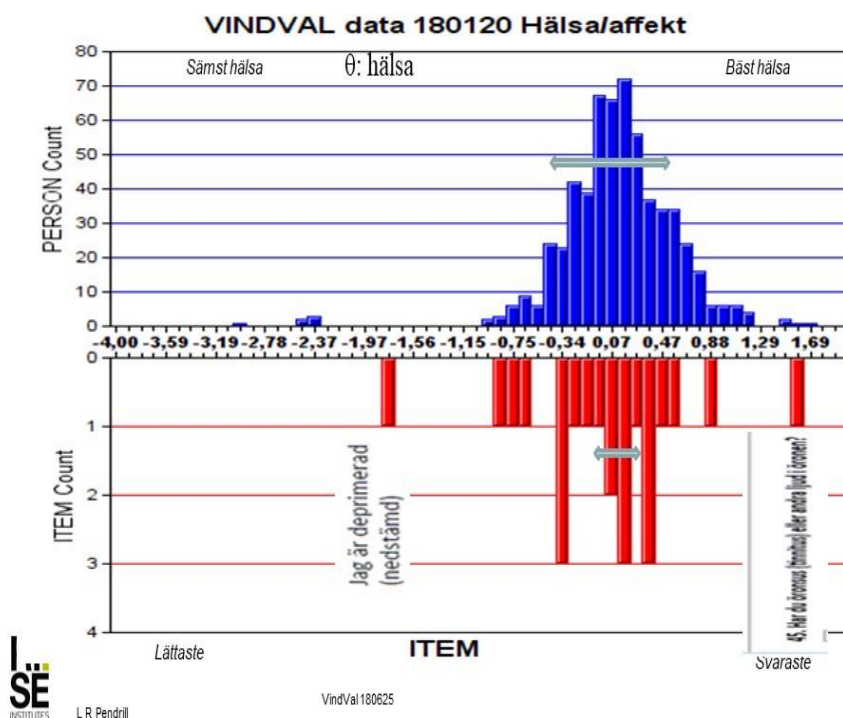


Figur 11 Korrelationsdiagram av varje individs känslighet,  $\theta$ , för störning mot den beräknade lokala ljudnivån ( $LpA$ ). Till vänster generellt för störning (för både visuell störning och ljudstörning), och till höger för enbart ljudstörning. [utvidgade mätosäkerheter  $k = 2$ ]

En svag positiv korrelation fanns mellan varje individs känslighet,  $\theta$ , störning (inberäknat visuell störning och ljudstörning) och den beräknade lokala ljudnivån ( $LpA$ ), Figur 11.

### 8.2.3. Demografi, hälsa och attityder – psykometrisk utvärdering

Vid den psykometriska analysen av enkätfrågorna [44 – 48] om demografi, hälsa och attityder, i termer av varje individs grad av hälsa,  $\theta$ , och svårighetsgrad,  $\delta$ , av varje hälsoaspekt, var det nödvändigt att vända skalorna för ungefär hälften av frågorna. Efter skaländringen kunde man konstatera att högst svårighetsgrad uppvisades av enkätfråga 45: *Har du öronsus?* Detta innebär alltså att de som svarade att de hade öronsus kunde generellt förväntas att bedöma störning högst. Det lägsta svårighetsgraden hade fråga 48-2: *Jag är deprimerad*. De som svarade att de var deprimerade var generellt benägna att bedöma störning lägst, Figur 12.



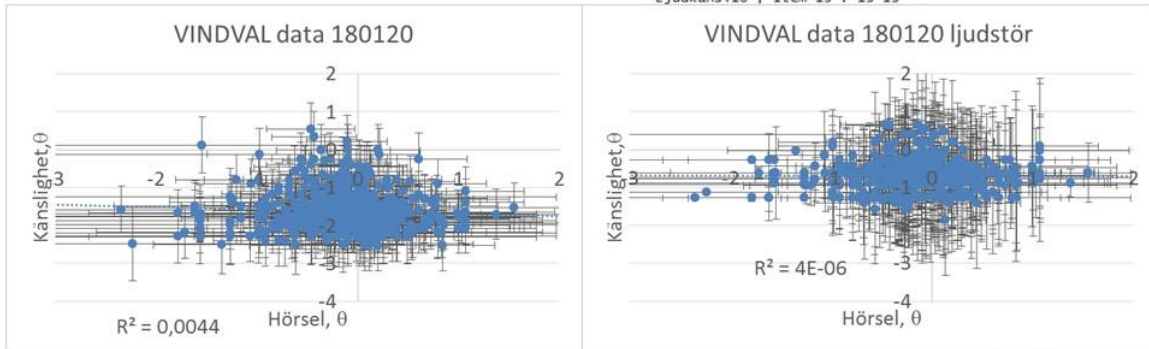
Figur 12 Psykometriska histogram över hälsoförmåga,  $\theta$ , för respondenterna [blåa staplar] till svårighetsgrad,  $\delta$ , av varje hälsoaspekt [röda staplar] bland respondenter [Raschanalys med ekv. 7.2 av svar på enkätfrågorna 44 – 48]. De dubbeländade horisontella pilarna indikerar utvidgade mätosäkerheter [ $k = 2$ ]

Korrelationen var däremot obefintlig mellan varje individs känslighet,  $\theta$ , för störning och deras hörsselförmåga, Figur 13.

#### Frågor om vindkraft och störning

Nedan följer frågor kring din upplevelse av de vindkraftverk som finns i närheten av din bostad samt vindkraft i allmänhet. Om du är tillfälligt boende, skall svaren på frågor som relaterar till de vindkraftverk som finns i närheten av din bostad beskriva de tidpunkter då du vistas i bostaden.

```
HörseINedsatt - norm ; Item 1 : 1-1
HörseITinnitus ; Item 2 : 2-2
HörseITinnitusstör ; Item 3 : 3-3
Ljudkans11-om ; Item 4 : 4-4
Ljudkans12-om ; Item 5 : 5-5
Ljudkans13-om ; Item 6 : 6-6
Ljudkans14 ; Item 7 : 7-7
Ljudkans15-om ; Item 8 : 8-8
Ljudkans16-om ; Item 9 : 9-9
Ljudkans17 ; Item 10 : 10-10
Ljudkans18-om ; Item 11 : 11-11
Ljudkans19-om ; Item 12 : 12-12
Ljudkans110 ; Item 13 : 13-13
```



L.R. Pendrill

VindVal180625

#### Frågor om dig

Nedan följer frågor som relaterar till, demografi, hälsa och attityder.

Figur 13 Korrelationsdiagram mellan varje individs känslighet,  $\theta$ , och deras hörselförmåga [utvidgade mätosäkerheter  $k = 2$ ]

### 8.2.4. Ekonomisk ersättning från vindkraftparker

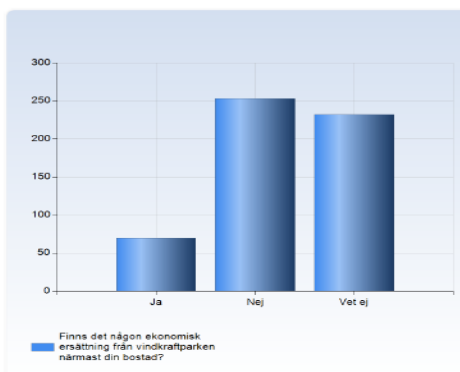
För den individuella uppfattningen om vindkraftverk har bland annat ekonomiska incitament visat sig inverka på graden av störning. Bakken [58] visade bland annat att av de som inte fick någon ekonomisk vinning från vindkraftverken var cirka 7 procent av de boende ganska eller mycket störda av vindkraftsverksljudet inomhus, motsvarande siffra för de boende med någon form av ekonomisk vinning var istället 0 procent. Dessa och andra socioekonomiska faktorer, som möjlighet till eget ägande i vindkraftverken, skulle analyseras med avseende på hur de inverkar på upplevd störning. Få var berörda av ekonomiska incitamentsmodeller (70 personer), och underlaget blev mycket mindre när det delades upp på ganska disparata incitamentsmodeller, Figur 14. Underlaget var så pass litet att enbart de psykometriska metoderna gav resultat vid analysen.

