

Uppdrag:
10-25321, PM 01
Datum:
2026-04-30
Upprättad av:
Paul Appelqvist
E-post:
info@akustikkonsulten.se
Beställare:
Green Power Sweden
Genom:
Ylva Tengblad



Akustikkonsulten



Infraljud från vindkraftverk – Kunskapsunderlag för bedömning

Akustikkonsulten i Sverige AB

Handläggare
Paul Appelqvist

Intern kvalitetsgranskare
Jens Fredriksson

Akustikverkstan Lab AB

Extern kvalitetsgranskare
Pontus Thorsson

Sammanfattning

Detta PM har tagits fram av Akustikkonsulten och Akustikverkstan på uppdrag av Green Power Sweden i syfte att ge ett sakligt och kunskapsbaserat underlag om infraljud från vindkraftverk. Bakgrunden är den återkommande debatten om huruvida infraljud från vindkraft kan innebära risk för negativ hälsopåverkan och om det därför finns behov av särskild reglering. Frågan är inte ny, utan har varit föremål för diskussion och forskning under åtminstone de senaste 20 åren, både i Sverige och internationellt.

Infraljud definieras som ljud med frekvenser under 20 Hz och alstras av vindkraftverk, liksom av många andra bullerkällor i samhället. Den centrala frågeställningen är inte om infraljud från vindkraftverk förekommer, utan om de nivåer som kan uppstå vid bostäder når sådan magnitud att de kan ge upphov till negativ hälsopåverkan.

En genomgång av ett antal nationella och internationella forskningsstudier och syntesrapporter visar sammantaget att infraljudsnivåerna från vindkraftverk vid bostäder normalt ligger klart under människans hörtröskel. I huvuddelen av dessa studier dras därför slutsatsen att det inte finns en risk för negativa hälsoeffekter kopplat till infraljud från vindkraftverk. Enstaka studier har identifierat förändringar i vissa neurofysiologiska mått vid exponering nära eller under hörtröskeln. Dessa resultat bygger dock på begränsade försöksgrupper och kan därför inte tolkas som stöd för faktisk eller långvarig hälsopåverkan.

Mot bakgrund av ovanstående finns det inga rekommenderade riktvärden för infraljud från vindkraftverk i Naturvårdsverkets vägledning om ljud från vindkraftverk. Inte heller tillståndsgivande myndigheter har bedömt att särskild reglering av infraljud är motiverad, vilket även återspeglas i etablerad rättspraxis.

PM:et innehåller bland annat en genomgång och kommentarer av en nyligen publicerad studie från Uppsala universitet, publicerad i den vetenskapliga tidskriften *Applied Acoustics*. Studien redovisar högre uppmätta infraljudsnivåer än vad som rapporterats i flera tidigare studier, men nivåerna ligger fortsatt under hörtröskeln. Studien innehåller inga undersökningar av störning eller hälsoeffekter och kan därför i sig inte visa att infraljud från vindkraftverk medför risk för negativ hälsopåverkan hos människor.

I PM:et identifieras även ett antal osäkerheter kopplade till mätningar, kalibrering, vindpåverkan och validering av ljudutbredningsmodellen i Uppsala universitets studie. Vidare bedöms de härledda ljudeffektnivåer som redovisas i studien, uttryckta som akustisk effekt, vara höga i relation till etablerad kunskap om vindkraftverks energibalans, vilket motiverar försiktighet vid tolkning av de redovisade nivåerna.

Sammantaget visar genomgången i PM att det i dagsläget inte finns vetenskapliga belägg för att infraljud från vindkraftverk, vid de nivåer som enligt dagens kunskapsläge förekommer vid bostäder, innebär risk för negativ hälsopåverkan. De forskningsresultat som åberopas i debatten bör därför tolkas i sitt sammanhang och med beaktande av metodbegränsningar och osäkerheter, särskilt när de används som underlag för långtgående slutsatser om behov av ny eller förändrad reglering eller om behov av ytterligare hälsorelaterad forskning.

1 Inledning

Ljud från vindkraftverk är ett omdebatterat ämne i Sverige. En fråga som ofta kommer upp i tillståndsprövningar av vindparker är infraljud från vindkraftverk. Den huvudsakliga frågeställningen handlar inte om huruvida vindkraftverk alstrar infraljud, vilket är välkänt sedan länge, utan om de infraljudsnivåer som kan uppstå vid bostäder i omgivningen kan ha en sådan påverkan på boende att det innebär en hälsorisk. Om så är fallet krävs det särskild reglering av infraljud i villkor, eller annan begränsning, vid utbyggnad av vindkraft?

Infraljud är ljud vid mycket låga frekvenser, under 20 Hz, som normalt inte är hörbart för människor. I nuläget (2026) finns det inte några rekommenderade eller vedertagna riktvärden för infraljud från vindkraftverk eller andra verksamheter i samhället. Infraljud från vindkraftverk och dess påverkan har dock aktualiserats i olika studier och sammanhang åtminstone de senaste 20 åren, både nationellt och internationellt. Flera studier har även tittat på hälsorelaterade faktorer och störningar kopplade till infraljud, både avseende infraljud från vindkraft och från andra bullerkällor.

Naturvårdsverket utförde en syntesstudie¹ 2011 som utredde och sammanställde befintliga forskningsresultat rörande lågfrekvent ljud och infraljud från vindkraft (1). Sedan dess har det tillkommit ytterligare forskning om infraljud. Det gäller bland annat en ny forskningsstudie utförd vid Uppsala universitet, publicerad i en artikel i den vetenskapliga tidskriften *"Applied Acoustics"* (2). Denna studie är aktuell i debatten om infraljud, då artikelförfattarna indikerar att infraljud från vindkraft kan ge upphov till hälsopåverkan på människor.

Branschorganisationen Green Power Sweden har därför identifierat ett behov av ett kunskapsunderlag som stöd till medlemsbolagen vid bemötande av frågor kring infraljud. Akustikkonsulten i Sverige AB ("Akustikkonsulten") har fått i uppdrag, av Green Power Sweden, att ta fram ett sådant underlag, vilket redovisas i föreliggande PM. PM:et har därutöver granskats externt av Akustikverkstan Lab AB ("Akustikverkstan"), genom Pontus Thorsson. Akustikverkstan har även kommit med synpunkter och textförslag i vissa delar.

Akustikkonsulten och Akustikverkstan har tillsammans över 40 års samlad erfarenhet av att utreda ljud från vindkraftverk. Konsultuppdragen rör allt från ljudberäkningar till efterföljande ljudmätningar av hundratals vindparker i Norden. Bolagen är också, oss veterligen, de enda konsultbolag i Sverige som är ackrediterade av Swedac för mätning av ljudemission (ljudeffektnivå) från vindkraftverk, enligt den internationella mätmetoden IEC 61400-11 (3).

Upplägget för PM:et är först en genomgång av hur infraljud från vindkraftverk bedöms och regleras i Sverige idag (avsnitt 4), därefter görs en övergripande redovisning av forskningsläget med fokus på studier utförda på internationell nivå (avsnitt 5) och slutligen görs en genomgång och kommentering av den nya forskningsstudien utförd vid

¹ En syntesstudie är en utredning som sammanfattar resultat från tidigare utförd forskning.

Uppsala universitet (avsnitt 6). Syftet är att ge en kompletterande och förtydligande bild av studiens resultat och begränsningar.

2 Övergripande slutsatser

2.1 Generellt om infraljud från vindkraftverk

- Det finns inga rekommenderade riktvärden på infraljud från vindkraftverk i Sverige idag (2026). Varken i Naturvårdsverkets vägledning från 2020 eller i den uppdaterade rapport om stora vindkraftverk, som publicerades av Naturvårdsverket våren 2025.
- Inte heller svenska miljödomstolar har till idag (2026) valt att reglera infraljud från vindkraftverk i miljötillstånd för vindparker. Detta trots att det historiskt har varit en fråga i ett flertal tillståndsprövningar.
- Huvudanledningen till att Naturvårdsverket inte rekommenderar några riktvärden på infraljud eller att miljödomstolar valt att inte reglera infraljud i miljötillstånd är att det, i forskningen, inte har visat sig finnas entydiga vetenskapliga belägg (evidens) på att infraljud från vindkraftverk skulle ge upphov till kända negativa hälsoeffekter.
- Den främsta orsaken till denna bedömning är att infraljud från vindkraftverk, i ett flertal internationella studier, har visat sig ligga klart under människans hörtröskel. Det finns en bred samsyn inom forskningen att infraljudsnivåer klart under hörtröskeln inte ger upphov till negativa hälsoeffekter.
- Enstaka studier har dock visat på förändringar i funktionell hjärnaktivitet (uttryckt i olika neurofysiologiska mått) vid exponering för infraljud, både nära och under hörtröskeln. Till följd av att dessa studier är få och bygger på små försöksgrupper går det dock inte att dra några säkra eller generella slutsatser, vilket även betonas i studiernas slutsatser. Det är även viktigt att hålla isär förändringar i funktionell hjärnaktivitet och reell hälsopåverkan.
- Det finns även psykologiska studier som visar att en uppbyggd förväntan på symtom i praktiken kan orsaka reella symtom, som inte har direkt koppling till den faktiska exponeringen av infraljud. De uppgifter om negativ påverkan från infraljud, som förs fram i debatten, kan där i sig innebära en faktisk risk för negativ påverkan hos människor som exponeras för ljud från vindkraftverk.

