



UPPSALA
UNIVERSITET

Varför vi ska ta hänsyn till infraljud

Prof. Ken Mattsson

14 juni 2025

Baserat på flera noggranna mätningar från ett antal vindparker (t.ex. Vindpark Målarberget och Vindpark Lervik) har vår forskargrupp kalibrerat ett mycket precist och validerat beräkningsprogram: **SoundSim360**, som kan hantera ljudspridning över stora komplexa områden och bullerkällor över alla frekvenser, inklusive infraljud (frekvenser under 20 Hz). Vi har under början av 2025 sammanställt alla våra mätningar och beräkningar. All analys och alla mätvärden och beräkningar finns redovisade i en vetenskaplig artikel <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5165452> som just nu genomgår granskning i en framstående vetenskaplig journal. Delar av dessa resultat kommer vi använda i denna kompletterande rapport.

Jag har tagit del av Naturvårdsverkets senaste rapport: **Ljud från stora vindkraftverk**. Det finns ett antal påståenden i denna rapport som jag anser är felaktiga och som saknar vetenskapligt stöd. Jag med flera har påtalat detta för Magnus Lindqvist, nationell bullersamordnare vid Naturvårdsverket (utan resultat). Jag kommer här att lista 4 påståenden hämtade från rapporten och därefter gå igenom det vetenskapliga stöd som talar emot dem.

1) Stora vindkraftverk innebär inte mer lågfrekvent ljud, förekomst av låga frekvenser beror mer på vindkraftverksmodell [2, 35]., 2) Nord2000 är en lämplig beräkningsmodell för beräkning av ljud från stora vindkraftverk [1]., 3) Beräkning är mer tillförlitligt än mätning och har säkerhetsmarginal. och 4) Det finns enligt Naturvårdsverkets bedömning ingen evidens för påverkan på människor orsakat av infraljud från vindkraftverk [52, 21].

Jag har läst flera beslut från Länsstyrelser i olika län, där drabbade människor försökt överklaga felaktigt utföra ljudemissionsberäkningar. Jag listar några felaktiga påståenden: 1) Länsstyrelsen bedömer att det inte finns skäl att kräva mätning av lågfrekvent ljud inomhus. Länsstyrelsen anser att en Nord2000 beräkning av ljudnivån vid husfasad är mer tillförlitlig och där man sedan utgår från en uppskattad fasaddämpning [15]., 2) För att en ny beräkningsmodell ska kunna användas behöver den först testas och valideras med mätningar på representativa platser. Länsstyrelsen anser att ljudberäkningar med SoundSim360 inte är utförd enligt gällande praxis (beräkningsmodell Nord2000) och att det därmed inte går att säkerställa att det sker ett överskridande av den ekvivalenta ljudnivån. och 3) En immissionsmätning mäter allt ljud, det vill säga även bakgrundsljudet. Resultatet av en immissionsmätning kan därför endast verifiera att en viss ljudnivå innehålls men aldrig bevisa ett överskridande då det inte går att säkerställa hur mycket bakgrundsljudet bidragit till överskridandet.

Sammanfattning

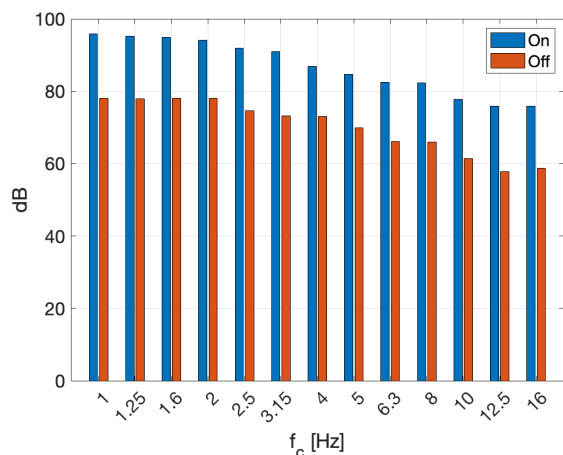
Min rekommendation är att man genomför långtidsmätningar på plats både inomhus och utomhus hos de drabbade som efterfrågar detta. Dessa mätningar ska genomföras av oberoende mätexperter och inte utföras av akustik konsulterna som tog fram underlaget till vindkraftbolaget. Jag kräver också att man mäter upp infraljudet (både inomhus och utomhus). Infraljud är bevisligen potentiellt hälsovådligt vid nivåer kring 95 dB och högre. Min forskargrupp har genomfört mer än 5 noggranna mätningar av infraljudet kring ett par olika vindkraftparker. Det visar att infraljudsnivån ligger betydligt högre än 95 dB under vissa dagar. Det är viktigt att undersöka hur ljudnivån varierar över tid. Vår forskargrupp har också sett att ljudnivån är betydligt högre under vinterhalvåret, varför man måste inkludera mätningar under vintern, när marken är snötäckt. Min rekommendation är att man ska ta hänsyn till SoundSim360 beräkningarna, som bygger på validerad och verifierad metod, som även kan beräkna infraljudsnivåer. Nord2000 modellen har vi och andra visat är otillräckligt för att beräkna ljudnivån på 1 km avstånd. Nord2000 kan heller inte beräkna infraljud och inte heller lågfrekvent ljud på relevanta avstånd (minst 1 km). Nord2000 togs fram för att räkna (högfrekvent) trafikbuller på kortare avstånd i platt terräng (några hundra meter).

Vi föreslår att man snarast skall undersöka infraljudets påverkan på hälsa genom att frivilligt exponera ett statistiskt urval av befolkningen (ca 1000 personer) för minst 95 dB pulserande infraljud vid valda frekvenser i infraljudsområdet under några timmar. Urvalet bör helst inkludera försökspersoner med bevisad känslighet för migrän. För detta försök bör en expert på otoneurologi anlitas.