Även den visuella påverkan undersöktes i enkätstudien. Korrelationen till störning var dock låg för de relaterade frågeställningarna (mellan 0.28 och 0.35)



### Finns det någon ekonomisk ersättning från vindkraftparken närmast din bostad?

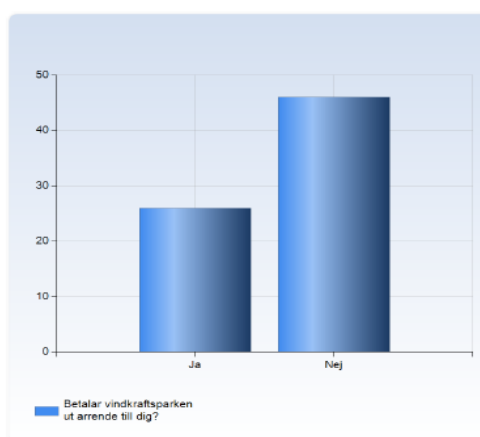
Finns det någon ekonomisk ersättning från vindkraftparken närmast din bostad?	Antal svar
Ja	70 (12,6%)
Nej	253 (45,6%)
Vet ej	232 (41,8%)
Summa	555 (100,0%)



Finns det någon ekonomisk ersättning från vindkraftparken närmast din bostad?	Medelvärde	Standardavvikelse	Variationskoefficient	Min	Undre kvartil	Median	Övre kvartil	Max
Finns det någon ekonomisk ersättning från vindkraftparken närmast din bostad?	0,2	0,4	190,4 %	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0

### Betalar vindkraftsparken ut arrende till dig?

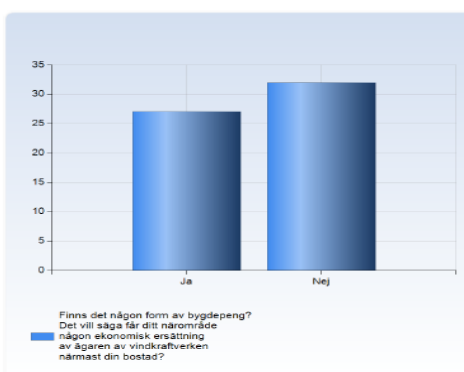
Betalar vindkraftsparken ut arrende till dig?	Antal svar
Ja	26 (36,1%)
Nej	46 (63,9%)
Summa	72 (100,0%)



Betalar vindkraftsparken ut arrende till dig?	Medelvärde	Standardavvikelse	Variationskoefficient	Min	Undre kvartil	Median	Övre kvartil	Max
Betalar vindkraftsparken ut arrende till dig?	0,4	0,5	133,9 %	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0

### Finns det någon form av bygdepeng? Det vill säga får ditt närområde någon ekonomisk ersättning av ägaren av vindkraftverken närmast din bostad?

Finns det någon form av bygdepeng? Det vill säga får ditt närområde någon ekonomisk ersättning av ägaren av vindkraftverken närmast din bostad?	Antal svar
Ja	27 (45,8%)
Nej	32 (54,2%)
Summa	59 (100,0%)



Finns det någon form av bygdepeng? Det vill säga får ditt närområde någon ekonomisk ersättning av ägaren av vindkraftverken närmast din bostad?	Medelvärde	Standardavvikelse	Variationskoefficient	Min	Undre kvartil	Median	Övre kvartil	Max
Finns det någon form av bygdepeng? Det vill säga får ditt närområde någon ekonomisk ersättning av ägaren av vindkraftverken närmast din bostad?	0,5	0,5	109,8 %	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0

Figur 14 Antal berörda av ekonomisk kompensation, med exempel på olika ekonomiska modeller

### 8.2.5. Psykometrisk analys av enkätsvaren rörande ekonomisk ersättning

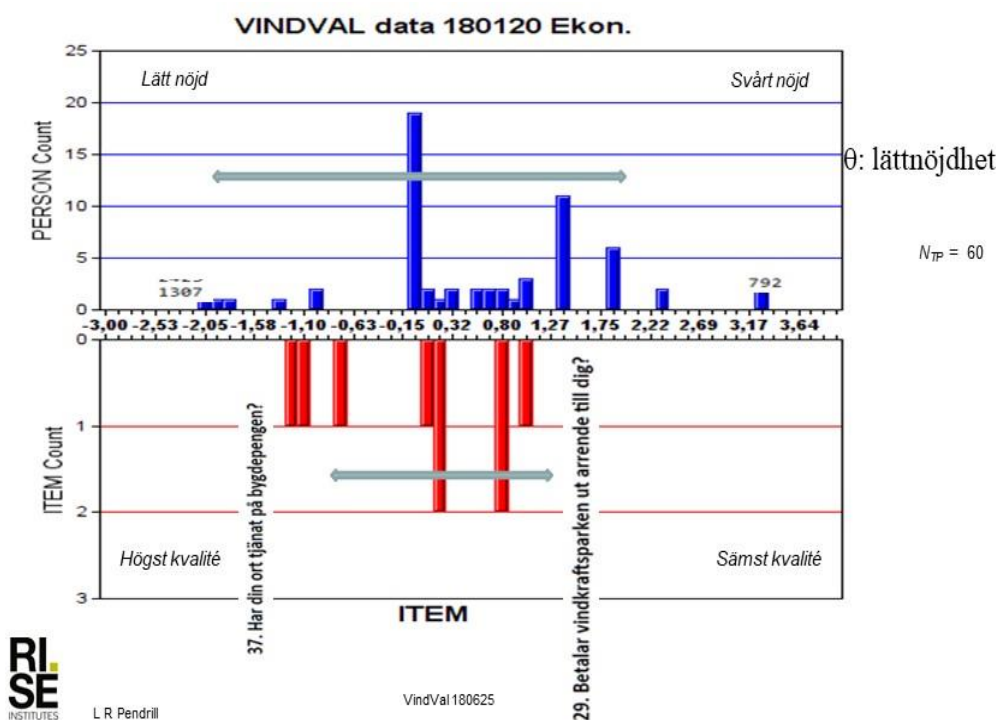
Frågor om ekonomiska ersättningsmodeller från vindkraftparken [29 – 39] analyserades psykometriskt i termer av varje individs grad,  $\theta$ , av lättnöjdhet (hur benägen individen var att bli nöjd med en ersättningsmodell) och varje ersättningsforms grad,  $\delta$ , av kvalitet (hur bra modellen fyllde funktionen att öka individens nöjdhet med modellen). Tolkningen i det här fallet var:

- En högre känslighet för störning,  $\theta$ , ökar en individs benägenhet att bedöma störningen som hög i sina svar
- En högre kvalitetsgrad,  $\delta$ , på en ersättningsmodell ökar individernas benägenhet att i sina svar bedöma nöjdhet med denna modell högt

Som ett resultat av analysen med PCR-teknik så kunde en formel härledas för prediktering av en individs känslighet för störning från vindkraftverk, trots det begränsade svarsunderlaget<sup>4</sup>:

$$\theta_i = -0,4(3) - 0,002(2) \cdot Age_i[a] - 0,03(5) \cdot Educ_i[a] - 0,001(2) \cdot Health_i[logit] + 0,01(4) \cdot Income_i[cat. 1 - 4],$$

där siffrorna i parentes indikerar utvidgade mätosäkerheter med täckningsfaktor  $k = 2$ .