2.2 Uppsala universitets forskningsstudie

- Studien visar på högre uppmätta infraljudsnivåer från vindkraftverk än vad som uppmätts i andra studier, till exempel en finsk studie från år 2020 där långtidsmätningar av infraljud utförts kring flera vindparker. De uppmätta infraljudsnivåerna vid 1 Hz, i Uppsala universitets studie, är dock under hörtröskeln.
- Den egna forskningen presenterar inte några entydiga vetenskapliga belägg för att infraljud från vindkraftverk ger upphov till negativ hälsopåverkan hos människor. Huvudsakliga argument för att det kan föreligga risk för negativ hälsopåverkan baseras på tolkningar av andra studier.
- De refererade studier som används som argument för hälsopåverkan från infraljud stödjer i huvudsak resonemanget i artikeln, medan studier med

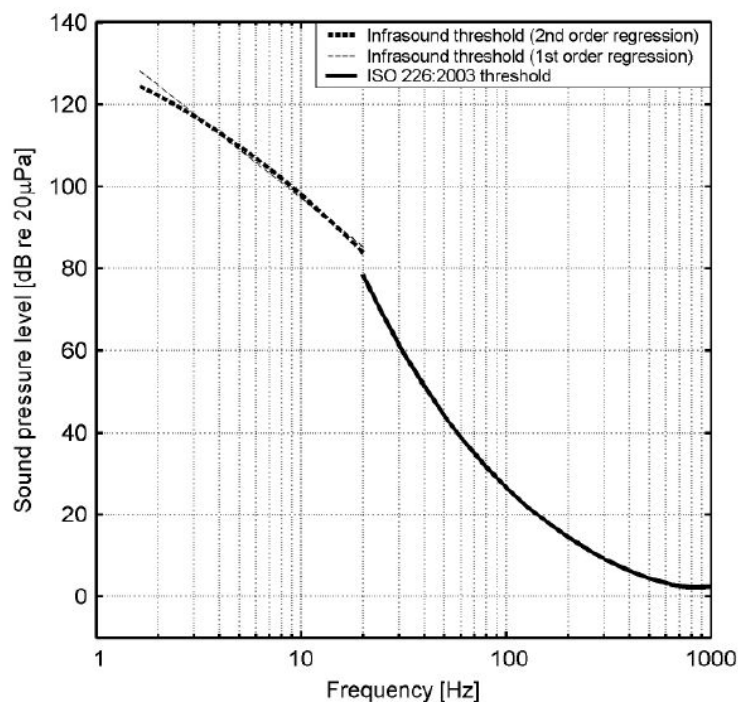
avvikande resultat behandlas i mer begränsad omfattning. Detta kan påverka hur det samlade forskningsläget framstår i studien. Denna bild återkommer även i hur resultaten har presenterats i andra sammanhang, såsom i media och föreläsningar.

- Det finns osäkerheter kopplade till både metodik, mätningar och resultat, bland annat avseende kalibrering av mätutrustning, vindens påverkan, beräkningsmodellens validering, antaganden om vindkraftverkens ljudeffektnivå, mätperiodernas längd samt utelämnade resultat från mätpunkter i studien.
- En tydligare och mer systematisk genomgång av osäkerheter, kompletterad med en känslighetsanalys, skulle ge bättre förutsättningar att bedöma resultaten och deras osäkerheter.

3 Allmänt om ljud och infraljud

Infraljud definieras normalt som ljud med frekvenser under 20 Hz, vilket ibland blandas ihop med lågfrekvent ljud som är ljud mellan 20 och 200 Hz. Ljud från vindkraftverk innehåller, precis som många andra bullerkällor i samhället som industrier och trafik, både infraljud och lågfrekvent ljud. Därutöver innehåller ljud från vindkraftverk även ljud vid högre frekvenser. Det huvudsakliga ljudbidraget från vindkraftverk, som kan uppfattas av människans hörsel vid de avstånd från vindkraftverk där Naturvårdsverkets riktvärden klaras vid bostad, är ett bredbandigt ljud från kring 200 Hz till 1 000 Hz. Detta ljud ger bidrag till den A-vägda ekvivalenta ljudnivån, som brukar förknippas med ett "svischande ljud".

När det gäller infraljud krävs höga ljudnivåer för att människor ska kunna uppfatta det som hörbart ljud. Det finns många studier som har undersökt när infraljud kan börja uppfattas som hörbart, ofta kallat hörtröskeln. En studie som ofta refereras i studier om infraljud är en dansk studie, "*Hearing at Low and Infrasonic Frequencies*" (4), där det presenteras ett förslag på hörtrösklar för infraljud. Den föreslagna hörtröskelkurvan redovisas i Figur 1. Den stämmer väl överens med hörtrösklar redovisade i andra studier om infraljud. Det är hörtröskelkurvan som benämns "2nd order regression" som föreslås. Notera att denna hörtröskelkurva motsvarar ett medelvärde över ett stort antal personer. Enligt Naturvårdsverkets syntesstudie uppskattas att cirka 2 procent av befolkningen har hörtrösklar 10–12 dB under genomsnittet (1).

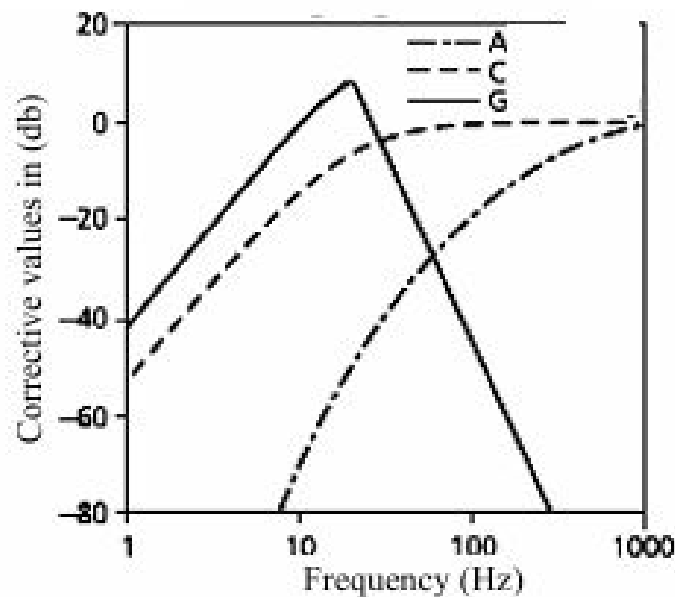


Figur 1. Hörtröskelkurva för infraljud enligt den danska studien "Hearing at Low and Infrasonic Frequencies" (4).

Det anges i studien att data under 5 Hz är något osäkra, men att hörtrösklarna är korrekta inom några decibel för flertalet av de angivna frekvenserna. Av den föreslagna hörtröskelkurvan framgår till exempel att hörtröskeln vid 2 Hz är över 120 dB. Generellt ligger denna hörtröskelkurva över de infraljudsnivåer som har uppmätts i många studier om infraljud från vindkraftverk.

Ett annat sätt att presentera infraljud är med så kallad G-vägning (frekvensvägning). G-vägningen är utformad, på liknande sätt som A- eller C-vägning, för att sätta ett värde på subjektivt upplevd ljudstyrka. G-vägningen bygger på lyssningsförsök, och G-vägda värden anger därmed upplevd ljudstyrka i infraljudsområdet. Denna frekvensvägning används även för en del riktvärden eller exponeringsvärden på infraljud, bland annat i Danmark där man tillämpar ett riktvärde på 85 dB(G) för infraljud inomhus i bostadshus (5). Det anges att detta värde är 10 dB under hörtröskeln, för att även väga in individuell spridning mellan olika personer (6).

Skillnaden mellan olika frekvensvägningar, A-, C- och G-vägning, redovisas i Figur 2. A-vägning dämpar låga frekvenser relativt mycket och används ofta för riktvärden på samhällsbuller. C-vägning dämpar låga frekvenserna mindre än A-vägning och en stor skillnad (≥ 15 dB) mellan A-vägd och C-vägd ljudnivå indikerar att ett ljud innehåller mycket lågfrekvent ljud. G-vägning är specifikt avsett för vägning och presentation av infraljud mellan 1–20 Hz.



Figur 2. Illustration av olika frekvensvägningar (A-, C- och G-vägning) (7).

Symtom som ofta nämns när det gäller hälsopåverkan av infraljud från vindkraftverk listas nedan:

- Hjärt- och kärlpåverkan vid långvarig exponering av infraljud.
- Högt blodtryck.
- Påverkan på innerörat och balansorganet som bland annat kan ge upphov till yrsel och illamående.
- Neurologiska effekter och migrän.
- Sömnstörningar och psykisk ohälsa.

Som kommer att diskuteras i nästföljande avsnitt saknas dock entydiga vetenskapliga belägg för att infraljudsnivåerna från vindkraftverk är tillräckligt höga för att kunna framkalla de symtom som beskrivs ovan.

4 Hur bedöms ljud från vindkraftverk i Sverige?

4.1 Bedömning och riktvärden för hörbart ljud från vindkraftverk²

I Naturvårdsverkets vägledning "Vägledning om buller från vindkraftverk" (2020-12-01) (8) finns det rekommenderade riktvärden för både ekvivalent ljudnivå utomhus vid bostäder (40 dBA) liksom lågfrekvent ljud, mellan 31,5–200 Hz, inomhus i bostadsrum. För lågfrekvent ljud inomhus rekommenderar Naturvårdsverket att riktvärden enligt "Folkhälsomyndighetens allmänna råd om buller inomhus" (FoHMFS 2014:13) (9) ska tillämpas för nya tillstånd. Riktvärdet utomhus (40 dBA) är ett störningsbaserat riktvärde, baserat på kända dos-respons (orsak-verkan) samband, medan riktvärdena på lågfrekvent

² Med hörbart ljud avses i detta sammanhang ekvivalent ljudnivå i dBA och lågfrekvent ljud mellan 31,5–200 Hz. Om riktvärden på lågfrekvent ljud klaras är det dock troligt en väldigt låg ljudnivå från vindkraftverk inomhus, då riktvärdena för de flesta frekvenserna ligger under människans hörsel.

Ljud inomhus är hälsobaserat och kan användas för att bedöma om "olägenhet för människors hälsa föreligger" (9).

4.2 Bedömning av infraljud från vindkraftverk i Sverige

För infraljud från vindkraftverk anges inga rekommenderade riktvärden i Naturvårdsverkets vägledning (8). Inte heller i den uppdaterade rapport om stora vindkraftverk "Ljud från stora vindkraftverk" (10), som publicerades av Naturvårdsverket våren 2025, anges riktvärden för infraljud. Avsaknaden av riktvärden motiveras i (10):

"På de avstånd som krävs mellan vindkraftverk och bostäder i Sverige är nivån av infraljud från vindkraftverk betydligt lägre³ och det finns enligt Naturvårdsverkets bedömning ingen evidens för påverkan på människor orsakat av infraljud från vindkraftverk."

Denna bedömning grundar sig i bland annat fyra referenser som det hänvisas till i rapporten. En av referenserna är Vindval syntesstudie "Vindkraftens påverkan på människors intressen" (Rapport 7013) (11). Detta är en revidering och utökning av tidigare syntesstudie som publicerades 2012. I avsnitt "3. Hälsa och ohälsa", baseras revideringen på en litteraturgenomgång under perioden januari 2020 till januari 2021. Om påverkan kopplat till infraljud nämns i slutsatserna att:

"Påståenden om att vindkraft medför risk för "vibroakustisk sjukdom", "vindkraftssyndrom" och skadlig infraljudspåverkan på innerörat saknar belägg. I studier av trafikbuller har samband kunnat påvisas mellan exponering för trafikbuller och risk för hjärt-kärlsjukdom."