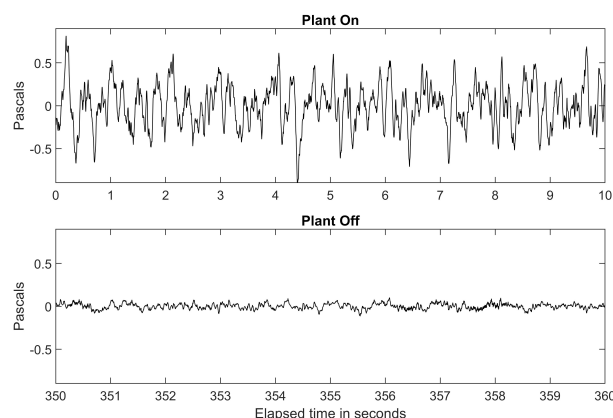
Varför långtidsmätningar är nödvändiga

Påstående: *En immissionsmätning mäter allt ljud, det vill säga även bakgrundsljudet. Resultatet av en immissionsmätning kan därför endast verifiera att en viss ljudnivå innehålls men aldrig bevisa ett överskridande då det inte går att säkerställa hur mycket bakgrundsljudet bidragit till överskridandet.*

Det här stämmer inte alls. Ska man mäta upp ljudnivån för en eller flera bullerkällor krävs att man kan uppskatta bidraget från andra källor, ofta benämnt bakgrundsljudet. Detta kan man göra genom att vid en mätning stänga av det källor man avser mäta (i detta fall vindkraftverken). Här måste man samtidigt studera ljudspektrum mer grundligt för att se vilka frekvenser (tersband) som är dominerande. Om bakgrunds-nivån är signifikant lägre (mer än 5 dB lägre) utan bullerkällorna aktiva så kan man med säkerhet fastställa ljudnivån från bullerkällorna [18, 39, 17]. Vid vindpark Målarberget genomförde vi den 23 oktober 2024 en mätning av infraljudet när verken var på, och strax efter då alla verken slogs av p.g.a. negativa elpriser, se Figur 1. Detta bevisar att vindkraftverken är orsaken till de höga infraljuden kring vindkraftsparken, då bakgrunden ligger på ca 18 dB under nivån med verken påslagna. Vi har sett samma resultat (dvs. 18 dB högre infraljud med verken påslagna) vid vindpark Lervik den 21 maj 2024. Summerar man alla tersband i infraljudsområdet (från mätningen i Figur 1) då verken snurrar får man värdet 102.7 dB, vilket motsvarar 25.6 dBA och 73.9 dBC. När verkan är avslagna får man motsvarande värden 85.9 dB, 7.7 dBA och 56.8 dBC. Detta är alltså de effektiva infraljudsnivåerna i dB, dBA och dBC (under 20 Hz). Vi vill samtidigt betona att vi inte inkluderar frekvenser under 1 Hz här, då dessa inte kan mätas noggrant med nuvarande mätutrustning. Vi förväntar oss att nivåerna är som högst kring 0.2 eller 0.4 Hz. Det finns också flera mätningar som visar på högre nivåer (ca 5 dB) av infraljudet inomhus [16, 7, 8, 11]. De värden vi redovisar är från mätningar utomhus.



(a) Ljudnivån (dB tersband)



(b) Ljudtrycket (Trycket i Pascal)

Figur 1: Noggrann mätning av infraljud med (On) och utan (Off) verk påslagna. Inspelningen av ljudet (höger).

När det kommer till det hörbara ljudet (frekvenser mellan 20 – 20000 Hz) används vanligen A-viktning. Här tas nästan ingen hänsyn till det lågfrekventa bullret. Det har visat sig att bullernivån varierar med atmosfärs förhållanden och markegenskaper. Vädret, kuperad terräng och markytans egenskaper kan ge variationer på upp till 20 dBA på ett avstånd av ca 1 km till en vindkraftspark, vilket är visat i en rad tidigare studier [18, 39, 17]. En långtidsmätning (under ett helt år) genomförd av Conny Larsson 2014 [18, 39] visar att ljudvariationen är som störst under kvällar och nätter, och i synnerhet vid snötäckt mark. Ett synnerligen störande "swishande" amplitudmodulerat (AM) ljud förekommer främst under kvällar, nätter och morgnar. AM ljudet observerades vid 19 % av tiden på ett avstånd av 1 km, under den ett-åriga mätperioden [18, 39]. AM ljud påverkas av förhållandena i utbredningsvägen och ljudinterferens mellan olika verk kan uppkomma. Amplitudmodulerat ljud sprids mer än 10 km [37], och det pulserande ljudet är samtidigt betydligt mer störande jämfört med kontinuerligt ljud med samma dBA nivå. AM ljudet är oftast som kraftigast under vinterkvällar då inversion inträffar. Thomas Lagö genomförde 2019 [17] en tvåveckors mätning vid en närboende till 4 vindkraftverk (det närmsta 650 meter ifrån bostaden). Resultatet av den mätningen visar att ljudnivån varierar med minst 20 dBA, och ofta ligger nivån betydligt över den lagstadgade 40 dBA nivå. Vi har sett liknade variation under långtidsmätningar nere i Sötterfällan där Nord2000 beräkningen visar på 37.6 dBA hos två närboende, men oftast ligger nivån (genom noggranna mätningar) över 45 dBA kvällstid och ibland så högt som 60 dBA. Jag vill samtidigt betona att vi genomfört en rad mätningar på samma platser då verken varit avslagna och då ligger nivån mellan 28-33 dBA. Liknade måtanalys finns redovisad i [18, 39, 17]. Vi delar gärna en mer utförlig redovisning vid efterfrågan. Dessa resultat från Sötterfällan har presenterats i tidningar och inspelade offentliga

presentationer (länkar kan ges vid efterfrågan).

Jag anser med bestämdhet att en oberoende långtidsmätning som inkluderar vinterhalvåret ska genomföras hos ett antal närboende (till moderna Vindparker), där man inkluderar även infrajudet. Att låta akustikkonsulter betalda av vindkraft bolagen utföra denna långtidsmätning kan inte anses vara en oberoende mätning då de ansvarade att ta fram den ursprungliga ljudemissions beräkningen med Nord2000 modellen. Här bör man även utföra mätningen utan att informera ägarna av vindparken, eftersom de då har möjlighet att reglera effektuttaget på verken som påverkar ljudeffekten.

Varför man måste mäta det lågfrekventa ljudet på plats inomhus

Påstående: Länsstyrelsen bedömer att det inte finns skäl att kräva mätning av lågfrekvent ljud inomhus. Länsstyrelsen anser att en Nord2000 beräkning av ljudnivån vid husfasad är mer tillförlitlig och där man sedan utgår från en uppskattad fasaddämpning [15].