Figur 15 Psykometriska histogram över lättnöjdhet,  $\theta$ , för respondenterna [blåa staplar] till kvalitet,  $\delta$ , av varje ersättningstjänst [röda staplar] bland respondenter [Raschanalys med ekv. 7.2 av svar på enkätfrågorna 29 – 39]. De dubbelt ändade horisontella pilarna indikerar utvidgade mätosäkerheter [ $k = 2$ ]

Trots de låga svarsfrekvenserna för frågor om ekonomisk ersättning från vindkraftparken kunde varje individs grad,  $\theta$ , av lättnöjdhet och varje ersättningstjänsts grad,  $\delta$ , av kvalitet analyseras.

<sup>4</sup>  $\theta = 0$  motsvarar 50% success score.

Som ett resultat kunde konstateras att ersättningstjänsten som upplevdes ha högst kvalitet hos ställda frågorna var 37, *Har din ort tjänat på bygdepengen?* Sämst kvalitetsbedömning fick fråga 29, *Betalar vindkraftsparken ut arrende till dig?* Ingen korrelation alls fanns mellan individernas lätnöjdhet med ersättningstjänsten och årsinkomst eller individens känslighet för störning från vindkraftverk.

### 8.2.6. Tillförlitlighet och validitet

På grund av att begränsad mätkvalitet kan leda till ökade risker för felaktiga beslut (t ex acceptans av en undermålig ersättningsmodell, avsnitt 8.2.7), är det viktigt att korrekt utvärdera den aktuella mätosäkerheten.

Mätteknisk tillförlighet [51] är ett mått på om varje utfall ger samma tal varje gång ett mätinstrument tillämpas. Med människor som 'mätinstrument' är det nödvändigt att göra en distinktion mellan dels upprepade mätningar med en person och dels mätningar med olika personer. Det finns flera aspekter på tillförlitlighet, och här fokuseras på tre av dessa; självrapportering; intern samstämmighet; och bedömarens säkerhet (reproducerbarhet):

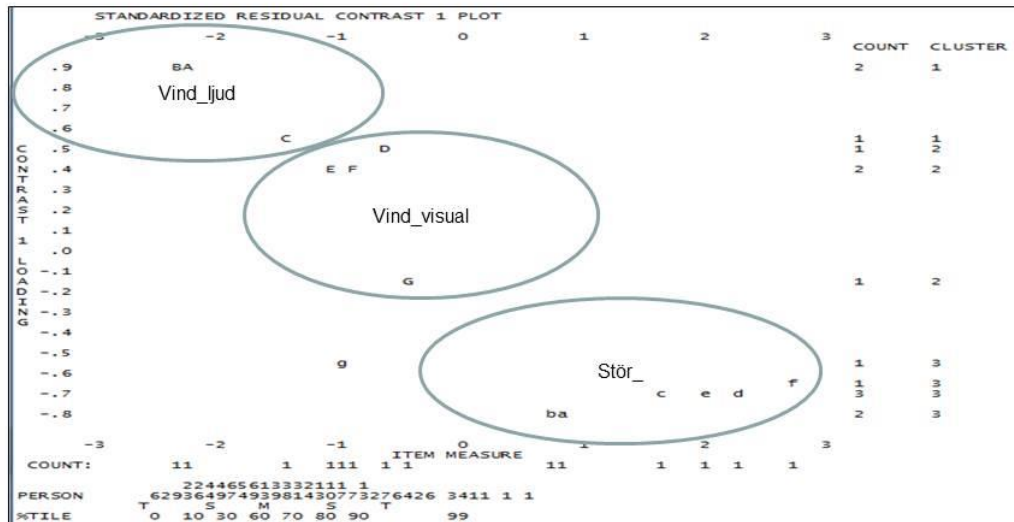
#### 1. *Självrapportering: Tillförlitlighet uppskattad från ord och tolkning*

Den psykometriska Raschanalysen har inte avslöjat några signifikanta skillnader relaterade till tolkning av enkätfrågorna avseende poängsättning bland respondenterna.

Tillförlitligheten i uppskattningar av individuella respondentattributvärden (som känslighet eller lätnöjdhet) visade sig i genomsnitt över alla frågor och utmaningar vara begränsad, särskilt vid de extrema ändarna av mätskalorna. Som visas i Figur 9, finns en viss brist i matchningen hög känslighet mot lägre svårighetsgrad, förbi det minst störande item 13g: att det var *svårt att ha fönster öppet på dagtid*. Detta kommer att begränsa tillförlitligheten för frågor om aspekter som är svagt störande, om man inte t ex kompletterar med människor som har högre känslighet för störning.

#### 2. *Intern samstämmighet: Adresserar alla enkätfrågor för ett utfallsmått, samma underliggande begrepp?*

Även om Raschanalysen verkar indikera rimlig validitet vid bedömning av respondentegenskaper som känslighet eller lätnöjdhet, så gjordes en principalkomponentanalys (PCA), Figur 16. Resultatet påvisar ett antal variationskomponenter (dimensioner) bortom förstaordningens antagandet vid Raschanalys för en enkel parameter,  $\delta$ .



L.R. Pendrill

VindVal180625

$\theta$ : känslighet  
 $\delta$ : svårighet

Figur 16 Principalkomponentanalys (PCA loading plot mot svårighetsgrad,  $\delta$ ) för psykometriska modellering av känslighet för respondenterna till akustiska störningar från vindkraftverk bland de 500 individer [Raschanalys med ekv. 7.2 av svar på enkätfrågorna 11 – 20].

Tre distinkta kluster visas i Figur 16, förknippade med ljudstörning, visuella störningar från vindkraftverken, samt allmän störning, enligt PC-analysen av svaren på enkätfrågorna 11 – 20].

3. Respondentförmåga (reproducerbarhet): Respondentens konsistens vid upprepade frågor (tillförlitlighet) och samstämmighet mellan olika respondenter (validitet)

Mätosäkerheterna, som beräknats som tillförlitlighet respektive validitet, är plottade i de olika figurerna i resultatavsnittet 8.2.2-8.2.4.

Mått på (standard)mätosäkerhet i Raschattributvärden för en förmåga  $\theta$  och en svårighet  $\delta$  ges som 'standard error':

$$\begin{cases} u(\theta) = \sum_{j=1}^L (P_{success,i,j,k} \cdot P_{success,i,j,k'})^{-\frac{1}{2}} \\ u(\delta) = \sum_{i=1}^{N_{TP}} (P_{success,i,j,k} \cdot P_{success,i,j,k'})^{-\frac{1}{2}} \end{cases} \quad (7.3)$$

8.2.7. Mätning/objekt-separation och beslutsfattande

En tillförlitlighetskoefficient ( $R_z$ ) för Raschattributvärden,  $z$ , beräknas med:

$$R_z = \frac{\text{Sann varians}}{\text{Observerad varians}} = \frac{\text{var}(z)}{\text{var}(z')} = \frac{\text{var}(z) - \text{var}(\epsilon_z)}{\text{var}(z')} \quad (7.4)$$

Mätosäkerheterna som beräknas med ekv. (7.4) kan ha typiska värden för tillförlitlighetskoefficienten kring 0,8 [figurerna i avsnitt 8.2.2-8.2.4.]. Vid dessa värden, är cirka 50% av den observerade variansen endast en chimär som härrör sig från en begränsad mätkvalitet, som dock accepteras som tillräckligt bra för beslutsfattande då mycket står på spel [52]. Det är ett välkänt faktum att tillförlitlighetskoefficienterna för såväl respondentförmåga ( $\theta$ ) som objektsvårighet ( $\delta$ ),

bestäms dels av (a) antalet respondenter och dels av (b) antalet enkätfrågor, till exempel enligt Spearman-Brown prophecy formeln<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Spearman%E2%80%93Brown\\_prediction\\_formula](https://en.wikipedia.org/wiki/Spearman%E2%80%93Brown_prediction_formula)

## 9. Diskussion och slutsatser

Resultaten av de psykometriska analyserna indikerade en stor spridning i deltagarnas känslighet för störningar från vindkraftverk (såväl visuella som akustiska) bland de 500 individer som svarade på enkäten. Det fanns dock tecken på en svag positiv korrelation mellan varje individs känslighet för störning och deras ålder, däremot ingen korrelation alls av individernas störkänslighet med varken årsinkomst eller allmän hälsa. En svag, positiv korrelation fanns mellan varje individs känslighet,  $\theta$ , till störning och den beräknade lokala ljudnivån ( $LpA$ ). Det mest störande element kunde knytas till enkätfrågan 15: *Hur upplever du generellt sett ljudnivån från vindkraftverken närmast din bostad?* Det minst störande var (enkätfråga 13g): att det var svårt att ha fönster öppet på dagtid.