Den sista meningen är viktig att beakta när det gäller behov av reglering av buller i samhället, att det ska finnas evidens som kopplar exponering av buller med risker (störning eller negativ hälsopåverkan). Det är denna relation (orsak-verkan) som Naturvårdsverket, baserat på forskning utförd både i Sverige och internationellt, menar inte finns när det gäller infraljud från vindkraftverk.

När det gäller reglering av ljud från vindkraftverk är det den tillståndsgivande myndigheten, och inte expertmyndigheter som Naturvårdsverket, som beslutar hur reglering ska anges i villkor. Den tillståndsgivande myndighetens bedömning av buller baseras dock normalt på expertmyndigheternas allmänna råd, vägledningar eller andra rekommendationer samt vägledande domar från Mark- och miljööverdomstolen ("MÖD") så kallad "rättspraxis". Ett bra exempel på det är riktvärdet utomhus vid bostäder, ekvivalent ljudnivå 40 dBA. Infraljud från vindkraftverk har historiskt varit en fråga som har beaktats och bedömts i många tillståndsprövningar. Fram till idag har dock ingen prövande myndighet ansett att reglering av infraljud från vindkraftverk behövs.

Ett exempel där infraljud har bedömts är MÖD avgörande i mål M 4293-18 (2019-05-09) (12). I domen framgår att ett flertal parter i målet yrkat på reglering av infraljud, bland annat genom skyddsavstånd till den sökta vindparken. Som stöd har man anfört ett antal studier inom ämnet, som hävdas visa på hälsorisker. MÖD bedömde dock att det inte finns skäl att föreskriva villkor om infraljud rörande skyddsavstånd till bostad eller bullervillkor. Det får därför anses råda konsensus hos svenska expert- och prövande myndigheter, att

³ Betydligt lägre än "hörtröskeln".

infraljud från vindkraftverk inte ska regleras i nuläget (praxis). Det kan även noteras att det inte heller finns riktvärden på infraljud från andra bullerkällor i samhället.

5 Vad säger forskningen?

Detta avsnitt innehåller en genomgång av ett urval av de forsknings- och syntesstudier som ofta refereras till i debatten om infraljud från vindkraftverk. Urvalet är inte avsett att vara heltäckande, utan fokuserar på studier som haft betydelse för diskussionen om eventuell hälsopåverkan och behovet av reglering av infraljud.

5.1 Forskningsläget historiskt

Som nämndes i inledningen (avsnitt 1) är den huvudsakliga frågeställningen inte om vindkraftverk alstrar infraljud, utan om de infraljudsnivåer som kan uppkomma kring vindparker riskerar att ge en reell negativ påverkan på människor som bor i omgivningen. Om så är fallet krävs då en särskild reglering i villkor, eller annan begränsning? Finns det behov av vidare forskning?

Frågan om infraljud från vindkraftverk skulle kunna ge upphov till negativa hälsoeffekter har, som nämnts, aktualiserats i olika forskningsstudier och sammanhang under många år. Här kan till exempel nämnas det så kallade "Vindkraftsyndromet" (Wind Turbine Syndrome) som presenterades av Nina Pierpoint 2009 (13), där infraljud (och lågfrekvent ljud) från vindkraftverk kopplades till fysiologiska symtom på människor som bodde nära vindparker. Slutsatserna i den studien har dock inte kunnat bekräftas av senare utförda studier och den har även motsatts av ett antal forskare genom åren. Studien används dock ofta som ett argument av de som vill se en reglering av infraljud från vindparker. När studien kom gav den även upphov till en debatt i Sverige kring eventuell negativ påverkan från infraljud och lågfrekvent ljud. Det är troligtvis en anledning till att Naturvårdsverket 2011 finansierade den tidigare nämnda syntesstudien om infraljud och lågfrekvent ljud, "Kunskapssammanställning om infra- och lågfrekvent ljud från vindkraftsanläggningar: Exponering och hälsoeffekter" (1). I inledningen av studiens slutrapport nämns den pågående polariserade debatten om infraljud i Sverige (kring 2011) och även Nina Pierpoints studie omnämns:

"Det finns ett starkt politiskt och samhälleligt stöd för utbyggnad av vindkraft. Miljöfördelarna på nationell och global nivå är uppenbara. Samtidigt finns farhågor om hälsoeffekter på lokal nivå för boende i verkens närhet. Inte minst har negativa effekter av lågfrekvent ljud och infraljud diskuterats. Olika åsikter har framförts, från att infra- och lågfrekvent ljud från vindkraftverk är försumbart och inte alls påverkar människors hälsa (Leventhall, 2006) till att sådana ljud från vindkraftverk allvarligt kan skada människors hälsa (Pierpont, 2009). Det är därför angeläget att en kritisk sammanställning av forskningsläget genomförs, för att få en samlad bild av hur mycket infra- och lågfrekvent ljud som vindkraftsanläggningar genererar i människors boendemiljö och hur denna exponering kan påverka människors hälsa."

Slutsatserna om infraljud i Naturvårdsverkets syntesstudie är att "Det finns inga belägg för att infraljud vid dessa nivåer bidrar till bullerstörning eller har andra hälsoeffekter". Slutsatserna har dock ifrågasatts av vissa debattörer som fortsatt vill se en reglering av

infraljud i Sverige och vidare forskning i ämnet. Ett exempel på detta är en debattartikel i Läkartidningen 2013 (14), av läkaren Håkan Enbom, där det framfördes att:

"Infraljud från vindkraftverk påverkar innerörat och utgör en möjlig hälsorisk för personer med migrän eller annan typ av central sensitisering. Regelverket för nyetablering av vindkraftverk bör revideras med hänsyn tagen till denna omständighet, anser artikelförfattarna."

Denna debattartikel replikerades i Läkartidningen av författarna till Naturvårdsverkets syntesstudie (15), som hävdade att den risk för hälsopåverkan från infraljud som Enbom beskrev inte stämde. Detta rörde således infraljud från de betydligt mindre vindkraftverk som förekom vid denna tidpunkt (2013). Frågeställningarna i debatten var dock snarlika den som förekommer även idag. Den aktuella debatten torde således inte ha med storleken på dagens vindkraftverk att göra, utan snarare att det fortfarande inte har nåtts en entydig konsensus i frågan inom forskningsvärlden eller i samhällsdebatten. Det kan noteras att Håkan Enbom fortfarande är aktuell i debatten om infraljud från vindkraftverk. Han har bland annat förekommit i flera nätbaserade sammanhang, där behovet av ytterligare forskning och riktlinjer för infraljud nämns (16) (17).

5.2 Internationella forskningsstudier

Det är inte bara i Sverige som infraljud aktualiserats i samhällsdebatten. I flera andra länder har debatten föranlett statligt finansierade forskningsstudier eller syntesstudier. I detta avsnitt presenteras kortfattat ett antal av dessa internationella studier.

Tysklands miljömyndighet (Umweltbundesamt) finansierade studien *"Lärmwirkungen von Infrashallimmissionen"* (Noise effect of infrasound immissions), som publicerades i april 2020 (18). I studien utfördes i provokationsexperiment i laboratorium, där 44 personer utsattes för kortvarig exponering av infraljud (18). Studien rörde inte infraljud från vindkraftverk specifikt, utan infraljud från bullerkällor i samhället generellt. Studien visade att infraljud i nivåer vid eller över hörtröskeln, i provokationsexperimentet, orsakade tydliga störnings- och obehagssymtom hos försökspersonerna. Detta var till viss del förväntat. Mätningar av EKG, EEG och blodtryck, visade dock inga indikationer på omedelbara fysiologiska reaktioner under experimentet, som varade cirka 2,5 timmar. Ungefär hälften av försökspersonerna var personer som rapporterat klagomål på infraljud (förväntat ljudkänsligare personer) i sin boendemiljö, vilket även bekräftats genom certifierade mätningar av infraljud. Resultatet i den tyska studien visade inte på någon skillnad i påverkan mellan den förväntat ljudkänsliga gruppen och referensgruppen utan rapporterad ljudkänslighet. Författarna påtalar dock att studien inte kan användas för att avskrika fysiologisk påverkan under långtidsexponering av infraljud, på grund av experimentets begränsade tidsomfattning.

Kanadas federala hälsomyndighet (Health Canada) finansierade en stor studie om hälsopåverkan från vindkraftverk som ett led att utöka kunskapen i frågan (19):

"In July 2012, Health Canada announced its intention to undertake a large-scale epidemiology study in collaboration with Statistics Canada (Statistics Canada Official Title: Community Noise and Health Study). The study was launched to support a broader evidence base on which to provide federal advice and in acknowledgement of the community health concerns expressed in relation to wind turbines."

Studien omfattade hälsopåverkan av ljud från vindkraftverk i allmänhet där infraljud utgjorde en del som utvärderades i projektet, bland annat genom ljudmätningar. En slutsats om infraljud, baserat på ljudmätningarna, var att de uppmätta infraljudsnivåerna nära vindkraftverken var i paritet med hörtröskeln för den del av Kanadas befolkning som har mest känslig hörsel, motsvarande 1 procent av befolkningen. Studien resulterade i 12 publicerade artiklar i vetenskapliga journaler mellan år 2013–2018. Därutöver bidrog forskargruppen med ett antal konferensartiklar på olika internationella konferenser. För information har resultat från studien även kritiserats av olika parter, vilket även gäller flera av de andra studier som nämns i detta avsnitt.

I Finland kom debatten om eventuell hälsopåverkan av infraljud från vindkraftverk upp till regeringsnivå. Det föranledde ett forskningsprojekt som utfördes mellan år 2018–2020 och finansierades av den Finska staten, som en del av statsrådets utrednings- och forskningsplan. Syftet med forskningsprojektet var att *”bedöma om infraljud från vindturbiner har skadliga effekter på människors hälsa”*. Studien genomfördes genom ljudmätningar av infraljud, provokationsexperiment i laboratorium och en enkätstudie, med fokus på områden med vindkraftverk där självrapporterade klagomål och hälsoeffekter från infraljud förekommit.