Att förlita sig på en Nord2000 beräkning av den lågfrekventa ljudnivån vid husfasad och sen utgå från en tabulerad fasaddämpning [15] som inte är validerad för Svenska hus och som dessutom är hårt kritiserad av akustiker [36] är en högst tvivelaktig metod. Man måste mäta upp det lågfrekventa ljudet på plats, inomhus. Lågfrekvent buller är ett av de största miljöhälsoproblemen vi har idag och den som utsätts för buller under längre tid löper ökad risk att få hjärt- och kärlsjukdomar [9, 54], som är den vanligaste dödsorsaken i Sverige. Det finns tydliga bevis för att det lågfrekventa ljudet från vindkraft påverkar sömnen negativt och ökar med närheten till vindkraftverken [38]. Att utgå från en tabell för hur ljudet dämpas i en vägg är en högst osäker metod. Osäkerheten i Nord2000 modellens förmåga att beräkna lågfrekvent ljud gör denna uppskattning ännu mer osäker. Jag och flera experter betonar vikten av att genomföra en långtidsmätning inomhus, liknande det Thomas Lagö genomförde 2019 [17] under en tvåveckors mätning. Folkhälsomyndighetens rekommendationer (som berör tersbanden mellan 31.5-200 Hz) bör man säkerställa att man följer, genom långtidsmätning på plats inomhus. Jag har själv pratat med ledande konsulter inom akustik som medger att inget nuvarande beräkningsprogram klarar att uppskatta transmission av lågfrekvent buller under 50 Hz. Sen anser jag att man bör mäta alla frekvenser under 200 Hz noggrant inomhus, även infrajudet. Det finns tydliga bevis från noggranna mätningar [16, 7, 8, 11] att infrajudet kan öka med 5 dB inomhus (jämfört med utomhus). Man bör i detta avseende också mäta upp vibrationer i huset eftersom vindkraftverk även producerar kraftiga mark vibrationer som sprids flera kilometer [14]. Samverkan mellan lågfrekvent ljud och vibrationer bidrar till en ökad hälsopåverkan. **Inomhusmätningar är något vi har möjlighet att göra (för alla frekvenser mellan 0.1 - 200 Hz, inklusive vibrationer) och som vi kommer att genomföra senare detta år på lämpliga platser. Resultaten kommer att publiceras i vetenskaplig artikel.**

Sen är frågan om lågfrekvent bullerpåverkan (alla frekvenser under 200 Hz) en större fråga, som man tidigare lyft fram i bl.a. rapporten [54], som togs fram av arbets- och miljömedicin vid Göteborgs universitet på uppdrag av den nationella bullersamordningen. I denna rapport efterlyser man nya och bättre metoder för både mätningar och beräkningar av lågfrekvent ljud, med fokus på bullernivåer inomhus. Man kom här också fram till att dBA är ett dåligt mått att använda för att klassificera störningskänslig nivå. 40 dBA uppfattas väldigt olika, beroende på hur mycket lågfrekvent ljud som ingår. 40 dBA med en större andel lågfrekvent ljud uppfattas som mer störande enligt rapporten [54]. **Kort sagt behöver man nya regelverk kring lågfrekvent bullerpåverkan, där man bör skrota dBA som mått. Vi föreslår att man istället sätter gränser vid ett urval av tersband, som återstår att enas om. Man behöver också nya beräkningsmetoder som kan beräkna lågfrekvent bullerspridning över stora områden, i stadsmiljö och som kan räkna transmission genom fasader.** I dagsläget saknas beräkningsprogram för lågfrekvent buller, i synnerhet om man vill beräkna transmissionen genom fasader för ljud under 50 Hz. Detta är något som beräkningsprogrammet SoundSim360 klarar och var ett av huvudmotiven till att utveckla programmet.

Varför man måste genomföra nya mätningar på stora vindkraftverk

Påstående: Stora vindkraftverk innebär inte mer lågfrekvent ljud, förekomst av låga frekvenser beror mer på vindkraftverksmodell [2, 35].

Det här är en direkt lögn. Om man studerar de dokument som åberopas (som är listade under danska miljöministeriets hemsida) så ser man att de två rapporter (båda från 2010) [2, 35] som åberopas motsäger varandra. I en senare dansk studie [48] är slutsatsen följande: "Noise and low frequency noise increases with wind turbine size". Det är med andra ord en lögn att påstå att storleken på verken (och då avser jag effekten och inte enbart höjden) inte påverkar mängden lågfrekvent ljud. Den största ökningen avser dock mängden infrajud. Ljudenergin ökar med effekten på verken. Exakt hur denna ljudenergi fördelar sig över frekvenserna kan man bara förstå genom att mäta upp ljudspektrum för de nya större verken och jämföra mot de äldre betydligt mindre. En oberoende och publicerad studie som även inkluderar infrajudet saknas idag (vad jag vet). Det vi

ser i våra mätningar är att infraljudet är väldigt högt för dessa nya och mer kraftfulla vindkraftverk, betydligt högre än de gamla studierna som bla redovisas i [53].

Nord2000 modellen är bevisligen otillräcklig för vindkraftsbuller

Påstående: *För att en ny beräkningsmodell ska kunna användas behöver den först testas och valideras med mätningar på representativa platser. Den beräkningsmetod som används för beräkning av ljud från vindkraft i Sverige, Nord2000, täcker behovet för att beräkna ljudutbredning även från stora vindkraftverk. Beräkningarnas resultat med Nord2000 har hög noggrannhet jämfört med mätningar [1]. Länsstyrelsen och Naturvårdsverket anser att SoundSim360 beräkningar inte är utförd enligt gällande praxis (beräkningsmodell Nord2000) och därmed inte validerad.*