Vid analysen av enkätfrågorna om demografi, hälsa och attityder, så kunde man konstatera att positiva responser (jakande) på frågan *Har du öronsus?* indikerade den största benägenhet att ranka störningar högt. Största benägenheten att ranka störningar lågt hade de som gav en positiv respons (jakande) på påståendet *Jag är deprimerad*.

Även om en fullständig modell inte kunde formuleras, så kunde en formel härledas med PCR-teknik för prediktering av en individs känslighet till störning från vindkraftverk<sup>6</sup>:

$$\theta_i = -0,4(3) - 0,002(2) \cdot Age_i[a] - 0,03(5) \cdot Educ_i[a] - 0,001(2) \cdot Health_i[logit] + 0,01(4) \cdot Income_i[cat. 1 - 4]$$

där siffrorna i parentes indikerar utvidgade mätosäkerheter med täckningsfaktor  $k = 2$ .

Trots de låga svarsfrekvenserna på frågor om ekonomisk ersättning från vindkraftsparken så kunde de två attributen ”lättnöjdhet” (dvs individens benägenhet att vara nöjd med ersättningsmodeller) och ”ersättningsmodellens kvalitetsgrad” analyseras. Som ett resultat kunde konstateras att ersättningsmodellen som upplevdes ha högst kvalitet hos ställda frågorna var *Har din ort tjänat på bygdepengen?* Sämst kvalitetsbedömning fick frågan *Betalar vindkraftsparken ut arrende till dig?* Ingen korrelation alls fanns mellan individernas lättnöjdhet med ersättningsmodellen och årsinkomst eller individens känslighet för störning från vindkraftverk.

Såväl tillförlitligheten (respondentens reproducerbarhet) som validiteten (samstämmighet mellan olika respondenter) uppskattades vid dessa psykometriska analyser. Förslag gavs om hur man kan öka överensstämmelsen mellan de båda attributens fördelning i de olika avsnitten i enkäten.

Lyssningstesten var utformad för att ta hänsyn till olika egenskaper hos moderna vindkraftverk, såsom de beskrivs i litteraturen (till exempel [5][10][12][19]). Det visade sig att resultaten i detta projekt väl överensstämde med vad som framkommit tidigare för konventionella verk, vilket vidare kommer att kommenteras härunder. En av frågorna i denna studie var om de rapporterade upplevda egenskaperna hos ljuden faktiskt kunde kopplas till objektiva distinkta egenskaper som återfanns i ljudet hos moderna stora vindkraftverk. Till exempel, i en enkätundersökning rapporterades det en stor överensstämmelse i beskrivningen av vindkraftverkets dominerande

---

<sup>6</sup>  $\theta = 0$  motsvarar 50% success score.

karaktärsdrag som "swishing" [10]. Ljudet "Swish" beskrivs i engelska ordböcker i första hand som visslande, väsande och prasslande, och motsvarar onomatopoetiskt brus över ca 800 Hz upp till 4 kHz. Men i denna studie ansågs endast den lågfrekventa delen av det modulerade bullret, motsvarande det accentuerade karaktärsdraget i ljudfilen "modulation @ 300Hz", vara signifikant mer störande än referensljudet. Ändå fanns det en tydligt "svischande" karaktär hos den motsvarande högfrekventa modulerade delen i filen "modulation @ 3000Hz" enligt pilotstudien. Uppenbarligen behöver denna typ av språkliga otydligheter beaktas när man utvärderar fältundersökningar, och detta oberoende av verkens storlek.

En motsvarande observation kan göras när det gäller tonalitet. De två mest tydliga tonerna i testet kunde både höras tydligt. Men när den höga 1315 Hz tonen, som hade karaktären av en låg vissling, förstärktes i filen "1315 Hz ton" så uppfattades detta inte som mer störande än originalfilen. Å andra sidan, när 156 Hz-tonen ökades, uppfattades det som mycket mer störande. Därför verkar det som om det 5 dB tillägg som ska göras vid hörbara toner enligt de svenska rekommendationerna kanske inte är lika relevant för toner i olika frekvensområden. En möjlig parameterstudie med lyssningstester skulle kunna omfatta vindkraftsbuller med toner i olika frekvensområden, med olika bandbredd och olika amplitud. Vidare så upplevdes det modulerade lågfrekventa bullret ungefär lika störande som den lågfrekventa tonen, men det finns inget motsvarande strafftillägg för modulerat ljud i de svenska rekommendationerna. Även här skulle en parameterstudie med lyssningstester kunna ge värdefull information. Frekvensområdet hos det störande modulerade bruset i lyssningsfilen (200–400 Hz) var i överensstämmelse med referensbandet i den metod som UK Institute of Acoustics har tagit fram (utvärderingar görs där i tre frekvensband: 50–200 Hz, 100–400 Hz (referens) och 200 - 800 Hz).

Testfilen "lågfrekvens", med en relativ förstärkning av det lågfrekventa bullret under 140 Hz, hade en måttlig inverkan på störning jämfört med den originalfilen (lägg märke till att den A-vägda nivån hölls konstant, vilket resulterade i en tydlig ökning av lågfrekvensdelen). Dock bör påpekas att resultatet hade kunnat bli annorlunda om uppspelningarna gjorts på en starkare nivå, på grund av olineariteten hos hörnivåkurvorna. I det semantiska differentialtestet framgår det emellertid i tabell 4 och figur 3 att Basighet-aspekten bedömdes nästan lika högt i filen "156 Hz ton" som i filen "lågfrekvens". Det vill säga, om lågfrekvent buller uppges vara störande i fältstudier, kan det bero på toner som ligger i 160 Hz tersbandet (eller möjligen ännu högre, eftersom detta inte undersöktes vidare)

Som framgår av PCA-diagrammet, Figur 4, är de emotionella aspekterna (Aktivering, Attraktion and Återhämtning) väl korrelerade med den första principalkomponenten, och bildar ett tätt kluster tillsammans med den audiella aspekten Styrka (ljudstyrkan som den subjektivt uppfattades i testet). Det bör noteras att Styrka här inte är synonymt med en hög A-vägd ljudtrycksnivå: Testfilen med en framträdande 156 Hz ton bedömdes vara starkast av alla filer (dvs hade högst Styrka-rating), trots att "ljudnivå"-filen i själva verket var 2 dBA starkare. Det vill säga, orsaken till att aspekten Styrka hade en signifikant negativ inverkan på de emotionella aspekterna i denna studie var framförallt att "156 Hz ton"-filen upplevdes såpass stark, medan "ljudnivå"-filen med den högre A-vägda ljudtrycksnivån inte bidrog i lika hög grad till detta, vilket bekräftades i Tukey's HSD-test.

Eftersom de tre undersökta emotionella aspekterna var långt ifrån ortogonala i förhållande till varandra (tvärtom nästan parallella), så är de i denna kontext redundanta. Alltså räcker det i det här fallet att känna till en av dem för att beskriva alla tre emotionella aspekter. På samma sätt räcker det här med att skatta Styrka för att känna alla tre emotionella aspekter. Men Styrka är alltså här en linjärkombination av flera ljudegenskaper.