Långtidsmätningar av infraljud utfördes vid två bostäder, både utom- och inomhus, i närheten av två vindparker. Den ena vindparken bestod av 17 vindkraftverk (verkstyp Siemens SWT-3.0-DD med navhöjd 143 m) och den andra av 10 vindkraftverk (verkstyp Vestas V126-3.3 MW med navhöjd 137 m). Bostäderna där mätningar genomfördes låg 1,6 km respektive 1,5 km från närmaste vindkraftverk. Samtliga mätresultat, både utomhus och inomhus, låg klart under hörtröskeln för människor. Som högst uppmättes ljudnivåer på cirka 80–90 dB, för frekvenser kring 1 Hz, medan medelvärdet under hela mätperioderna var betydligt lägre, mellan cirka 60–70 dB för samma frekvenser. Ett konservativt urval av inspelade infraljudsnivåer användes sedan i provokationsexperimenten. Slutrapporten *”Infrasound Does Not Explain Symptoms Related to Wind Turbines”* publicerades av Statsrådets kansli 2020-06-02 (20), där huvudslutsatsen från studien framgår av titeln. Sammanfattningsvis kunde studien inte påvisa några samband mellan självrapporterade symtom, som kopplats till infraljud, och uppmätta infraljudsnivåer. Denna bedömning grundade sig både i utförda provokationsexperiment och enkätstudien, som utfördes för personer som bodde nära fyra vindparker.

Även i Australien förekom, vid ungefär samma tidpunkt som i Finland, en polariserad debatt om eventuell påverkan av infraljud från vindkraftverk. Det statliga organet *”National Health and Medical Research Council of Australia (NHMRC)”* konstaterade då att det inte fanns tillräckliga bevis för att helt avskriva risken för hälsopåverkan från infraljud. För att utreda frågan vidare finansierade NHMRC en studie som syftade till att utreda farhågor om hälsopåverkan, särskilt kopplat till sömnstörningar (21). Studien publicerades i mars 2023 och genomfördes genom provokationsexperiment i sömnlaboratorium, där bland annat syntetiserat infraljud från vindkraftverk ingick som

Ljudstimuli⁴. I studien ingick 37 slumpmässigt utvalda personer med, genom testet "21-Question Weinstein Noise Sensitivity Scale", konstaterad ljudkänslighet. Det fanns dock ingen referensgrupp med ej ljudkänsliga personer. Slutsatsen från studien var att:

"Our study found no evidence that 72 h of exposure to a sound level of ~90 dB pk re 20 µPa of simulated wind turbine infra-sound in double-blind conditions perturbed any physiological or psychological variable."

Ett sista exempel på en nationellt finansierad studie, om bland annat infraljud, är en omfattande syntesstudie utförd i Nederländerna publicerad 2020, "Health effects related to wind turbine sound: an update" (22). Syntesstudien genomfördes genom den nederländska myndigheten "National Institute for Public Health and the Environment, RIVM" på uppdrag av "The Swiss Federal Office for the Environment". Det är en revidering av en tidigare publicerad syntesstudie 2017, där revideringen avser en genomgång av litteratur mellan 2017 och 2020. I syntesstudiens sammanfattning anges följande om infraljud:

"Although low frequency sound and infrasound might have other effects than 'normal' sound has, these effects are highly unlikely at sound levels typical for wind turbines. Brain studies show that low frequency and infrasound are processed in the same parts of the brain as 'normal' sound and there is no evidence that infrasound elicits any reaction at sub-audible levels."

Denna slutsats är således baserad på litteratur publicerad mellan 2017 och 2020. Det inkluderar även granskning av en ofta refererad studie av Weichenberger et al från 2017, "Altered cortical and subcortical connectivity due to infrasound administered near the hearing threshold - Evidence from fMRI" (23). Denna studie undersökte genom provokationsexperiment effekten av infraljud nära hörtröskeln vid 12 Hz, där förändringar i funktionell hjärnaktivitet kunde konstateras under provokationsexperimentet. Dessa förändringar menar författarna skulle kunna ge upphov till både fysiska såväl som psykologiska hälsoeffekter. I den nederländska syntesrapporten anges dock att dessa slutsatser är för långtgående och man för fram alternativa orsaker till de förändringar i funktionell hjärnaktivitet som redovisas i studien.

Ytterligare en studie från 2024 (24), som även refererar till studien från Weichenberger et al (23), visar på liknande förändringar i funktionell hjärnaktivitet vid provokationsexperiment med ljudstimuli under hörtröskeln (80–90 dB vid 6 Hz). Även om studien har påvisat påverkan på hjärnaktivitet går det inte att dra några slutsatser om eventuella långvariga effekter, vilket även påtalas i studien:

"These findings highlight the need for further research on the effects of prolonged IS⁵ exposure and underscore the importance of assessing or stratifying participants based on different levels of self-reported annoyance or sensitivity to IS/LFN."

⁴Ljudstimuli definieras som akustiska signaler med definierad frekvens, ljudtrycksnivå, exponeringstid och spektral sammansättning. Dessa genereras och kontrolleras experimentellt för att framkalla samt mäta fysiska, sensoriska eller psykologiska responser.

⁵ IS - Infrasound

Sammantaget visar dessa två studier att observerade förändringar i hjärnaktivitet inte utan vidare kan tolkas som stöd för faktiska eller långvariga hälsoeffekter.

5.3 Forskningsstudien vid Uppsala universitet

Flera av de internationella forskningsstudier som redovisas i avsnitt 5.2 har även lyfts fram av forskarna vid Uppsala universitet, som nämndes i avsnitt 1, som en anledning till behov av ytterligare forskning inom ämnesområdet. Forskningsstudien vid Uppsala universitet är utförd i samarbete med Högskolan i Gävle under ledning av professor Ken Mattsson (Uppsala universitet). Den finansieras huvudsakligen av FORMAS (finansiering med dnr. 2022-00843) med titeln "Bullerpåverkan i boendemiljö". Enligt projektbeskrivningen är huvudsyftet med studien inte att enskilt titta på infraljud från vindkraftverk, utan att mer brett se på modellering och verifiering av ljudutbredning i boendemiljö. Då det är vedertaget att vindkraftverk alstrar infraljud, inklusive vid vilka frekvenser (bladpassfrekvensen med övertoner), har det dock setts som en bra referens för validering av den ljudutbredningsmodell som tagits fram i studien.

Resultat från studien, kopplat till infraljud från vindkraftverk, redovisas i artikeln "*Efficient finite difference modeling of infrasound propagation in realistic 3D domains: Validation with wind turbine measurements*" (2). Resultat och resonans kring infraljud har även presenterats i flera föreläsningar och mediala sammanhang av forskargruppen (25) (26) (27) (28) (29) (30) (31) (32) (33) (34) (35) (36). I samband med presentationer av studien har även kritik framförts mot myndigheter som Naturvårdsverket och Folkhälsomyndigheten samt mot andra studier i ämnet. De huvudsakliga frågeställningar som förs fram om infraljud, av forskargruppen, återkopplar till frågeställningarna som beskrevs i inledningen av avsnitt 5.1. Det vill säga om det finns behov av särskild reglering i villkor, eller annan begränsning av infraljud, vid utbyggnad av vindkraft och om det finns behov av ytterligare forskning om infraljud från vindkraftverk.

5.4 Sammanfattning – forskningsläget

Genom åren har det bedrivits ett antal omfattande statligt finansierade studier om infraljud från vindkraftverk, både i Sverige och internationellt, varav några nämns i föregående tre avsnitt. Flera av studierna berör de inledande frågeställningarna om påverkan och behov av begränsning av infraljud från vindkraftverk. I huvuddelen av dessa studier dras slutsatsen att det inte finns en risk för negativa hälsoeffekter kopplat till infraljud från vindkraftverk. Därav finns det inte heller behov av att infraljud från vindkraftverk ska begränsas, genom exempelvis riktvärden eller annan reglering. Den naturliga följdfrågan blir då om det föreligger ett behov av ytterligare större studier om infraljud, till exempel epidemiologiska studier?

Forskargruppen vid Uppsala universitet anser att det finns ett sådant behov. Huvudsakligt argument för detta behov är de mät- och beräkningsresultat av infraljud från vindkraftverk som presenteras i artikeln "*Efficient finite difference modeling of infrasound propagation in realistic 3D domains: Validation with wind turbine measurements*" (2). Trots att resultaten ligger under hörtröskeln lyfts risken att (ljud)känsliga personer kan påverkas även under hörtröskeln. Som stöd refereras flera, både nya och äldre, studier som visar på en sådan risk. Som beskrivs i avsnitt 5.1 är denna risk även något som lyfts

fram historiskt i olika sammanhang och studier, som skäl för ytterligare studier om infraljud.

Det kan konstateras att det i forskningsvärlden inte råder konsensus kring om infraljud från vindkraft innebär risk för negativ hälsopåverkan eller ej. Det är dock oomtvistligt att infraljud från vindkraftverk, i det fall det skulle föreligga hälsopåverkan, rör en relativt liten del av alla som påverkas negativt av buller i samhället. Det råder dock inte nolltolerans för påverkan av buller i samhället, då utveckling av samhället och olika typer av infrastruktur alltid innebär viss påverkan på delar av populationen. Det är inte självklart att den hälsorelaterade risk, som lyfts fram av forskargruppen vid Uppsala universitet, är av sådan omfattning att den skulle motivera en ny större studie om infraljud från vindkraftverk.

6 Kommentarer till Uppsala universitets forskningsstudie

Inledningsvis ska nämnas att de forskare som deltagit i studien har omfattande kunskaper och erfarenheter inom det huvudsakliga ämnesområdet som studien rör, modellering av vågutbredning och mätning av ljud(vågor) vid låga frekvenser. Den huvudsakliga publikationen ("artikeln"), "*Efficient finite difference modeling of infrasound propagation in realistic 3D domains: Validation with wind turbine measurements*" (2), är även granskad av en välrenommerad vetenskaplig tidskrift ("*Applied Acoustics*"). Syftet med genomgången är att ge en kompletterande bild av studiens resultat och begränsningar. Kommentarererna på artikeln delas in i två delar, påverkan av infraljud samt ljudmätningar och modellering av ljudutbredning, följt av en kort sammanfattning.

6.1 Påverkan av infraljud

I artikelns avsnitt 1 (Introduction) resoneras kring att infraljud från vindkraftverk kan påverka känsliga personer, exempelvis personer predisponerade för migrän. Som stöd för resonemanget refereras till ett antal studier, men även till personliga erfarenheter från flera av artikelförfattarna (självupplevda episoder med migrän). Tre av referenserna (27–29 i artikeln) är studier av Salt A.N. et al. Detta är återkommande referenser i studier som rör påverkan från infraljud på innerörats funktion. Det är även studier vars relevans ifrågasatts i flera olika sammanhang, bland annat i Naturvårdsverkets syntesstudie från 2011 (1). Även flera av de andra referenserna i artikeln har resultat och slutsatser som gett upphov till diskussion i forskningsvärlden.