Jag bestrider detta påstående. För det första visade vi redan 2014 [6] att den strålgångsmetod som Nord2000 bygger på inte kan beräkna lågfrekvent buller på avstånd över 1 km i svagt kuperad terräng. De långtidsmätningar som Conny Larsson genomförde 2014 [18] visar att Nord2000 i genomsnitt ger mellan 5-7 dBA för låga värden på 1 km avstånd från närmsta verk, jämfört med noggranna mätningar. Naturvårdsverket påstår att Nord2000 är validerad för beräkning av vindkraftsbuller och refererar till en internrapport från 2009 [1]. **Om man läser denna rapport [1] som Naturvårdsverket lyfter fram ser man att Nord2000 inte klarar att beräkna lågfrekvent buller (buller under 200 Hz) på avstånd över 1 km, det blir 5-10 dB för låga värden jämfört med mätningar. Nord2000 är med andra ord bevisligen inte validerad att klara bullerspridning på avstånd kring 1 km (och längre).** Detta styrks även av andra långtidsmätningar av vindkraftsbuller [39, 17] som visar att bullernivån kan variera upp till 20 dBA på avstånd kring 1 km från närmsta vindkraftverk. Bullernivåer som överstiger 50 dBA vid bostäder ses ofta kring vindkraftsparker, och i vissa fall upp till 60 dBA [17]. De höga nivåerna uppträder då AM ljud förekommer, främst under kvällar, nätter och tidiga morgnar, och blir extra kraftigt under vinterhalvåret då marken är snötäckt [18, 39]. **Att påstå att Nord2000 klarar att beräkna bullernivån tillförlitligt är en lögn. Här skulle jag vilja se en oberoende och publicerad långtidsmätning som stöder att Nord2000 är ordentligt validerad på avstånd upp till 1 km.** Den beräkningsmetod som SoundSim360 bygger på benämns i litteraturen för SBP-SAT metoden, och är en väldokumenterad och validerad metod för ljudutbredning över komplexa och stora avstånd. Vi har mer än 20 publicerade artiklar där metoden är verifierad och validerad, där jag här listar några av de viktigaste publikationerna [28, 27, 29, 25, 26, 24, 30, 6, 23, 31, 44, 32, 34, 20, 5, 50, 49, 33, 40]). Vi har nu under 2 års tid validerat SoundSim360 mot noggranna mätningar kring vindkraftparker. Allt detta finns dokumenterat i en vetenskaplig artikel, som avvaktar godkännande. Vi visar tydligt att våra mätningar och beräkningarna med SoundSim360 stämmer väldigt bra på avstånd upp till 2 km (typiskt inom 2 dB osäkerhet) från närmsta vindkraftverk. I vår artikel från 2014 [6] finns en tydlig validering av vår beräkningsmetod SBP-SAT mot ett publicerat benchmark problem [41]. Så jag vill nog påstå att vår beräkningsmetod är noggrant validerad och verifierad. All analys och alla mätvärden och beräkningar finns redovisade i en vetenskapligt artikel <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5165452> som just nu genomgår granskning i en framstående vetenskaplig journal.

Djupgående analys av infraljudet kring Tvinnesheda och Karskruv

Påstående: *Det finns enligt Naturvårdsverkets bedömning ingen evidens för påverkan på människor orsakat av infraljud från vindkraftverk [52, 21]*

Jag motsäger mig detta utlåtande. Jag skulle vilja påstå att det finns tydliga bevis för att infraljud vid nivåer kring 95 dB (och högre) ger signifikant hälsopåverkan. Vid de mätningar vi genomfört under perioden 26 oktober 2023 till 16 december 2024 har vi mätt upp nivåer mellan 92-115 dB vid 1 Hz, kring vindkraftparker på ett avstånd mellan 500-1000 m från närmsta verk. Det finns studier som Naturvårdsverket och Svensk Vindenergi lyfter fram som *bevis* för att infraljud från vindkraft inte orsakar negativ påverkan på människor, där dessa tre rapporter [52, 22, 21] är de som ofta åberopas på senare tid. Det jag kan säga efter att ha läst igenom dessa och otaliga tidigare rapporter (som påstås visa att infraljud från vindkraftverk inte har någon negativ påverkan, t.ex. [10]) är att ingen av dessa studerat de doser som vi mäter upp i närheten av vindkraftverk. Ingen av dessa studier har heller involverat någon neurofysiolog. Det finns studier som kopplar infraljudspåverkan (då styrkan ligger mellan 80-90 dB infraljud) till ökad hjärnaktivitet i vitala delar av hjärnan [45, 55, 13]. Enligt specialister på otoneurologi, såsom Håkan Enbom och professor Alec N. Salt [45, 46, 47], finns starka indikationer på att ohörbart infraljud kan trigga migrän hos 30% av befolkningen, vilket är andelen människor som bevisligen har ett högkänsligt nervsystem [19, 42]. Påverkan är enligt experter på området högst individuellt. Jag kan intyga att jag själv och en till i teamet som mäter infraljud har uppvisat sömnproblem (upp till en vecka) och migrän dagen efter varje mätning kring vindkraftverk (då vi bevisligen mätt upp minst 95 dB vid 1 Hz). I dessa fall har vi exponerats

för infraljudsnivåer på drygt 95 dB kring tersbandet 1 Hz under minst 4 timmar (vilket motsvarar ca 103 dB om man inkluderar alla frekvenser mellan 1-20 Hz, se Figur 1 som exempel). Liknande symtom vid infraljuds mätningar har rapporterats av andra som tidigare varit ute och mätt infraljud från vindkraft [7], då dosen varit betydligt lägre än 95 dB vid 1 Hz. Redan 1985 visade Danielsson och Landström [12] att infraljud vid nivåer på 95 dB vid 1 timmes exponering orsakar en ökning av diastoliskt blodtryck och sänkningar av systoliskt blodtryck och pulsfrekvens. Det finns en studie från 2021 [43] som visar tydlig påverkan på hjärtmuskulaturen vid 110 dB infraljud efter 1 timmes exponering. Nyare studier visar också att många djur flyttar mer än 5 km från vindkraftverken, i synnerhet hjortdjur och fåglar [51]. De som bor nära vindkraftparker vittnar också om att det är relativt glest med vilda djur. **En viktig aspekt förutom ljudnivån (dB) är formen på infraljudet. Infraljud från vindkraft är i sin form pulserande [16, 7, 8, 11] och olik naturligt förekommande infraljud (som är kontinuerligt).**