Det parvisa jämförelsetestet visade att en ökning av den A-vägda ljudnivån inte var det enda sättet att öka störningen i förhållande till originalljudfilen. Att hålla den A-vägda ljudnivån konstant och samtidigt öka den relativa nivån antingen på den låga tonen vid 156 Hz eller på det modulerade brusets i frekvensområdet 200–400 Hz, hade nästan samma effekt. Men sådana förändringar kommer mer eller mindre att maskeras i mätresultaten om A-vägning används i en utvärdering. Detta tillsammans med resultaten från det semantiska differentialetestet pekar på att försiktighet måste iaktas vid användning av A-vägda ljudnivåer, särskilt i samband med självrapporterad störning av vindkraftbuller som diskuterats ovan.

Eftersom de olika karaktärdragen och aspekterna inte är ortogonala sinsemellan så väljer vi här att inte ta fram ett pareto-diagram. Istället så listar vi de tre viktigaste karaktärerna och aspekterna för störning i denna studie i rangordning. För att dra vidare slutsatser om vad detta innebär i form av till exempel rekommenderade nivåer med mera så krävs riktade studier (t ex parameterstudier).

---

#### De tre viktigaste karaktärerna för störning i denna studie

##### Från lyssningstest

##### Från enkät

Ljudstyrka (A-vägd nivå)

Ljudets nivå

Amplitudmodulering (periodiska tidsvariationer av amplitud) **Fel!**  
Bokmärket är inte definierat.

Om ljudet har obehaglig karaktär

Tonalitet - toner

Ljudets förutsägbarhet

---



## 10. Källförteckning

- [1] H. Møller and C. S. Pedersen, Low-frequency wind-turbine noise, *J. Acoust. Soc. Am.* 129 (6), June 2011, 3727-3744
- [2] N. S. Timmerman, Wind Turbine Noise, *Acoustics Today*, July 2013, 22-29
- [3] G. Leventhall, Concerns about infrasound from wind turbines, *Acoustics Today*, July 2013, 30-38
- [4] M. Nilsson, G. Bluhm, G. Eriksson, K. Bolin, Kunskapssammanställning om infra- och lågfrekvent ljud från vindkraftsanläggningar: Exponering och hälsoeffekter, Slutrapport till Naturvårdsverket, 1-20
- [5] K. Bolin, M. Nilsson och G. Bluhm, Upplevd störning av vindkraftsbuller, en jämförande studie av ljud från olika turbiner, Projektrapport för Naturvårdsverket, 2011
- [6] G. Leventhall, "How The 'Mythology' Of Infrasound And Low Frequency Noise Related To Wind Turbines Might Have Developed Wind Turbine Noise" Conference WTN 2005
- [7] D. Michaud, S. Keith, K. Feder, S. Voicescu, L. Marro, J. Than, M. Guay, T. Bower, A. Denning, E. Lavigne, C. Whelan, S. Janssen, T. Leroux, F. van den Berg, Personal and situational variables associated with wind turbine noise annoyance, *J. Acoust. Soc. Am.* 139 (3), March 2016, 1455-1466.
- [8] B. Berglund and T. Lindvall, (Eds.), *Community noise. Document prepared for the World Health Organisation. Archives of the Centre for Sensory Research*, 2, 1995, 1–195.
- [9] S. A. Janssen, H. Vos, A. R. Eisses, E. Pedersen, A comparison between exposure-response relationships for wind turbine annoyance and annoyance due to other noise sources, *J Acoust Soc Am.* 130(6), 2011, 3746-3753.
- [10] Naturvårdsverket: Ljud från vindkraftverk, Rapport 5933, NV dnr 382-6897-07 Rv, Naturvårdsverket, 2010
- [11] S. Ljunggren, Mätning av bullerimmission från vindkraftverk, Elforsk rapport 98:24, 1998
- [12] T.H. Pedersen, Low Frequency Noise from Large Wind Turbines - A procedure for evaluation of the audibility of low frequency sound and a literature study, Danish Electronics Light and Acoustics (DELTA) Report AV 1098/08, April 2008
- [13] Low-frequency outdoor–indoor noise level difference for wind turbine assessment
- [14] P. Thorsson, K. Persson Waye, M. Smith, M. Ögren, E. Pedersen, and J. Forssén, Low-frequency outdoor–indoor noise level difference for wind turbine assessment, *Express Letters, J. Acoust. Soc. Am.* 143 (3), 2018, EL206-211
- [15] C. S. Petersen, B. Søndergaard, Low frequency sound insulation (8-200Hz) – mapping and improvement of existing houses, BNAM 2018
- [16] E. Pedersen and P. Larsman, The impact of visual factors on noise annoyance among people living in the vicinity of wind turbines, *J. Env. Psych.*, 28, 2008, 379-389.
- [17] E. Pedersen and K. Persson Waye, Perception and annoyance due to wind turbine noise – a dose-response relationship, *J. Acoust. Soc. Am.*, 116(6), 2004, 3460-3470.
- [18] The Public Health Agency of Sweden, Socialstyrelsens allmänna råd om Buller inomhus, SOSFS 2005:6 (in Swedish), Socialstyrelsen's national guidelines, Stockholm 2005
- [19] J. Bass, M. Cand, M. Coles, R. Davis, G. Irvine, G. Leventhall, T. Levet, S. Miller, D. Sexton and J. Shelton, A Method for Rating Amplitude Modulation in Wind Turbine Noise, Institute of Acoustics, final report, Amplitude Modulation Working Group, 2016
- [20] Renewable UK. The Development of a Penalty Scheme for Amplitude Modulated Wind Farm Noise - Description and Justification, Renewable UK, Report 2013
- [21] A. Bullmore, M. Cand, S. Oerlemans, M.G. Smith, P. White, S. von Hünerbein, A. King, B. Piper, et al.. RenewableUK. Wind Turbine Amplitude Modulation: Research to Improve Understanding as to

its Cause and Effect. RenewableUK, United Kingdom, 2013. Online: [http://  
http://www.renewableuk.com/en/publications/reports.cfm/wind-turbine-amplitude-  
modulationwww.renewableuk.com](http://http://www.renewableuk.com/en/publications/reports.cfm/wind-turbine-amplitude-modulationwww.renewableuk.com).

- [22] G.P. Van den Berg, The beat is getting stronger: the effect of atmospheric stability on low frequency modulated sound of wind turbines, *J. Low Freq. Noise, Vibr. Active Noise Contr*, 24, 1, 2005
- [23] Bowdler D. Amplitude modulation of wind turbine noise, *Acoustics Bulletin of the Institute of Acoustics (UK)*, Vol. 33, No. 4, July/August 2008.
- [24] A. Moorhouse, M. Hayes, S. von Hünenbein, B. Piper, M. Adams, “Research into Aerodynamic Modulation of Wind Turbine Noise”, URN 07/1235, University of Salford and Department for Business, Enterprise & Regulatory Reform, UK 2007.
- [25] S. Lee, H. Kim, K. Kim and S. Lee, Perception of amplitude modulated noise from wind turbines, *ICSV*, 17, 2010.
- [26] Valeri V. Lenchine, Amplitude modulation in wind turbine noise, *Proc. Acoustics 2009*
- [27] H. A. Madsen, F. Bertagnolio and A. Fischer, An overview of recent research on AM and OAM of wind turbine noise. 6th Int’l Conf. Wind Turbine Noise, Glasgow, United Kingdom, 2015
- [28] A. Fukushima, K. Yamamoto, H. Uchida, S. Sueoka, T. Kobayashi and H. Tachibana, Study on the amplitude modulation of wind turbine noise: pt 1- Physical investigation, *Proc. Internoise 2013*.
- [29] S. Yamamoto, S. Sakamoto, and H. Tachibana, Study on the amplitude modulation of wind turbine noise: pt 2- Auditory experiments, *Proc. Internoise 2013*. J. Gabriel, S. Vogl, T. Neumann,