För vissa referenser är det även oklart om de slutsatser som presenteras i artikeln grundar sig på en långtgående tolkning av de refererade studierna. Det rör bland annat följande referens och citat:

"As early as 1985, Danielsson and Landström showed that infrasound at levels of 95 dB during 1 h of exposure causes an increase in diastolic blood pressure and decreases in systolic blood pressure and pulse rate."

Vid en granskning av den refererade studien (37) framgår att det inte är en generell påverkan (förändrat blodtryck) för infraljudsnivåer vid 95 dB, utan att tre olika nivåer spelas upp i provokationsexperimentet vid tre olika frekvenser. Vid 6 och 12 Hz spelas

enbart 125 dB upp och vid 16 Hz spelas 95, 110 och 125 dB upp. Studien visar således att de infraljudsnivåer som spelas upp ligger över, eller klart över, hörtröskeln vid alla frekvenser (se Figur 1 för vedertagen hörtröskelkurva). Att det blir en påverkan är således snarare förväntat, vilket inte framgår av artikeln. Här kan även nämnas att en av författarna till den refererade studien, Ulf Landström, gjorde ett liknande provokationsexperiment 1984 (38). Den studien visade tydligt att det inte blev någon påverkan från infraljud under hörtröskeln:

“The results of the investigation are in accordance with the theory that changes in physiological reactions will not occur at levels below the hearing perception threshold.”

Det hade generellt stärkt artikeln om det tydligare redovisats att de refererade studierna kan tolkas på olika sätt i frågor som har relevans för resonemanget om hälsopåverkan. Detta gäller särskilt mot bakgrund av hur resultaten och frågeställningen även har presenterats i andra sammanhang, se avsnitt 5.3. En sådan redovisning hade minskat risken för att resonemanget framstår som selektivt i sitt urval av referenser.

I artikeln framförs även kritik mot två studier där man inte kunde påvisa något tydligt samband mellan infraljud från vindkraftverk och negativ hälsopåverkan. Det rör den finska studien (20) och den australiensiska studien (21), som även beskrivs i avsnitt 5.2. Kritiken rör att ljudstimuli med för låg ljudnivå använts i båda studierna (lägre än de uppmätta infraljudsnivåer som redovisas i artikeln), att inga känsliga personer ingår i provokationsexperimenten och att studierna har för begränsad tidsomfattning för att kunna göra långtgående slutsatser om risk för hälsopåverkan.

När det gäller ljudstimuli baserades det i den finska studien på ljudinspelningar utförda genom ljudmätningar, av infraljud från vindkraftverk, under lång tid (total mättid över 300 dagar på två platser). Ljudmätningarna utfördes vid bostäder där boende har rapporterat problem med infraljud från närliggande vindparker (20):

“The stimuli for the experiments were selected from long-term wind turbine sound measurements indoors and outdoors of houses from which residents had moved away due problems they related to infrasound, as well as measurements in the actual wind power plant area. The highest levels of linear sound pressure and amplitude modulation depth were searched among the recordings.”

Det får således anses vara relevant och korrekt att använda dessa ljudstimuli i den aktuella studien, då det motsvarar de högsta nivåerna av infraljud som mättes upp på platser där boende rapporterat påverkan från infraljud. Det kan dock noteras att infraljudsnivåerna i den finska studien är lägre, som högst kring 80–90 dB vid 1 Hz, jämfört med de mätresultat som redovisas i artikeln (95–115 dB vid 1 Hz). Det betyder dock inte att de lägre infraljudsnivåerna i den finska studien saknar relevans i det aktuella sammanhanget.

Även i den australiensiska studien (21) har ljudstimuli valts ut för att representera en konservativ bedömning. De infraljudsnivåer som användes, för att representera infraljud från vindkraftverk, var högre än de som uppmätts i ett känt fall där hälsopåverkan av infraljud rapporterats:

“This infrasound level is higher than what has been recorded both inside and outside a dwelling where people have previously reported WTS⁶ from exposure experienced at 1,100 ft (335 meters) from a wind turbine located at the Shirley Wind Farm, Wisconsin, USA.”

Här kan noteras att fallet med Shirley Wind Farm är välkänt internationellt och även nämns av Ken Mattsson i denna föreläsning (31) (se kring 32:20 i klippet). I föreläsningen nämns att alla som gjorde ljudmätningar vid den aktuella vindparken blev ”riktigt” sjuka på grund av infraljud⁷. Detta talar för att valet av ljudstimuli inte utan vidare kan avfärdas som orealistiskt, då det i fallet med Shirley Wind Farm gett upphov till tydliga symtom. Både kortvarigt hos mätpersonalen (en av dem) och långvarigt hos de boende nära vindparken.

I båda studierna ingår även ljudstimuli med amplitudmodulerad karaktär, som även det nämns som en brist i artikeln:

“To date, no controlled experiment has accurately reproduced the characteristic pulsating infrasound emitted by modern turbines.”

Det framgår inte hur artikelförfattarna kommit till denna slutsats, till exempel om det med ”characteristic pulsating infrasound” inte avses att ljudet har en amplitudmodulerad karaktär.

Att tidsomfattningen för provokationsexperiment/lyssningstester har betydelse kan anses vedertaget. I artikeln lyfts det fram att både den finska och australiensiska studien är utförda under relativt kort tid. Denna osäkerhet kring laboratoriestudiens längd är också något som kommenteras i den finska studien (20):

“As already mentioned in the Introduction, laboratory studies have been criticized for the short duration of the exposure to wind turbine sound and infrasound. Indeed, previous studies have used exposure duration of few seconds. In this study, infrasound blocks lasted up to 10 minutes. Infrasound had a negligible effect on rated annoyance, even when annoyance was heavily affected by other factors (distance, AM). Although, the participants were recruited from regions with high density of wind power plants and had a history of long-term exposure to wind turbine sound, and still no evidence of hypersensitivity or increased annoyance to wind turbine infrasound was observed.”

I artikeln presenteras dock inget liknande kvalitativt resonemang för varför de finska och australiensiska studierna ska tolkas med försiktighet, kopplat till laboratoriestudiernas längd. Här ska nämnas att både den finska och australiensiska studien har projektdeltagare med välmeriterad kompetens inom provokationsexperiment.

⁶ WTS – “Wind Turbine Syndrome”

⁷ Det stämmer dock inte att samtliga personer som utförde mätningar blev ”riktigt” sjuka, som framförs i föreläsningen av Ken Mattsson. Enligt studien (50), med underbilagor, var det en av projektdeltagarna som upplevde självrapporterade fysiologiska symtom, medan övriga fyra projektdeltagare inte upplevde några symtom alls. Projektdeltagaren som upplevde symtom, Robert Rand, uppgav även att han var extra känslig med ökad benägenhet för sjösjuka. Symtomen uppstod inte heller vid själva mätningen, utan när han sov över i en av bostäderna under en längre tid för att ”granska” de närboendes rapporterade upplevelser.

I artikeln ifrågasätter även författarna urvalet av försökspersoner i såväl den finska som australiensiska studien, särskilt beträffande bristen på känsliga personer. I både den finska och australiensiska studien ingick dock försökspersoner med konstaterad känslighet. Det anges dock inte i någon av studierna om det finns försökspersoner med ökad känslighet för just migrän, som lyfts som en särskild riskgrupp i artikeln.

I den australiensiska studien utgör hela testgruppen, som nämns i avsnitt 5.2, av försökspersoner med konstaterad känslighet (konstaterat genom test enligt "21-Question Weinstein Noise Sensitivity Scale"). Här kan snarare en osäkerhet vara att ingen referensgrupp med ej känsliga försökspersoner ingick i studien. Även i den finska studien framgår tydligt att känsliga försökspersoner ingår, i detta fall försökspersoner som bor bredvid vindparker och samtidigt har rapporterat kraftiga symtom kopplat till infraljud eller hörbart ljud.

Eftersom många känsliga försökspersoner ingick i båda studierna borde det ha funnits en större sannolikhet att de skulle påverkas av ljudstimuli, även om nivåerna låg klart under hörtröskeln.

Sammanfattningsvis kan konstateras att det i artikeln, baserat på tidigare forskning, inte har presenterats några entydiga vetenskapliga belägg som stöd för att infraljud från vindkraftverk ger upphov till negativ hälsopåverkan. Det gäller även för de infraljudsnivåer som redovisas i artikeln. Gällande det behov av ytterligare studier som nämns i artikeln hänvisas till resonemanget i slutet av avsnitt 5.4.

6.2 Ljudmätningar och modellering av ljudutbredning

Kommentarerna kommer inte gå in på djupet när det gäller den fysiska modellen (ljudutbredningsmodellen). Fokus ligger i stället på valideringen av ljudutbredningsmodellen genom ljudmätningar och modellering. Ett antal osäkerheter kopplade till validering och resultat har identifierats, vilket utvecklas ytterligare i följande avsnitt.

6.2.1 Kalibrering av mätutrustning

Upplägget av studien är att ljudmätningar av infraljud utförs, vilka därefter kan ligga till grund för validering och kalibrering av ljudutbredningsmodellen. Som nämns i inledningen av avsnitt 6.1 (Infrasound Equipment) i artikeln är det vitalt att den utrustning som används vid ljudmätningar är kalibrerad. Detta gäller särskilt om de ska användas för validering av en fysikalisk ljudutbredningsmodell, vid så komplexa ljudutbredningsförhållanden som gäller för infraljud vid enskilda frekvenser. Det anges att kalibreringen utförts vid NORSAR (39), som är ett internationellt oberoende forskningsinstitut i Norge. NORSAR är bland annat Norges nationella datacenter för "The Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty" (CTBT) och bedriver, inom ramen för CTBT, övervakning vid sex stationer som mäter seismik, radioaktivitet och infraljud. Av NORSAR:s hemsida framgår dock inte att de bedriver certifierad eller ackrediterad verksamhet inom kalibrering.

Det anges att kalibreringen har utförts som en så kallad relativ kalibrering (sekundär kalibrering), där mätresultat från forskargruppens Lidström-mikrofoner (oklart om en eller alla mikrofoner har kalibrerats vid NORSAR) har jämförts mot simultana mätdata från en av de Hyperion-mikrofoner som finns installerade på stationen. Det framgår inte om

kalibreringen har utförts med en kontrollerad infraljudskälla (referensskälla) eller hur infraljudsnivåerna vid kalibreringen har alstrats. En annan relevant parameter vid relativ kalibrering är referensmikronens kalibreringsstatus, vilken ska vara aktuell (en vanlig primär kalibreringscykel för "vanliga" mikrofoner är 1–2 år). Detta för att minska risken att det inte uppstår följdfel vid den relativa kalibreringen. Det finns dock ingen information om referensmikrofonen i artikeln. Utifrån given information är det svårt att bedöma eventuella osäkerheter kopplade till kalibreringen.