Vid de mätningar vi genomfört under perioden 26 oktober 2023 till 16 december 2024 har vi mätt upp nivåer mellan 92-115 dB vid 1 Hz, kring vindkraftparker på ett avstånd mellan 500-1000 m från närmsta verk. Detta motsvarar en total nivå infraljud på mellan 100-125 dB (bidraget från alla frekvenser mellan 1-20 Hz). Som jämförelse utsatte man i den Finska studien [21] ett mindre antal försökspersoner för 73 dB (kontinuerligt) infraljud vid 1 Hz (vilket motsvarade totalt 89 dB infraljud) under 10 minuter. I den Australiensiska studien [22] utsatta man ett mindre antal personer för 87 dB (kontinuerligt) infraljud under 3 dygn. För området kring *Vindpark Karskruv* och *Vindpark Tvinnesheda* är situationen dramatiskt mycket värre vad gäller infraljudsnivån eftersom vi totalt har 47+20 verk (av samma modell som vid Målarberget) som samverkar. I Figur 3 redovisar vi en beräkning över infraljudet (1 Hz) kring kring *Vindpark Karskruv* och *Vindpark Tvinnesheda* för en typisk natt, där vi jämför resultatet med den högsta (177 dB) respektive lägsta ljudeffekten (154 dB) vi mätt upp vid Målarberget.

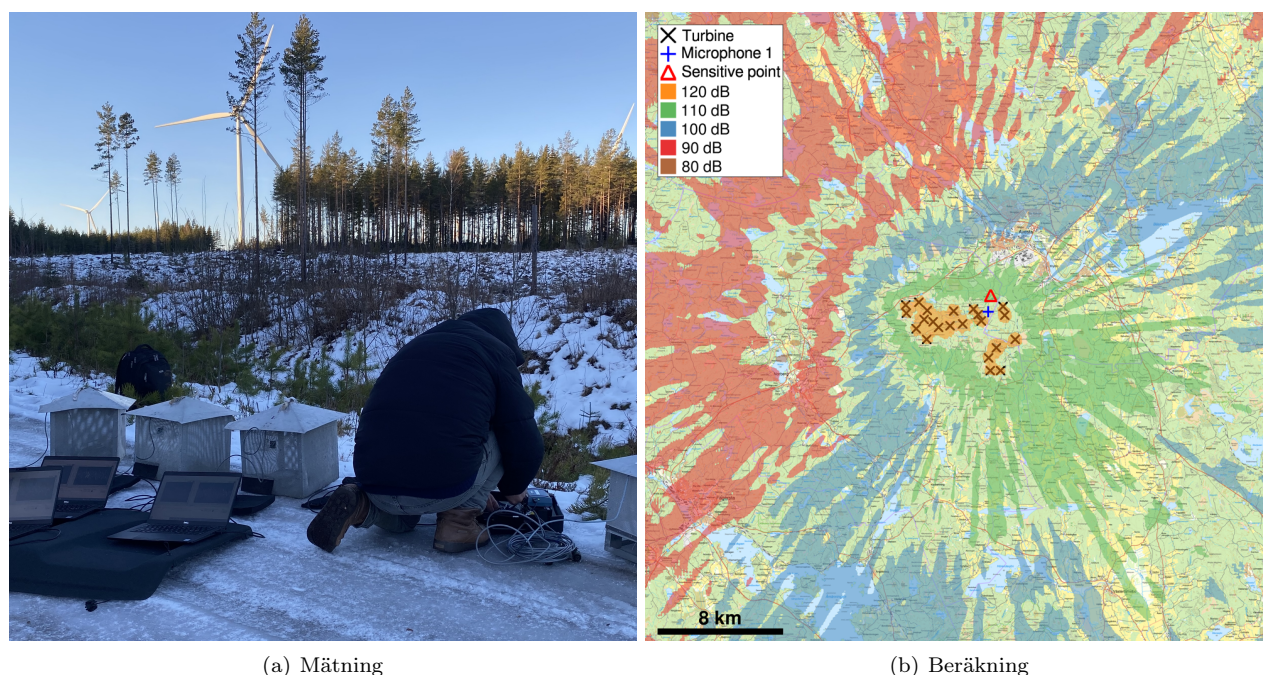
Jag vill här återropa försiktighetsprincipen (2 kap. 3 §): Verksamhetsutövaren ska vidta åtgärder eller begränsningar i sin verksamhet eller vidta andra försiktighetsåtgärder för att förebygga, hindra eller motverka att skada eller andra olägenheter för miljö eller hälsa uppstår.

Mätningar av infraljud

De mätningar som vi genomfört och använt för att kalibrera vår beräkningskod, och för att samtidigt inversmodellera fram källstyrkan (ljudeffekten) hos vindkraftverken i infraljuds området skedde under 21 maj 2024 och 10 september 2024 vid vindpark Lervik, och under 26 oktober 2023, 23 oktober 2024 och 16 december 2024 vid vindpark Målarberget. Vi mätte vid båda parker vid flera (3-4) mätpunkter och vid olika tidpunkter på dygnet för att samla in bra statistik. Vid varje mätning läste vi in aktuella atmosfärdata som vi använde vid inversmodelleringen. Här är det också viktigt att vi får data (t.ex. vilka verk som står still) från driftansvarig under mätperioden. Vid Lervik och Målarberget har det aldrig varit ett problem. Vi har skickat in en vetenskaplig artikel som i mer detalj beskriver mätningarna, mätdata och kalibreringen. Mätdata kan delas vid efterfrågan. Verken vid Målarberget är av modell Vestas V150-4.3 MW. Vid Lervik är verken större, på 6.6 MW (modell SG170-6,6). Med hjälp av noggranna mätningar och inversmodellering i SoundSim360 kan vi beräkna **källstyrkan vid 1 Hz till 154, 158 och 177 dB för de tre mätningarna kring Målarberget. Vid Lervik fick vi fram källstyrkan 159 och 168 dB för de två mätningarna som genomfördes.** Det är alltså en stor variation på källstyrkan, som till stor del är korrelerat till den rådande atmosfären. Ett medelvärde från de fem olika mät dagarna ger 163 dB källstyrka vid 1 Hz.