- G. Hübner, J. Pohl, Time series of amplitude modulation of wind farm noise at noise receptor locations, proc. EWEA 2014, Vol 2, 2014, 863
- [30] H. Hafke-Dys, A. Preis, T. Kaczmarek, A. Biniakowski, P. Kleka, Noise Annoyance Caused by Amplitude Modulated Sounds Resembling the Main Characteristics of Temporal Wind Turbine Noise Arch. Acoust., Vol. 41 (2), 2016, 221–232
- [31] R. Makarewicz and R. Gołębiewski, Amplitude Modulation of Wind Turbine Noise, SF J. Aviation Aeronautical Sci., Vol. 1 (1) 2018, <https://scienceforecastoa.com/Articles/SJAAS-V1-E1-1008.pdf>
- [32] R. Pieren, K. Heutschi, M. Müller, M. Manyoky, K. Eggenschwiler, Auralization of Wind Turbine Noise: Emission Synthesis, ACTA ACUSTICA Vol. 100, 2014, 25–33
- [33] P. Thorsson, K. Persson Waye, M. Ögren, M. Smith, E. Pedersen, J. Forssén, Creating sound immission mimicking real-life characteristics from a single wind turbine, Applied Acoustics, Vol 143, 2019, 66-73
- [34] 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), 2009, 634-643.
- [35] P. Bergman, The role of emotion in the interpretation of sounds, Licentiate thesis, Gothenburg, Sweden, 2011
- [36] P. Bergman, The role of embodied emotions in perceptual decisions and categorization of sounds, Doctoral thesis, Gothenburg, Sweden, 2013
- [37] E. Demidenko, Sample size determination for logistic regression revisited. *Statistics in Medicine*, 26(18), 2007, 3385–3397
- [38] C. Dormann, J. Elith, S. Bacher, C. Buchmann, G. Carl, G. Carré, ... S. Lautenbach, Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 36(1), 2013, 27–46
- [39] C. Eriksson, Ljudimmissionsberäkning av ljud från vindkraftverk (No. 584685) (p. 8). ÅF. 2013
- [40] Folkhälsomyndigheten, *Miljöhälsorapport 2017*. Stockholm, 2017
- [41] G\*Power. Version 3.1.9.2. 2014, Universität Kiel.
- [42] H. Hansson, Miljökonsekvensbeskrivning Jädraås vindkraftpark (bilaga 3). Ownpower Projects AB. 2013
- [43] IBM SPSS Statistics. (Version 24). Armonk, NY: IBM. 2016
- [44] G. Rasch, On general laws and the meaning of measurement in psychology. In Proceedings of the Fourth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, IV, 321–334. Berkeley, California: University of California Press. Available free from Project Euclid, 1961
- [45] L. R. Pendrill, “Assuring measurement quality in person-centred healthcare”, *Measurement Science & Technology*, Volume 29, Number 3, 034003 special issue Metrologie 2017, <https://doi.org/10.1088/1361-6501/aa9cd2>
- [46] E. Svensson, Guidelines To Statistical Evaluation Of Data From Rating Scales And Questionnaires. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 33(1), 47–48, 2001
- [47] R. W. Massof, Applications of stochastic measurement models to visual function rating scale questionnaires. *Ophthalmic Epidemiology*, 12, 2005, 1 – 22. doi: 10.1080/09286580590932789, <http://dx.doi.org/10.1080/09286580590932789>
- [48] W. P. Fisher, Physical disability construct convergence across instruments: Towards a universal metric. *Journal of Outcome Measurement*, 1(2), 87 – 113, 1997.
- [49] D. Andrich, A rating formulation for ordered response categories, *Psychometrika*, 43, 561-73, 1978.
- [50] G. N. Masters, A Rasch model for partial credit scoring. *Psychometrika*, 47, 149-174, 1982.
- [51] K E Roach 2006, “Measurement of Health Outcomes: Reliability, Validity and Responsiveness”. *Journal of Prosthetics and Orthotics*, 18(6), P8-P12

- [52] Linacre, J. M. (2002). Optimizing Rating Scale Category Effectiveness. *Journal of Applied Measurement*, 3(1), 85-106
- [53] International Standards Organization (ISO), Acoustics-Assessment of noise annoyance by means of social and socioacoustic surveys. ISO/TS 15666:2003 (E), ISO, Geneva, Switzerland.
- [54] International Standards Organization (ISO), Acoustics — Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements, ISO 7196:1995(en), ISO, Geneva, Switzerland.
- [55] International Electrotechnical Commission (IEC), Electroacoustics - Sound level meters - Part 1: Specifications, IEC 61672-1:2013, IEC, Geneva, Switzerland, 2013.
- [56] P. King, Assessment of the Acoustic Impact of the Proposed Ytterberg Wind Farm (No. 01906-00349). RES-group, 2008
- [57] SFS (2009:400) 24 kap. 8 § Offentlighets- och sekretesslagen. Svensk författningssamling
- [58] R. Bakker, E. Pedersen, G. van den Berg, R. Stewart, W. Lok, J. Bouma, Impact of wind turbine sound on annoyance, self-reported sleep disturbance and psychological distress, *Science of the Total Environment* 425, 2012, 42–51

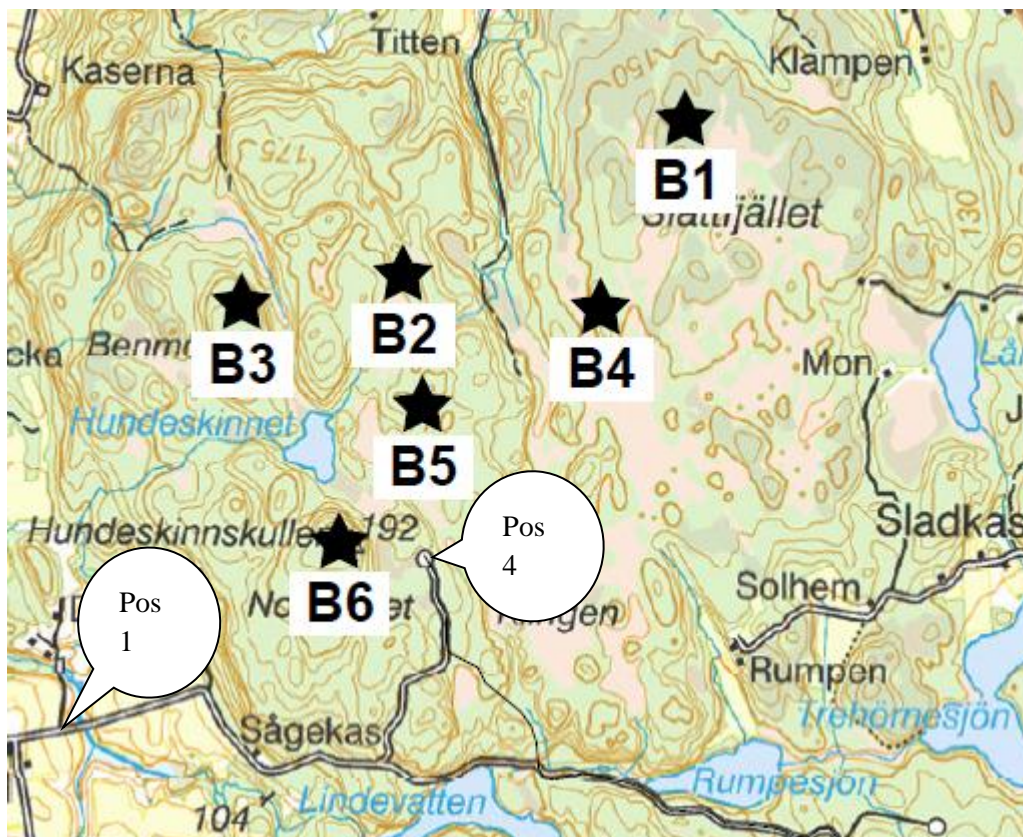
# 11. Appendix

## 11.1. Översikt av vindturbiner som ingick i undersökningen

<b>park</b>	<b>nära</b>	<b>antal</b>	<b>totalhöjd</b>	<b>rotor-diameter</b>	<b>navhöjd</b>	<b>effekt/vkv</b>	<b>tillverkare</b>	<b>modell</b>
Jädraås	Ockelbo	66	175 m	112m	119m	3 MW	Vestas	V112
Karsholm	Kristianstad	5	126m	92m	80m	2MW	Repower	MM92
Ytterberg	Malå	22		90	105	2	Vestas	V90
Brattön	Munkedals kommun	6		90	100	2,5 MW	Nordex	N90
Skaveröd/ Gurseröd	Tanums kommun	11	175 m	112m	119m	3 MW	Vestas	V112
Årjäng Nordväst	Årjäng kommun	9	175 m	112m	119m	3 MW	Vestas	V112
Möckelsjö- berget	Härnösand	5	125m 150m	90	100	2,5 MW	Nordex	N90