6.2.2 Vindens påverkan

En stor osäkerhet vid mätning av infraljud är påverkan från vinden. Mätning av infraljud är väldigt känsligt för påverkan av vindinducerat brus (tryckfluktuationer över mikrofonens membran) även vid låga vindhastigheter. Det krävs att specialanpassade vindskydd används om mätning ska utföras vid högre vindhastigheter. Även med specialanpassade vindskydd kan det dock uppstå påverkan från vindinducerat brus, vilket i vissa fall gör att de uppmätta infraljudnivåerna överskattas. Det finns flera metoder för att detektera när det föreligger risk att mätresultatet påverkas av vinden. En metod är att ha en sekundär mikrofon med enbart primärt vindskydd (eller helt utan vindskydd). Mätresultat från den sekundära mikrofonen kan indikera när det föreligger risk för vindpåverkan och påverkade mätperioder kan därefter filtreras bort. En annan metod är att ha en lokal vindmast, och exkludera mätperioder med höga vindhastigheter, exempelvis vid vindbyar. Ingen metod för att identifiera påverkan av vind verkar dock ha använts enligt artikeln.

Av den information som redovisas i artikeln, men även information i en konferensartikel om mätsystemet som presenterades på en konferens våren 2025 (40) ("konferensartikeln"), framgår att ett kubformat vindskydd av perforerad metall har använts vid ljudmätningarna (se Fig. 6 i artikeln). Detta är en konstruktion som skiljer sig mot vindskydd som brukar användas vid mätning av infraljud. Dessa har en halvsfärisk form med relativt stora dimensioner. Syftet med ett halvsfäriskt vindskydd är att vinden inte ska träffa en vertikal yta, vilket kan öka risken för vindpåverkan. Det är svårt att bedöma effektiviteten av de kubformade vindskydd som använts och det finns inte heller någon information om effekten, varken i artikeln eller konferensartikeln. Det nämns i artikeln att:

"to enhance data reliability, the microphone was shielded from wind interference using a specialized metal windscreen, effectively reducing unwanted wind noise."

Akustikkonsultens och Akustikverkstans erfarenhet är dock att det kan uppstå påverkan från höga vindhastigheter, särskilt vid låga frekvenser, oavsett hur effektiva vindskydd som används vid en mätning. Mot denna bakgrund är det en tydlig brist att artikeln inte redovisar någon bedömning av mätosäkerheten, eftersom detta försvårar värderingen av såväl mätresultaten som valideringen av ljudutbredningsmodellen.

6.2.3 Validering av ljudutbredningsmodellen

Mätningar har utförts vid två vindparker, Målarberget i Avesta och Lervik i Västervik, och mätresultat redovisas för 1–2 mikrofonpositioner (mätpunkter). Resultatet från mätningarna används därefter för att beräkna ljudeffektnivån för samtliga vindkraftverk (i drift) i vindparken genom en optimering som bland annat tar hänsyn till topografi,

atmosfäriska förhållanden vid mättillfället samt antal vindkraftverk i drift (inversmodellering). Ljudeffektnivån antas vara densamma för samtliga vindkraftverk, vilket förenklar optimeringen. Den framtagna ljudeffektnivån används därefter för att beräkna ljudutbredningen, antingen för samma väderförhållanden som vid mättillfället eller för andra förhållanden.

Denna metodik innebär att ljudeffektnivån inte bestäms genom en oberoende källkaraktisering, utan härleds genom att ljudutbredningsmodellen anpassas till uppmätta infraljudsnivåer i mätpunkterna. Ljudeffektnivån blir därmed modellberoende och fungerar i praktiken som en kalibreringsparameter för ljudutbredningsmodellen. Den överensstämmelse som därefter uppnås mellan beräknade och uppmätta infraljudsnivåer utgör därför inte en oberoende validering av ljudutbredningsmodellen som helhet, utan speglar i viss utsträckning att källstyrkan har anpassats till mätdata.

Metodiken medför även att den härledda ljudeffektnivån blir beroende av lokala mätförhållanden, såsom mätavstånd, väder, markförhållanden och topografi. Den blir även beroende av mätosäkerheten av ljudtrycksnivån i mätningar som används för kalibrering av ljudutbredningsmodellen. Den totala osäkerheten påverkas därmed både av mätosäkerheten och av osäkerheten i modelleringen av ljudutbredningen mellan vindkraftverk och mätpunkter. Att särskilja källkaraktisering och ljudutbredningsmodell är den vanligaste metodiken vid modellvalidering, eftersom det ger ett entydigare underlag för bedömning av ljudutbredningsmodellens noggrannhet.

Som jämförelse bestäms ljudeffektnivåer normalt med standardiserade metoder för ljudemission. I Sverige och internationellt används oftast IEC 61400-11:2012/AMD1:2018, "Wind turbines – Part 11: Acoustic noise measurement techniques", för mätning av ljudeffektnivå från vindkraftverk (3). Enligt denna metod mäts ett vindkraftverk i taget på ett standardiserat avstånd (motsvarande totalhöjden), vilket möjliggör reproducerbara resultat. Erfarenhet från ett stort antal ackrediterade mätningar visar att osäkerheten typiskt ligger inom $\pm 1-2$ dB. Källstyrkan är därmed väl definierad och relativt oberoende av lokala förhållanden. Det bör dock noteras att IEC 61400-11 i första hand är avsedd för frekvenser mellan 20 Hz och 10 000 Hz. För infraljud kan anpassningar av mätförutsättningarna krävas. Grundprincipen att mäta nära vindkraftverk för att bestämma ljudeffektnivån gäller dock fortfarande.

Inversmodellering av ljudeffektnivåer som underlag för verifiering av ljudutbredningsmodellen innebär inte heller, så som metodiken kan tolkas utifrån artikeln, en strikt oberoende validering av beräkningsmodellen. Om endast en mätpunkt används för att först härleda en ljudeffektnivå och denna ljudeffektnivå därefter används för att beräkna infraljudsnivån i samma mätpunkt, blir överensstämmelsen mellan mätning och beräkning av begränsat värde som självständig validering. Detta beror på att ljudeffektnivån i praktiken har anpassats för just denna punkt. Detta framgår även av artikeln:

"Note that in the cases with only one receiver point, the measurements and simulations match exactly."

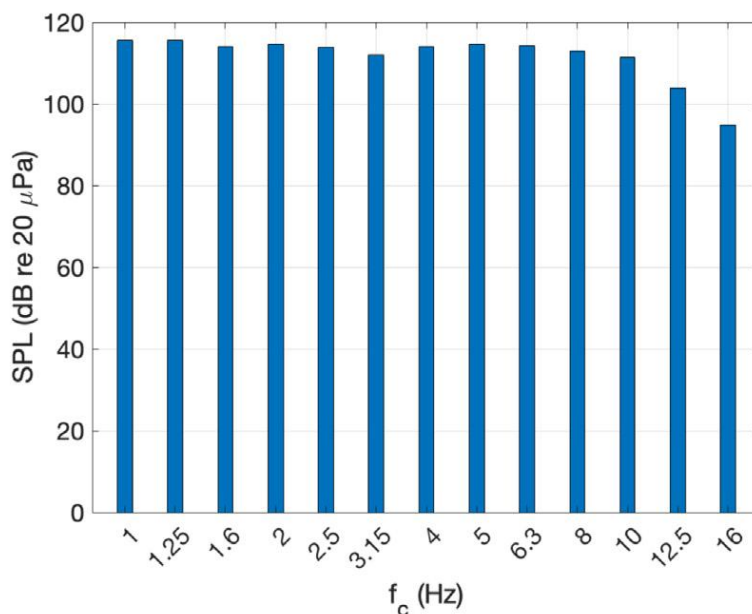
En mer entydig validering av ljudutbredningsmodellen hade erhållits om ljudeffektnivån först härletts med utgångspunkt i en mätpunkt och därefter använts för att beräkna

infraljudsnivåer i en eller flera andra, oberoende mätpunkter. På så sätt hade ljudutbredningsmodellens prediktiva förmåga kunnat bedömas mer direkt. Detta är särskilt relevant i den aktuella studien, då ljudmätningar i flera fall har utförts i flera mätpunkter (upp till fyra mätpunkter, se avsnitt 6.2.6), vilka inte har utnyttjats fullt ut i valideringen av ljudutbredningsmodellen. Det framgår inte heller av artikeln varför vissa mätpunkter inte har utnyttjats i valideringen.

Sammantaget innebär detta att den redovisade metodiken, som den beskrivs i artikeln, endast i begränsad utsträckning möjliggör en oberoende validering av ljudutbredningsmodellen. Detta försvårar bedömningen av ljudutbredningsmodellens prediktiva förmåga och bidrar till osäkerhet vid tolkningen av de härledda ljudeffektnivåerna.

6.2.4 Uppmätta infraljudsnivåer och härledda ljudeffektnivåer

Det finns även frågetecken kring den högsta uppmätta ljudnivån 115,5 dB vid 1 Hz och motsvarande härledd ljudeffektnivå om 172,6 dB vid 1 Hz, som redovisas i artikeln. Ljudnivån uppmättes vid vindpark Målarberget 2024-12-16 och frekvensspektrum för uppmätt ljudnivå i tersband, mellan 1–16 Hz, redovisas i Figur 3 (Fig. 7 i artikeln).



Figur 3. Vindpark Målarberget 2024-12-16: Uppmätt ljudnivå mellan 1–16 Hz som tersband. Bilden är tagen från Fig.7 i artikeln (2).

När ett resultat avviker mycket från andra resultat (outliers/utliggare), uppmätta vid samma mätplats, bör det föras ett kvalitativt resonemang om mätningen är påverkad av yttre faktorer. Det frekvensspektrum i tersband som framgår av Figur 3 uppvisar en spektral form som (starkt) indikerar påverkan av vindinducerat brus. Av Fig. 14 i artikeln framgår att detta mätfälle sammanföll med den högsta registrerade vindhastigheten (9,9 m/s vid navhöjd). En sådan vindhastighet motsvarar typiskt cirka 5–7 m/s på 10 m höjd, där vindbyar kan ha betydligt högre vindhastighet. Enstaka vindbyar räcker för att momentant höja infraljudsnivåerna genom vindinducerat brus och därmed påverka den totala infraljudsnivån över hela mätperioden.