Beräkningar av infraljud kring Tvinnesheda och Karskruv

I beräkningarna som vi redovisar i Figur 3 har vi använt en representativ atmosfär från 31 mars 2023 (nerladdad väderdata från THREDDS Data Server), och genomfört beräkningar för natten (klockan 04.00). Marktypen är satt som vanlig mark (Impedansklass D) enligt [4]. Atmosfärdämpningen är hämtad från [3]. Vi lägger på 8 m/s medvind åt alla håll enligt praxis. Vi använde källstyrkan (ljudeffekten) 154 dB respektive 177 dB för att beräkna spridningen av infraljudet (i detta fall 1 Hz) kring Tvinnesheda och Karskruv. Verken i Tvinnesheda (Vestas V150-4.3 MW) är identiska med de vid Målarberget. Verken vid Karskruv är också av samma modell (Vestas V150-4.5 MW). Placeringen av verken är tagen från Dokumenten: **10-20064 B01 Ljudberäkning 220323** och **90-22010 A01 Ljudimmissionsberäkning vindpark Tvinnesheda 230627**, från Akustikkonsulten. I Figur 3 redovisar vi en beräkning över infraljudet (1 Hz) kring kring *Vindpark Karskruv* och *Vindpark Tvinnesheda* för en typisk natt, där vi jämför resultatet med den högsta (177 dB) respektive lägsta ljudeffekten (154 dB) vi mätt upp vid Målarberget. Resultatet av dessa beräkningar visar att infraljudsnivån hemma hos en närboende (markerat som *Sensitive point*) som länge klagat på kraftig migrän sedan parken driftsattes pendlar mellan 95-119 dB (vid 1 Hz). Det kan givetvis variera ännu mer, men detta är baserat på alla våra mätningar på denna typ av vindkraftverk. **Här (och för liknande fall) är det angeläget att utföra en långtidsmätning (både inomhus och utomhus) av ljudnivån över alla frekvenser, även infraljudet. Detta för att få säkrare statistik över hur ljudnivån varierar och hur ofta man bryter mot rådande regelverk.**



Figur 2: Mätning och beräkning av infraljud (115.41 dB vid 1 Hz) vid Målarberget 2024-12-16. Vi visar här dB nivån vid 1 Hz. Vi punkten "Sensitive point" bor två familjer (och här är nivån 110.8 dB).

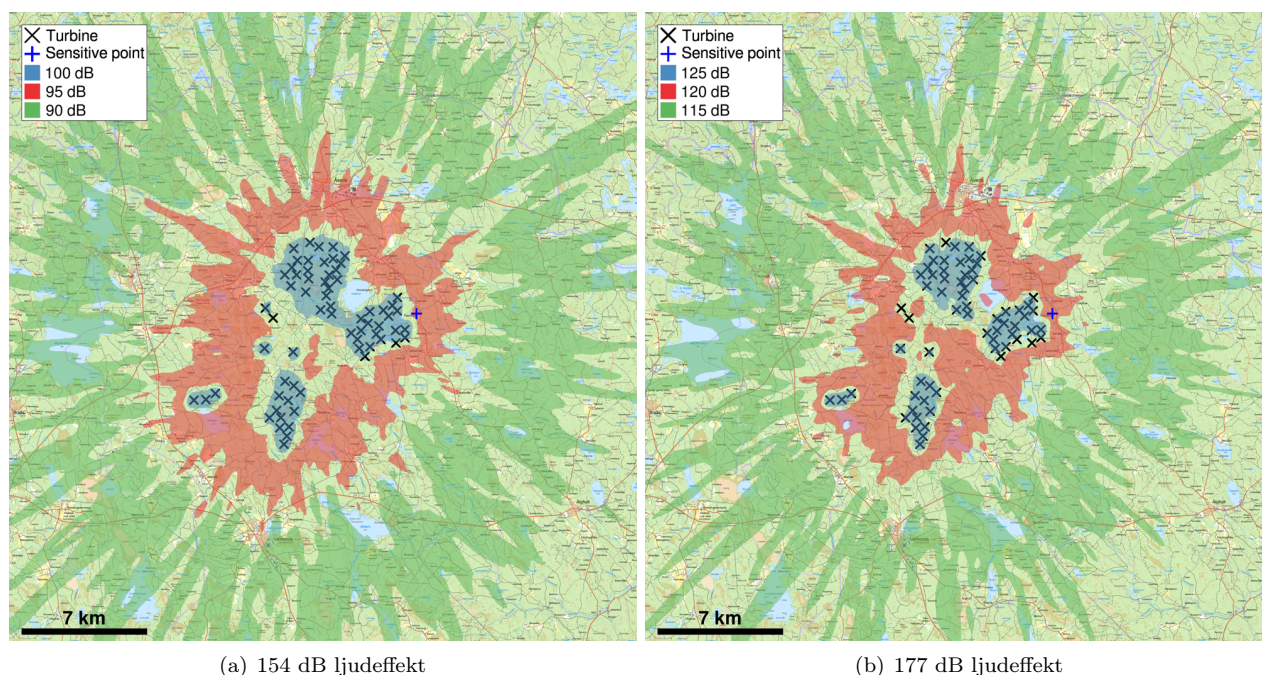
Sammanfattning och slutsatser

Vi vill att man genomför långtidsmätningar på plats både inomhus och utomhus hos de närboende som efterfrågar detta. Vi kräver också att man mäter upp infraljudet. Det är bevisligen potentiellt hälsovådligt vid nivåer kring 95 dB och högre. Vi har genomfört mer än 5 noggranna mätningar av infraljudet kring ett par olika vindkraftparker. Det visar att infraljudsnivån ligger betydligt högre än 95 dB under vissa dagar. Det är viktigt att undersöka hur ljudnivån varierar över tid. Vi har också sett att ljudnivån är betydligt högre under vinterhalvåret, varför man måste inkludera mätningar under vintern, när marken är snötäckt. Vi vill också att man ska ta hänsyn till SoundSim360 beräkningarna, som bygger på validerad och verifierad metod. Nord2000 modellen har vi och andra visat är otillräckligt för att beräkna ljudnivån på 1 km avstånd. En långtidsmätning ska också vara genomförd av oberoende mätexperter och inte utföras av akustik konsulterna som tog fram underlaget till bolaget.

Vi föreslår att man snarast skall undersöka infraljudets påverkan på hälsa genom att frivilligt exponera ett statistiskt urval av befolkningen (ca 1000 personer) för minst 95 dB pulserande infraljud vid valda frekvenser i infraljudsområdet under några timmar. Urvalet bör helst inkludera försökspersoner med bevisad känslighet för migrän. För detta försök bör en expert på otoneurologi anlitas.