## 11.2. Beskrivning av mätpositioner

### 11.2.1. Brattön



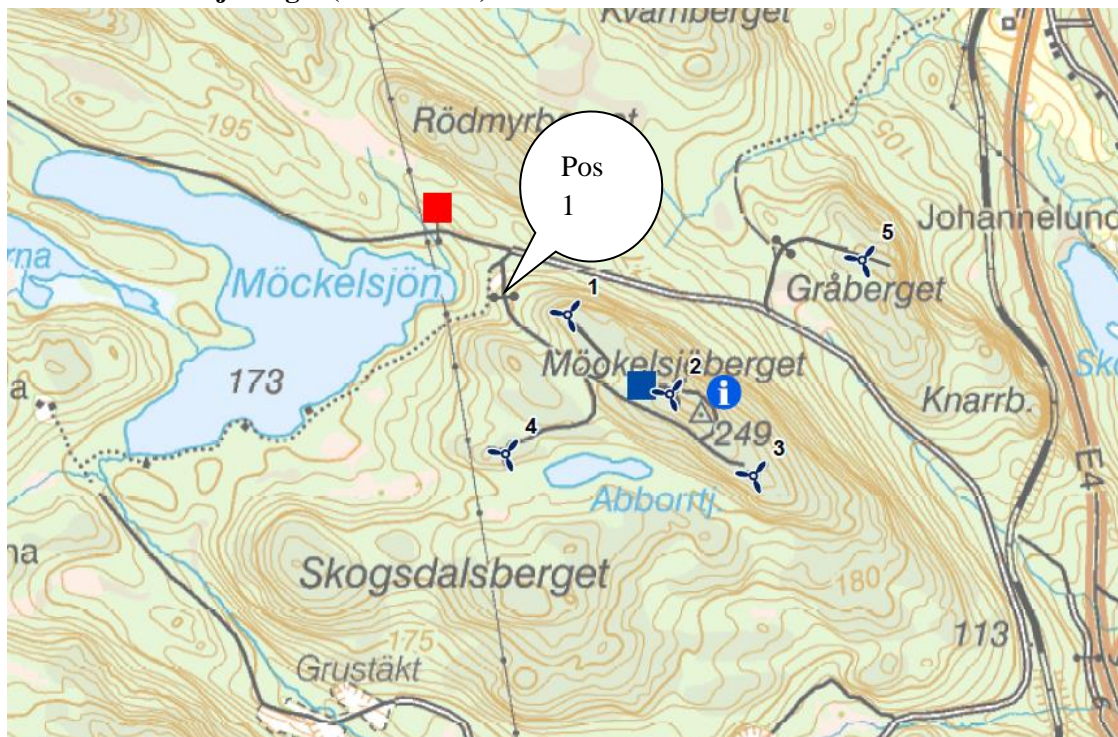
#### *Position 1*

Öppet landskap, fält. 980m SV om turbin B6. Vindhastighet 6 – 14 m/s vid nav och 6 - 8 m/s vid mottagarpunkt (4m o. m.). Vindriktning, troligtvis SV (uppvinds).

#### *Position 4*

Skogsglänta. 270m Ö om turbin B6. Vindhastighet 12 – 14 m/s vid nav och 2-4 m/s vid mottagarpunkt. Vindriktning SV (nedvinds).

### 11.2.2. Möckelsjöberget (Härnösand)



#### *Position 1*

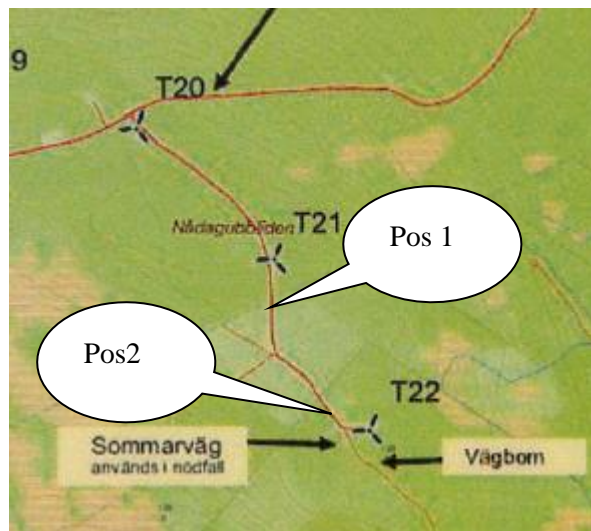
Djup position med skog mellan närmaste turbin och mottagare. 255m V om turbin 1.

Vindriktning SÖ (nedvinds). Vindhastighet 2 – 3 m/s vid nav och 0 - 2 m/s vid mottagarpunkt.



Figur 17 Bild från inspelningsplats, med vindturbinen halvt skynd bakom björken i övre mitt. Läget utmärktes av den kuperade och tysta omgivningen.

### 11.2.3. Malå



#### *Position 1*

Djup position med skog mellan närmaste turbin och mottagare, snöbeklätt underlag. 210m S om verk T21. Vindriktning S (uppvinds). Vindhastighet vid mätning 8 – 10 m/s vid nav.

#### *Position 2*

Öppen terräng med snöbeklätt underlag. 155m NV om verk T22. Vindriktning S (nedvinds). Vindhastighet 7 – 10 m/s vid nav.



Figur 18 Bild från inspelningsplats, Omgivningen karakteriserades av den kalla och snöklädda omgivningen.



## 11.3. Testlayouter

### 11.3.1. Parvis jämförelse


En skärmdump av frågorna som ställdes för varje parvisa jämförelse visas i Figur 19.


Skärm 3/31

Instruktion:

- Lyssna på ljudexemplen med början uppfifrån.
- Du kan pausa och växla ljudexempel, men spela inte upp dem samtidigt
- Svara på frågan
- Om du inte upplever någon skillnad, välj alternativet "Lika".

Klicka på knapparna för att spela ljuden:

 786

 179

Vilket ljudexempel upplever du som MEST störande?

Lika

786

179

[Nästa](#)

Figur 19 Skärmdump från testet parvis jämförelse

### 11.3.2. Semantisk differential

En skärmdump av frågorna som ställdes för varje lyssningsfil i semantisk differential-testet visas i Figur 20. Dessutom redovisas frågorna som de var systematiserade i datainsamlingsprogrammet Eyequestion i

Skärm 3/11

Tryck på knappen för att spela ljudet:

Nedan följer ett antal frågor. För varje fråga markera på skalan hur du upplever ljudet:  
Hur stressande/avslappnande upplever du ljudet? Vänligen markera i skalan nedan.

Mycket avslappnande										Mycket stressande
---------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------------

Hur positivt/negativt upplever du ljudet? Vänligen markera nedan.

Mycket positivt										Mycket negativt
-----------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----------------

Tänk dig in i att du lyssnar på detta ljud på en uteplats. Hur skulle dina möjligheter för avkoppling vara?

Mycket goda möjligheter  
 Goda möjligheter  
 Vare sig goda eller dåliga  
 Dåliga möjligheter  
 Mycket dåliga möjligheter

Hur mycket anser du att ljudet fluktuerar? Vänligen markera nedan.