Det framgår dock inte, se avsnitt 6.2.5, hur lång mätperiod som mätresultatet avser. Finns det tidsperioder under mätningen med lägre ljudnivåer och kan då tidsperioder med eventuell vindpåverkan exkluderas? Om så är fallet varför har inte det gjorts? Då det inte gjorts någon sekundär verifiering av vindens påverkan är det dock svårt att bedöma dess eventuella påverkan. Det hade även varit värdefullt med en smalbandsanalys för att se om ljudet innehåller tydliga toppar vid bladpassfrekvensen med övertoner. Om sådana inte framträder tydligt är det också en tydlig indikation på att mätningen påverkas av vindinducerat brus eller andra störkällor.

I behandlingen av ljudvågor som en linjär fysikalisk process, som man implicit gör när man använder vågekvationen, ingår även ett antagande att tryckfluktuationerna är små. Om tryckfluktuationerna är starka uppstår ett icke linjärt samband, och då gäller inte vågekvationen. En härledd ljudeffektnivå på 172,6 dB är så hög att det finns skäl att ifrågasätta om den utan vidare kan tolkas inom ramen för linjär akustik.

Utöver bedömning av mätosäkerheter kopplade till vindförhållanden och generella modellantaganden kan även en övergripande energimässig rimlighetsbedömning göras av de härledda ljudeffektnivåerna. Den högsta redovisade härledda ljudeffektnivån om 172,6 dB vid 1 Hz motsvarar, uttryckt som akustisk effekt, mycket stora energiflöden i absoluta termer (i storleksordningen 10^5 W, det vill säga hundratals kilowatt). Även de lägre redovisade ljudeffektnivåerna vid 1 Hz motsvarar akustiska effekter som är betydande i relation till vad som normalt förknippas med ljudemission från vindkraftverk. Sammantaget innebär detta att de härledda ljudeffektnivåerna, om de tolkas som direkt källrelaterad akustisk emission, skulle utgöra en icke försumbar del av vindkraftverkens totala energibalans. Som jämförelse utgör den totala luftburna akustiska effekten från moderna vindkraftverk, summerad över det hörbara frekvensområdet, typiskt endast en mycket liten del av energibalansen och ligger i storleksordningen kring en watt.

Mot denna bakgrund framstår de härledda ljudeffektnivåerna, särskilt den högsta, som mycket höga i relation till etablerad kunskap om vindkraftverks energibalans. Om sådana ljudeffektnivåer vore representativa för den faktiska akustiska emissionen skulle detta i praktiken innebära en märkbar påverkan på vindkraftverkets verkningsgrad. Även detta motiverar försiktighet vid tolkning av de redovisade ljudeffektnivåerna vid 1 Hz, särskilt då artikeln inte innehåller någon samlad energimässig rimlighetsbedömning. En sådan bedömning hade varit relevant för att ytterligare värdera osäkerheterna i resultaten, inte minst i de fall där enstaka utläggare används som underlag för beräkning av mycket höga ljudeffektnivåer.

Det finns även exempel på studier där höga infraljudsnivåer från vindkraftverk har kunnat detekteras på betydande avstånd, men där reviderade analyser visat att de initialt rapporterade infraljudsnivåerna varit behäftade med systematiska metodiska överskattningar. I ett tyskt fall analyserades infraljud uppmätt med infraljudsarrayer, där infraljudsnivåer av liknande storleksordning som i artikeln rapporterades (41). Vid en reviderad analys justerades dock infraljudsnivåerna ned med cirka 30–35 dB, beroende på frekvens, för de komponenter som i originalstudien tolkats som vindkraftsrelaterade (42). Detta illustrerar att infraljud kan detekteras på stora avstånd, men att tolkningen av absoluta nivåer är metodkänslig.

Sammantaget understryker detta vikten av att betrakta de höga härledda ljudeffektnivåerna vid 1 Hz med försiktighet, särskilt när en samlad energimässig rimlighetsbedömning saknas samt att det finns oklarheter kring påverkan av vindförhållanden och/eller andra störkällor samt mer generella modellantaganden.

6.2.5 Mätperiodens längd

En annan osäkerhet, vid tolkning av de mätresultat som redovisas i artikeln, är vilken integreringstid (mätperiodens längd) som använts vid analys av mätdata. Motsvarar de redovisade mätvärdena vid 1 Hz en momentan högsta ljudeffektnivå, är det medelvärdet över en viss tidsperiod (till exempel 1–10 minuter) eller är det ett medelvärde över hela mätperioden och hur lång är då denna mätperiod? I konferensartikeln anges att mätning vid vindpark Lervik gjordes med 1 minuts mätperioder (40):

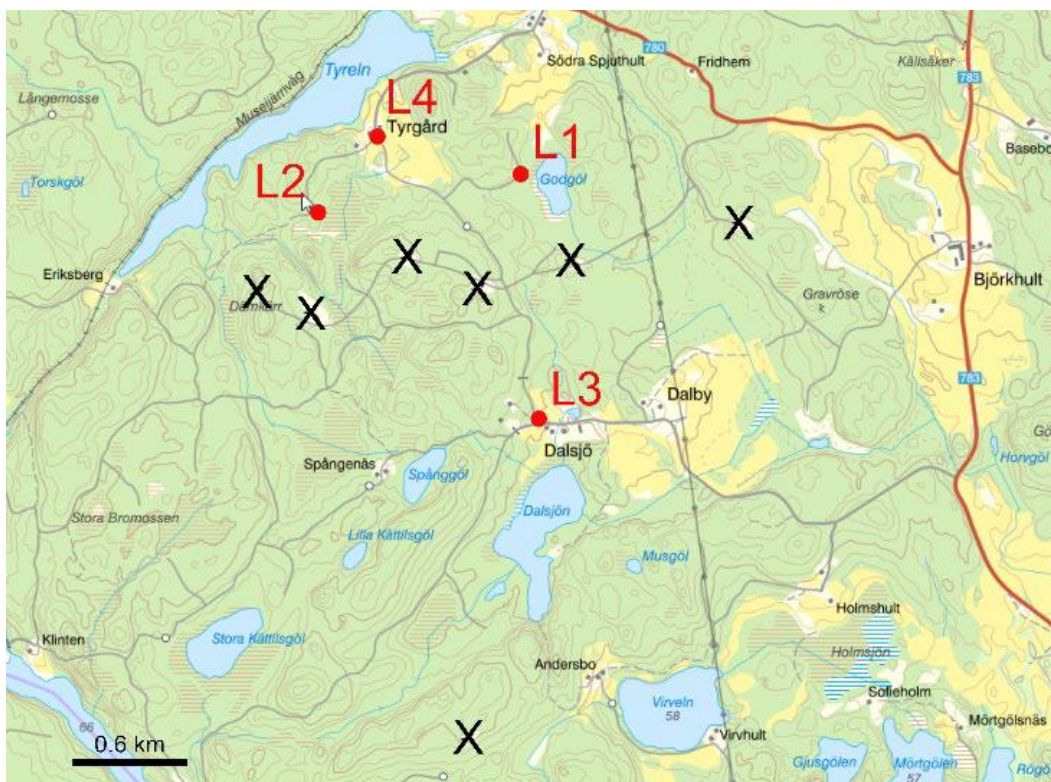
“The PSDs of the four microphone signals, recorded simultaneously at four locations over a one-minute measurement period”

Det är dock oklart hur den slutliga analysen i artikeln har gjorts, vilket är information som bör redovisas tydligt. Som jämförelse framgår det tydligt i den finska studien (20) att mätvärdena motsvarar 10 minuters ekvivalent ljudnivå, men att det även gjorts analys med 1 minuts mätperioder för en mer detaljerad analys.

Då val av mätperiodens längd har relevans vid tolkning av infraljudsnivåerna får det ses som en brist att detta inte framgår tydligt.

6.2.6 Utelämnade mätpunkter

En annan frågeställning är varför inte alla mätpunkter har använts vid validering av ljudutbredningsmodellen för vindpark Lervik? Som framgår av konferensartikeln (40) har ljudmätningar utförts i fyra mätpunkter enligt Figur 4 (Fig. 4. i konferensartikeln). I artikeln används och redovisas dock bara en mätpunkt (motsvarande L4 i Figur 4).



Figur 4. Mätpunkter vid vindpark Lervik enligt konferensartikelns Fig. 4. (40).

Frågan är således varför inte resultat från samtliga fyra mätpunkter redovisas i artikeln och om även dessa visar på god överensstämmelse med simuleringarna. Om tre mätpunkter utelämnas har det dessutom betydelse för bedömningen av osäkerheten vid bestämning av ljudeffektnivån och därmed även för valideringen av ljudutbredningsmodellen, särskilt om variationen mellan mätresultaten är stor.

Att information som redovisas i konferensartikeln utelämnas i huvudartikeln gäller även de beräkningsresultat som redovisas för vindparkerna Tvinnesheda och Karskruv, i artikelns avsnitt 7.3 (Simulation of infrasound at Tvinnesheda and Karskruv wind farms). Av konferensartikeln framgår att ljudmätning utförts i fyra mätpunkter kring vindpark Tvinnesheda och resultat presenteras i Fig. 8 i konferensartikeln. Varför dessa mätdata inte använts i artikeln, i stället för att anta ljudeffektnivåer från vindpark Målarberget, framgår inte. Det vore här högst relevant att veta om mätvärdena stämde med de beräkningar, utifrån antagna ljudeffektnivåer, som redovisas i artikeln. Sammantaget ger detta upphov till osäkerheter vid bedömningen av de resultat och slutsatser som redovisas i artikeln.

6.3 Sammanfattning – Uppsala universitets forskningsstudie

I stort är det en väl genomförd och intressant artikel och studie som uppfyller den huvudsakliga projektbeskrivningen avseende modellering och verifiering av ljudutbredning i boendemiljö.

Däremot framstår slutsatserna, framför allt i de delar som rör eventuell hälsopåverkan, som mer långtgående än vad resultaten i studien i sig ger stöd för. Studien innehåller faktiskt ingen del som undersöker eventuella störnings- eller hälsoeffekter, utan

behandlar en beräkningsmodell för ljudutbredning utomhus. Artikelförfattarnas resonemang framstår i stor utsträckning som tolkningar av tidigare studier snarare än som direkta slutsatser av det empiriska underlaget i den aktuella studien.

Det finns även osäkerheter kopplade till validering och resultat rörande: kalibrering av mätutrustning, vindens påverkan, beräkningsmodellens validering, antaganden om vindkraftverkens ljudeffektnivå, mätperiodernas längd och utelämnade resultat från mätpunkter i studien.

Artikeln hade sammanfattningsvis tjänat på ett mer återhållet resonemang om hälsoeffekter och en mer omfattande redovisning av förutsättningar och osäkerheter.

Sammantaget innebär detta att studiens resultat bör tolkas med viss försiktighet, särskilt när de används som underlag för långtgående slutsatser om hälsopåverkan.

7 Referenser

1. **Nilsson, M. E., Bluhm G., Eriksson G. och K., Bolin.** *Kunskapsammanställning om infra- och lågfrekvent ljud från vindkraftsanläggningar: Exponering och hälsoeffekter, Slutrapport till Naturvårdsverket.* 2011-11-28.
2. **Mattsson, K. et al.** *Efficient finite difference modeling of infrasound propagation in realistic 3D domains: Validation with wind turbine measurements.* u.o. : Applied Acoustics, 2025-11-01. Applied Acoustics 243 (2026) 111156.
3. **International Electrotechnical Commission - IEC.** *IEC 61400 11:2012/AMD1:2018, Wind turbines – Part 11: Acoustic noise measurement techniques.* u.o. : IEC, 2018.
4. **Møller, H och Pedersen, C. S.** *Hearing at Low and Infrasonic Frequencies.* u.o. : Noise & Health 2004, 6;23, 37-57, 2004.
5. **Miljøstyrelsen.** Grænseværdier for lavfrekvent støj, infralyd og vibrationer. [Online] [Citat: den 05 02 2026.] <https://mst.dk/erhverv/rent-miljoe-og-sikker-forsyning/stoej/stoejgraenser>.
6. **Jakobsen, J.** *Danish guidelines on environmental low frequency noise, infrasound and vibration.* u.o. : JOURNAL OF LOW FREQUENCY NOISE, VIBRATION AND ACTIVE CONTROL, 2001-03-02.
7. **Romański, L. et al.** *The impact of infrasounds generated by wind power stations on a human being. Vol. 20, No.1, pp.155-166 .* u.o. : Agricultural Engineering , April 2016.
8. **Naturvårdsverket.** *Vägledning om buller från vindkraftverk.* u.o. : Naturvårdsverket, 2020-12-01.
9. **Folkhälsomyndigheten.** *FoHMF 2014:13, Folkhälsomyndighetens allmänna råd om buller inomhus.* u.o. : Folkhälsomyndigheten, 2014.
10. **Naturvårdsverket.** *Ljud från stora vindkraftverk.* u.o. : Naturvårdsverket, 2025.
11. **Vindval.** *RAPPORT 7013, Vindkraftens påverkan på människors intressen.* u.o. : Naturvårdsverket, Oktober 2021.

12. **SVEA HOVRÄTT, Mark- och miljööverdomstolen.** M 4293-18, Stockholm : SVEA HOVRÄTT, Mark- och miljööverdomstolen, 2019-05-09.
13. **Pierpoint, N.** *Wind turbine syndrome: A report on a natural experiment.* Santa Fe : K-Selected Books, 2009.
14. **Enbom, H, et al.** Infraljud från vindkraftverk – en förbisedd hälsorisk. [Online] [Citat: den 06 02 2026.] <https://lakartidningen.se/opinion/debatt/infraljud-fran-vindkraftverken-halsorisk/>.
15. **Nilsson, M. E., Bolin, K. och Bluhm, G.** Vindkraftsbuller är inte ett infraljudsproblem. [Online] [Citat: den 06 02 2026.] <https://lakartidningen.se/opinion/debatt/vindkraftsbuller-ar-inte-ett-infraljudsproblem/>.
16. **Enbom, H.** #21 - Dr. Håkan Enbom: Kan infraljud från vindkraft trigga migrän? Fysiologiska mekanismerna bakom - Tidslinjen Podcast. *Tidslinjen Podcast.* [Online] [Citat: den 06 02 2026.] #21 - Dr. Håkan Enbom: Kan infraljud från vindkraft trigga migrän? Fysiologiska mekanismerna bakom - Tidslinjen Podcast | Lyssna här | Poddtoppen.se.
17. **Enbom, H.** Infrasound Affects the Brain – Dr. Håkan Enbom, M.D., Ph.D., Copenhagen 2025. *YouTube.* [Online] [Citat: den 06 02 2026.] <https://www.youtube.com/watch?v=emtKaQ5O1N8>.
18. **Krahé, D. et al.** *Lärmwirkungen von Infraschallimmissionen, Abschlussbericht.* u.o. : Ressortforschungsplan des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, April 2020.
19. **Government of Canada.** Wind Turbine Noise. [Online] [Citat: den 06 02 2026.] <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/health-risks-safety/radiation/everyday-things-emit-radiation/wind-turbine-noise.html>.
20. **Maijala, P. et al.** *Infrasound Does Not Explain Symptoms Related to Wind Turbines.* u.o. : Statsrådets kansli, 2020-06-22.
21. **Marshall, N. S. et al.** *The Health Effects of 72 Hours of Simulated Wind Turbine Infrasound: A Double - Blind Randomized Crossover Study in Noise-Sensitive, Healthy Adults.* u.o. : Environmental Health Perspectives, Mars 2023.
22. **van Kamp, I. och van den Berg, G. P.** *Health effects related to wind turbine sound: an update.* Nederländerna : National Institute for Public Health and the Environment (Nederländerna), på uppdrag av Swiss Federal Office for the Environment (FOEN) (Schweiz), 2020. RIVM report 2020-0150.
23. **Weichenberger, M. et al.** *Altered cortical and subcortical connectivity due to infrasound administered near the hearing threshold - Evidence from fMRI.* u.o. : PLOS, 2017-04-12.
24. **Forlim, C. G. et al.** *Resting state network changes induced by experimental inaudible infrasound exposure and associations with self-reported noise sensitivity and annoyance.* u.o. : Nature, Scientific Reports, 2024.

25. **Mattsson, K.** Infraljud - ljudvågor som inte hörs men ändå påverkar oss. [Online] Vindkraftupplysningen, den 12 11 2024. [Citat: den 06 02 2026.] <https://www.youtube.com/watch?v=sGWYUHWYWzc&themeRefresh=1>.
26. **Mattsson, K.** Vindkraftens mörka hemlighet. [Online] Svenska Epoch Times AB, den 06 01 2024. [Citat: den 06 02 2026.] <https://www.youtube.com/watch?v=7khku1xUgkl>.
27. **Mattsson, K.** Föreläsning om infraljud&buller från vindkraftverk . [Online] Rättvisa Vindar Katrineholm, den 02 03 2025. [Citat: den 06 02 2026.] <https://www.youtube.com/watch?v=64LJ5FSRWtk>.
28. **Mattsson, K.** Infralyd og støy fra vindkraft. Vitenskap, fakta og løgner. [Online] Motvind Lillestrøm og Aurskog-Høland, 06 2025. [Citat: den 06 02 2026.] <https://www.youtube.com/watch?v=3dDKX7LdsIO>.
29. **Mattsson, K.** Ken Mattson förklarar: Så här farliga är vindkraftverken. [Online] Riks, den 15 03 2025. [Citat: den 06 02 2026.] <https://www.youtube.com/watch?v=BUPCPOGn1bE>.
30. **Mattsson, K.** Professor Ken Mattsson om infraljud, vindkraft och dess eventuella påverkan på människor. [Online] Tidslinjen Podcast, den 22 10 2024. [Citat: den 06 02 2026.] <https://poddtoppen.se/podcast/1734115831/tidslinjen-podcast/18-professor-ken-mattsson-om-infraljud-vindkraft-och-dess-eventuella-paverkan-pa-manniskor>.
31. **Mattsson, K.** Separating Myth from Fact on Wind Turbine Noise – Prof. Ken Mattsson, Copenhagen 2025. [Online] Landsforeningen Naboer Til Kæmpevindmøller, den 11 10 2025. [Citat: den 06 02 2026.] <https://www.youtube.com/watch?v=gpHDJPcqCQY>.
32. **Mattsson, K.** Vindkraftens dolda hemlighet – ”det kan kännas”. *Svenska Epoch Times* AB. 2025-01-16.
33. **Mattsson, K. et al.** Vindkraften låter mer än du tror. *Kvartal*. 02, 2025, Vol. 26.
34. **Chilo, J.** Ny forskning undersöker om vindkraft kan orsaka migrän och sömnbrist – ljudet uppfattas inte av människor. [Online] SVT Gävleborg, den 24 06 2025. [Citat: den 06 02 2026.] <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/gavleborg/ny-forskning-vindkraft-kan-orsaka-migran-och-somnbrist-ljudet-uppfattas-inte-av-manniskor>.
35. **Chilo, J.** Infraljud från vindkraftverk kan påverka hälsan. [Online] Högskolan i Gävle, den 10 02 2025. [Citat: den 06 02 2026.] <https://www.hig.se/artiklar/nyheter/nyhetsarkiv/2025-02-10-infraljud-fran-vindkraftverk-kan-paverka-halsan>.
36. **Chilo, J.** Ny forskning mäter vindkraftens tysta ljud: ”Visar höga nivåer”. [Online] Sveriges Radio , den 11 02 2025. [Citat: den 06 02 2026.] <https://www.sverigesradio.se/artikel/ny-forskning-mater-vindkraftens-tysta-ljud-visar-hoga-nivaer>.
37. **Danielsson, Å. och Landström, U.** *Blood Pressure Changes in Man during Infrasonic Exposure, An Experimental Study.* u.o. : Acta Med Scand 1985; 217: 531-5, 1985 .

38. **Landström, U och Byström, M.** *Infrasonic Threshold Levels of Physiological Effects.* u.o. : Journal of Low Frequency Noise, Vibration & Active Control, December 1984.
39. **NORSAR.** [Online] [Citat: den 06 02 2026.] <https://www.norsar.no/home/>.
40. **Koroush, T. et al.** *Infrasound microphone network to monitor wind farm emissions.* Chemnitz, Germany : 2025 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 19-22 maj 2025.
41. **Pilger, C. & Ceranna, L.** *The influence of periodic wind turbine noise on infrasound array measurements.* u.o. : Journal of Sound and Vibration, 388, pp. 188–200., 2017.
42. **Baumgart, J., Fritzsche, C. & Marburg, S.** *Infrasound of a wind turbine reanalyzed as power spectrum and power spectral density.* u.o. : Journal of Sound and Vibration, 508, Article 116310., 2021.
43. **Walker, B., o.a.** *A cooperative measurement survey and analysis of low frequency and infrasound at the Shirley Wind Farm in Brown County, Wisconsin.* Wisconsin : Channel Island Acoustics, Hessler Associates, Rand Acoustics och Schomer and Associates, 2012-12-24.