Referenser

- [1] Noise and energy optimization of wind farms - validation of the Nord2000 model for use on wind turbine noise. Technical Report 1236/09, DELTA, 2009.
- [2] Low frequency noise from large wind turbines ? final report. Technical Report 1272/10, DELTA, 2010.
- [3] ISO9613 1996b. Acoustics-attenuation of sound during propagation outdoors, 1996.
- [4] Nina Aguilera, Henrik Naglitsch, and Katrin Olofsson. Beräkningsmanual Nord2000 : för bullerberäkningar i väg- och järnvägsplaner. Technical Report 2024:033, Efterklang, 2024.
- [5] Martin Almquist and Eric M. Dunham. Non-stiff boundary and interface penalties for narrow-stencil finite difference approximations of the laplacian on curvilinear multiblock grids. *Journal of Computational Physics*, 408:109294, 2020.



Figur 3: Beräkning av infraljud (1 Hz) med SoundSim360 kring Tvinnesheda och Karskruv, en typisk natt. Här jämför vi infraljudsnivån vid den högsta uppmätta ljudeffekten på 177 dB (uppmätt 2024-12-16 vid Målarberget) och med den lägsta ljudeffekten 154 dB (uppmätt 2024-10-23 vid Målarberget). Position för en närboende som lider av migrän ges av + (blå) och här ligger nivån på 118.7 dB vid 1 Hz som mest (vänster) och 95.7 dB som lägst (höger). Notera att röd markering betyder 95 dB (vänster) respektive 120 dB (höger).

- [6] Martin Almquist, Ilkka Karasalo, and Ken Mattsson. Atmospheric sound propagation over large-scale irregular terrain. *Journal of Scientific Computing*, 61(2):369–397, 2014.
- [7] Stephen E. Ambrose, Robert W. Rand, and Carmen M. E. Krogh. Wind turbine acoustic investigation: Infrasound and low-frequency noise – a case study. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 32(2):128–141, 2012.
- [8] Walker B, Hessler G, Hessler D, Rand R, and Schomer P. *A Cooperative Measurement Survey and Analysis of Low Frequency and Infrasound at the Shirley Wind Farm in Brown County, Wisconsin*. Report number 122412-1, 2012.
- [9] Mathias Basner, Wolfgang Babisch, Adrian Davis, Mark Brink, Charlotte Clark, Sabine Janssen, and Stephen Stansfeld. Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*, 383(9925):1325–1332, 2014.
- [10] K. Bolin, G. Bluhm, G. Eriksson, and M. E. Nilsson. Infrasound and low frequency noise from wind turbines: exposure and health effects. *Environmental Research Letters*, 6(3):035103, 2011.
- [11] Richard A Carman. Measurement procedure for wind turbine infrasound. In *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*, volume 250, pages 6143–6153. Institute of Noise Control Engineering, 2015.
- [12] Åke Danielsson and Ulf Landström. Blood pressure changes in man during infrasonic exposure. *Acta Medica Scandinavica*, 217(5):531–535, 1985.
- [13] Caroline Garcia Forlim, Leonie Ascone, Christian Koch, and Simone Kühn. Resting state network changes induced by experimental inaudible infrasound exposure and associations with self-reported noise sensitivity and annoyance. *Scientific Reports*, 14(1):24555, 2024.
- [14] Theodore V. Gortsas, Theodoros Triantafyllidis, Stylianos Chrisopoulos, and Demosthenes Polyzos. Numerical modelling of micro-seismic and infrasound noise radiated by a wind turbine. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 99:108–123, 2017.

- [15] Dan Hoffmeyer and Jølrge Jakobsen. Sound insulation of dwellings at low frequencies. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 29(1):15–23, 2010.
- [16] N D Kelley, H E McKenna, R R Hemphill, C L Etter, R L Garrelts, and N C Linn. Acoustic noise associated with the mod-1 wind turbine: its source, impact, and control. Technical report, Solar Energy Research Inst. (SERI), Golden, CO (United States), 02 1985.
- [17] Thomas Lagö and Bertil Persson. Wind turbine measurements in sweden. In *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*, volume 259, pages 8151–8164. Institute of Noise Control Engineering, 2019.
- [18] Conny Larsson. Ljud från vindkraftverk, modell-validering-mätning : Slutrapport Energimyndighetens projekt 32437-1. Technical report, Uppsala University, LUVAL, 2014.
- [19] Francesca Lionetti, Arthur Aron, Elaine N. Aron, G. Leonard Burns, Jadzia Jagiellowicz, and Michael Pluess. Dandelions, tulips and orchids: evidence for the existence of low-sensitive, medium-sensitive and high-sensitive individuals. *Translational Psychiatry*, 8(1):24, 2018.
- [20] Lukas Lundgren and Ken Mattsson. An efficient finite difference method for the shallow water equations. *Journal of Computational Physics*, 422:109784, 2020.
- [21] Panu P. Majjala, Ilmari Kurki, Lari Vainio, Satu Pakarinen, Crista Kuuramo, Kristian Lukander, Jussi Virkkala, Kaisa Tiippana, Emma A. Stickler, and Markku Sainio. Annoyance, perception, and physiological effects of wind turbine infrasound. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 149(4):2238–2248, 04 2021.
- [22] Nathaniel S. Marshall, Garry Cho, Brett G. Toelle, Renzo Tonin, Delwyn J. Bartlett, Angela L. D Rozario, Carla A. Evans, Christine T. Cowie, Oliver Janev, Christopher R. Whitfeld, Nick Glozier, Bruce E. Walker, Roo Killick, Miriam S. Welgampola, Craig L. Phillips, Guy B. Marks, and Ronald R. Grunstein. The health effects of 72 hours of simulated wind turbine infrasound: A double-blind randomized crossover study in noise-sensitive, healthy adults. *Environmental Health Perspectives*, 131(3):037012, 2023.
- [23] K. Mattsson, M. Almquist, and M. H. Carpenter. Optimal diagonal-norm SBP operators. *J. Comput. Phys.*, 264:91–111, 2014.
- [24] K. Mattsson and M. H. Carpenter. Stable and accurate interpolation operators for high-order multi-block finite-difference methods. *SIAM J. Sci Comput.*, 32(4):2298–2320, 2010.
- [25] K. Mattsson, F. Ham, and G. Iaccarino. Stable and accurate wave propagation in discontinuous media. *J. Comput. Phys.*, 227:8753–8767, 2008.
- [26] K. Mattsson, F. Ham, and G. Iaccarino. Stable boundary treatment for the wave equation on second-order form. *Journal of Scientific Computing*, 41:366–383, 2009.
- [27] K. Mattsson and J. Nordström. High order finite difference methods for wave propagation in discontinuous media. *J. Comput. Phys.*, 220:249–269, 2006.
- [28] K. Mattsson, M. Svärd, M.H. Carpenter, and J. Nordström. High-order accurate computations for unsteady aerodynamics. *Computers & Fluids*, 36:636–649, 2006.
- [29] K. Mattsson, M. Svärd, and M. Shoenybi. Stable and accurate schemes for the compressible navier-stokes equations. *J. Comput. Phys.*, 227(4):2293–2316, 2008.
- [30] Ken Mattsson. Summation by parts operators for finite difference approximations of second-derivatives with variable coefficients. *Journal of Scientific Computing*, 51:650–682, 2012.
- [31] Ken Mattsson. Diagonal-norm upwind SBP operators. *Journal of Computational Physics*, 335:283 – 310, 2017.
- [32] Ken Mattsson, Martin Almquist, and Edwin van der Weide. Boundary optimized diagonal-norm SBP operators. *Journal of Computational Physics*, 2018.
- [33] Ken Mattsson and Ylva Ljungberg Rydin. Implicit summation by parts operators for finite difference approximations of first and second derivatives. *Journal of Computational Physics*, 473:111743, 2023.
- [34] Ken Mattsson and Pelle Olsson. An improved projection method. *Journal of Computational Physics*, 372:349 – 372, 2018.

- [35] Henrik Möller and Christian Sejer Pedersen. Low-frequency noise from large wind turbines. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 129(6):3727–3744, 2011.
- [36] Henrik Møller, Steffen Pedersen, Kerstin Persson Waye, and Christian Sejer Pedersen. Comments to the article sound insulation of dwellings at low frequencies"i. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 30(3):229–231, 2011.
- [37] Phuc D. Nguyen, Kristy L. Hansen, Bastien Lechat, Colin Hansen, Peter Catcheside, and Branko Zajamsek. Audibility of wind farm infrasound and amplitude modulated tonal noise at long-range locations. *Applied Acoustics*, 201:109106, 2022.
- [38] Michael A. Nissenbaum, Jeffery J. Aramini, and Christopher D. Hanning. Effects of industrial wind turbine noise on sleep and health. *Noise and Health*, 14(60), 2012.
- [39] Olof Öhlund and Conny Larsson. Meteorological effects on wind turbine sound propagation. *Applied Acoustics*, 89:34–41, 2015.
- [40] Pelle Olsson, Gustav Eriksson, and Ken Mattsson. Projection based summation-by-parts methods, embeddings and the pseudoinverse. *Journal of Computational Physics*, 524:113689, 2025.
- [41] S. Parakkal, KE. Gilbert, D. Xiao, and HE. Bass. A generalized polar coordinate method for sound propagation over large-scale irregular terrain. *J Acoust Soc Am.*, 128(5):2573–2580, 2010.
- [42] M. Pluess, E. Assary, F. Lionetti, K. J. Lester, E. Krapohl, E. N. Aron, and A. Aron. Environmental sensitivity in children: Development of the highly sensitive child scale and identification of sensitivity groups. *Translational Psychiatry*, 54(1):51–70, 2018.
- [43] Chaban R, Ghazy A, Georgiade E, Stumpf N, and Vahl CF. Negative effect of high-level infrasound on human myocardial contractility: In-vitro controlled experiment. *Noise Health*, 23(109):57–666, 11 2013.
- [44] Ylva Rydin, Ken Mattsson, and Jonatan Werpers. High-fidelity sound propagation in a varying 3D atmosphere. *Journal of Scientific Computing*, 77(2):1278–1302, 2018.
- [45] Alec N. Salt and Timothy E. Hullar. Responses of the ear to low frequency sounds, infrasound and wind turbines. *Hearing Research*, 268(1):12–21, 2010.
- [46] Alec N. Salt and James A. Kaltenbach. Infrasound from wind turbines could affect humans. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 31(4):296–302, 2011.
- [47] Alec N Salt and Jeffery T Lichtenhan. How does wind turbine noise affect people. *Acoustics Today*, 10(1):20–28, 2014.
- [48] Bo Søndergaard. Low frequency noise from wind turbines: Do the danish regulations have any impact? an analysis of noise measurements. *International Journal of Aeroacoustics*, 14(5-6):909–915, 2015.
- [49] Vidar Stiernström, Martin Almquist, and Ken Mattsson. Boundary-optimized summation-by-parts operators for finite difference approximations of second derivatives with variable coefficients. *Journal of Computational Physics*, 491:112376, 2023.
- [50] Vidar Stiernström, Lukas Lundgren, Murtazo Nazarov, and Ken Mattsson. A residual-based artificial viscosity finite difference method for scalar conservation laws. *Journal of Computational Physics*, 430:110100, 2021.
- [51] Anne Tolvanen, Henri Routavaara, Mika Jokikokko, and Parvez Rana. How far are birds, bats, and terrestrial mammals displaced from onshore wind power development? – a systematic review. *Biological Conservation*, 288:110382, 2023.
- [52] Irene van Kamp and Frits van den Berg. Health effects related to wind turbine sound, including low-frequency sound and infrasound. *Acoustics Australia*, 46(1):31–57, 2018.
- [53] Irene van Kamp and Frits van den Berg. Health effects related to wind turbine sound: An update. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17), 2021.
- [54] Kerstin Persson Waye, Michael Smith, and Mikael Ögren. Hälsopåverkan av lågfrekvent buller inomhus. Technical Report 3, Sahlgrenska Akademin Medicinska Institutionen, 2017.
- [55] Markus Weichenberger, Martin Bauer, Robert Kühler, Johannes Hensel, Caroline Garcia Forlim, Albrecht Ihlenfeld, Bernd Ittermann, Jürgen Gallinat, Christian Koch, and Simone Kühn. Altered cortical and subcortical connectivity due to infrasound administered near the hearing threshold - evidence from fmri. *PLOS ONE*, 12(4):1–19, 04 2017.