Inte alls										Väldigt mycket
-----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----------------

Hur dovt är ljudet? Vänligen markera nedan.

Inte alls										Väldigt dovt
-----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------------

Hör du toner i ljudet? Vänligen markera nedan.

Nej, inga										Ja, väldigt mycket
-----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------------------

Hur starkt är ljudet? Vänligen markera nedan.

Väldigt svagt										Väldigt starkt
---------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----------------

[Nästa](#)

Figur 20 Skärmdump från semantisk differential-testet

Tabell 11 Frågetexter i testet semantisk differential

---

**För respektive fråga: Kategori (aspect) –frågor – svarsalternativ**

---

Question 3 (AROUSAL) (Q6)

**Hur stressande/avslappnande upplever du ljudet? Vänligen markera i skalan nedan.**

Mycket avslappnande - Mycket stressande

Question 4 (Valence) (Q7)

**Hur positivt/negativt upplever du ljudet? Vänligen markera nedan.**

Mycket positivt - Mycket negativt

Question 5 (RESTORATION) (Q8)

**Tänk dig in i att du lyssnar på detta ljud på en uteplats. Hur skulle dina möjligheter för avkoppling vara?**

Mycket goda möjligheter - Goda möjligheter - Vare sig goda eller dåliga - Dåliga möjligheter - Mycket dåliga möjligheter

Question 6 (FLUCTUATION) (Q9)

**Hur mycket anser du att ljudet fluktuerar? Vänligen markera nedan.**

Inte alls - Väldigt mycket

Question 7 (BASSINESS) (Q10)

**Hur dovt är ljudet? Vänligen markera nedan.**

Inte alls - Väldigt dovt

---

---

Question 8 (TONALITET) (Q11)

**Hör du toner i ljudet? Vänligen markera nedan.**

Nej, inga - Ja, väldigt mycket

Question 9 (LOUDNESS) (Q12)

**Hur starkt är ljudet? Vänligen markera nedan.**

Väldigt svagt - Väldigt starkt

---

### 11.3.3. Enkät

Nedan visas försättsblad och några exempelsidor från enkäten i AP3. Hela enkäten finns i en separat bilaga.

[Efternamn], [Förnamn]

[Adress]

[Postnummer] [Stad]



#### Upplevelser av buller från vindkraftverk

Du har blivit utvald att delta i en studie om upplevelser av vindkraftverk. Studien finansieras av Energimyndigheten och organiseras av Naturvårdsverket under kunskapsprogrammet Vindval. Studien genomförs av forskare på Uppsala universitet och Kungliga tekniska högskolan. Syftet är att öka förståelsen kring när störning från vindkraftsljud uppkommer samt vilka faktorer som påverkar störningen. Undersökningen består av två enkäter. I den första du ombeds via internet logga in med uppgifterna nedan och besvara frågor kring dina upplevelser av olika faktorer som berör den vindkraftspark som ligger närmast utskicksadressen samt allmänna frågor om dig och ditt boende. Deltagande i den andra enkäten innebär att du fem gånger dagligen under tio dagar svarar på en fråga om störning från vindkraftsbuller samt och en gång per dag svara på en fråga om din sömnkvalité. Svaren sker via mobiltelefon eller en pappersdagbok. Du kan välja att delta enbart fylla i den första enkäten, eller så kan du dessutom delta i den dagliga enkäten.

Om du väljer att delta i den dagliga enkäten utgår en engångsersättning om 700 SEK. På detta belopp görs ett skatteavdrag på 30 procent (1). För att kunna delta i den dagliga enkäten behöver du ha en så kallad smart-phone mobil av Android eller av I-phone (Apple) modell, med internetuppkoppling. Om du vill delta i den dagliga enkäten anger du din mejladress i slutet på bakgrundsenkäten.

#### Alla svar är viktiga

Din medverkan i studien är helt frivillig och du kan när som helst avbryta ditt deltagande. Ditt svar är dock viktigt för att undersökningen skall bli rättvisande och ditt svar kan inte ersättas med en annan deltagares. Svaret ger en bild av din unika upplevelse av vindkraftsbuller. Vi ber dig därför också svara på samtliga frågor som ingår i enkäten. Det är också viktigt att du svarar ärligt och efter hur du själv känner, det är ingen annan än du själv som vet hur du upplever situationen.

#### Dina svar är skyddade

Dina uppgifter skyddas enligt 24 kap. 8 § i offentlighets- och sekretesslagen (2009:400) samt i personuppgiftslagen (1998:204). Det innebär att alla som arbetar med undersökningen har tystnadsplikt och att de insamlade uppgifterna endast redovisas i tabeller och grafer där ingen enskild deltagares svar kan utläsas. De uppgifter som behövs för att kontrollera vilka deltagare som svarat och inte svarat hålls åtskilda från enkätsvaren. Dina enkätsvar kommer kompletteras med bullervärden från akustiska och meteorologiska ljudutbredningsmodeller.

personuppgiftsansvarig (se nedan).

**Resultat**

Studiens resultat kommer att redovisas i vetenskapliga publikationer, samt i en rapport som publiceras på Vindvals hemsida (<http://www.naturvardsverket.se/vindval>).

Med vänliga hälsningar

Jesper Alvarsson, Personuppgiftsansvarig, F.D., Uppsala Universitet/Södertörns Högskola.

Anna Sjöblom, Projektledare, Professor, F.D., Uppsala Universitet

*Kontaktuppgifter personuppgiftsansvarig: [jesper.alvarsson@sh.se](mailto:jesper.alvarsson@sh.se), Telefon: +4686084789*

*(1) Enligt svensk skattelagstiftning, vid utbetalning av belopp understigande 1000 SEK från en och samma organisation, görs en återföring av den dragna skatten i samband med beräkning av slutlig skatt.*

---

**Så här fyller du i enkäten**

Nedan ser du hur du markerar svarsalternativ samt hur du avmarkerar ett redan gjort val.

- Korrekt markerat svarsalternativ
- Inkorrekt markerat svarsalternativ, krysset ska vara mitt i rutan
- Inkorrekt markerat svarsalternativ, krysset är alltför kraftigt
- Ångrat val, svarsalternativet räknas inte som markerat



000005C9035V

---

**Frågor om upplevelser kring ljudet från vindkraftverk**

---

**11. Om du tänker på de senaste 12 månaderna, i eller i närheten av din bostad - hur mycket störs eller besväras du av buller eller andra ljud från...**

	Inte alls	Lite	Måttligt	Mycket	Väldigt mycket
... vindkraftverk	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... grannar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... vägtrafik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... tågtrafik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... flygtrafik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... industrier	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
...ventilation och fläktar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... byggarbetsplats, vägarbete eller liknande	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... gatustädning, sophämtning och snöröjning	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... annat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**12. Om du tänker på de senaste 12 månaderna, i eller i närheten av din bostad. Hur mycket har du störs eller besväras av ... från vindkraftverken närmast din bostad?**

	Inte alls	Lite	Måttligt	Mycket	Väldigt mycket
... lågfrekvent (brummande) ljud...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... vibrationer eller skakningar i bostaden...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

---



000005C909SV

**30. Ange ungefär hur stor den ekonomiska ersättningen är till dig i svenska kronor, under ett års tid.**

Kommentar

**31. Har vindkraftsparken någon ekonomisk fond man kan söka pengar i?**

Ja

Nej

**32. Har du eller någon du känner sökt medel från den ekonomiska fonden?**

Ja

Nej

**33. Upplevde du det som lätt att få medel från fonden?**

Ja

Nej

**34. Kommer du att söka medel från fonden igen?**

Ja

Nej

**35. Varför kommer du inte söka medel ifrån den ekonomiska fonden igen?**

Det gav för lite pengar

Det var för krångligt

Det finns inga medel kvar

Annat

Om annat specificera: