

NOTAT

| | | | |
|---------------|--|-----------------|--|
| Oppdrag | Lavfrekvent støy fra vindturbiner Hitra | Dokumentkode | 10255240-01-RIA-NOT-001 |
| Emne | Måleresultater fra lydmåling i bolig på Hitra | Tilgjengelighet | Åpen |
| Oppdragsgiver | Fosen Vind DA, c/o Statkraft AS | Oppdragsleder | Tonje Fjellheim Dahl |
| Kontaktperson | Magnus Snøtun | Utarbeidet av | Tonje Fjellheim Dahl |
| Kopi | | Ansvarlig enhet | 10234021 Seksjon Spesialrådgivning Midt |

SAMMENDRAG

En måling av vindturbinestøy ble gjennomført i og ved en bolig på Hitra etter at huseieren rapporterte helseplager som angivelig skyldtes støyen fra vindturbinene. Det ble også målt i og ved en bolig i Trondheim for sammenlikning. Frekvensinnholdet i infralydområdet ble undersøkt spesielt. Utendørs og innendørs støynivåer ble sammenlignet for å vurdere eventuell forsterkning av lyden innendørs. Resultatene viste at det var mer støy i infralydområdet under målenatten på Hitra, enn i Trondheim. Om dette skyldes vindturbinestøy er usikkert. Det ble ikke funnet høyere nivåer av lavfrekvent støy innendørs enn utendørs på Hitra. Målingene viste at støynivåer i infralydområdet lå langt under høreterskelen gjennom hele målenatten, og det var ikke mulig å fastslå om helseplagene til huseieren var direkte forårsaket av vindturbinene.

1 Introduksjon

Det er meldt om helseplager og søvnforstyrrelser hos enkelte personer på Hitra etter at vindparken Hitra 2 på Eidsfjellet ble satt i drift. Hitra 2 er en utvidelse av den eksisterende Hitra vindpark. Hitra 2 vindpark omfatter 26 turbiner og er av en betydelig større type enn de første vindturbinene. Multiconsult har fått i oppdrag av Statkraft å undersøke og måle støynivået i en bolig der det er rapportert støyplage. Det er ønsket å undersøke lavfrekvent støy, inkludert infralyd, fra vindturbinene spesielt. Boligen ligger midt mellom vindparken på Eidsfjellet på Hitra og vindparken på Frøya, ca. 8,5 km fra nærmeste vindturbin på Eidsfjellet og 8,8 km fra nærmeste vindturbin på Frøya.

Det er gjort målinger i og utenfor den nevnte boligen, i tillegg til en måling i vindparken på Eidsfjellet og i en bolig i Trondheim for sammenlikning.



Figur 1: Foto fra vindparken på Hitra, Eidsfjellet.

| | | | | | |
|------|------------|---------------------|---------------|----------------|-------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| 00 | 21.06.2024 | Oversendt Statkraft | TFD | AN | TFD |
| REV. | DATO | BESKRIVELSE | UTARBEIDET AV | KONTROLLERT AV | GODKJENT AV |

2 Generelt om infralyd og lyd fra vindturbiner

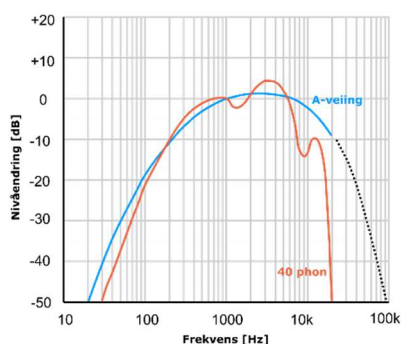
2.1 Vindturbiners lydnivå og frekvensspekter

Vindturbinestøy er bredbåndet, som betyr at den inneholder et bredt spekter av frekvenser. Den inneholder lyd med frekvenser i både hørbart område (20 – 20 kHz) og infralyd (< 20 Hz).

Den dominerende lyden man hører fra vindturbiner er lyden som dannes i den turbulente luftstrømmen på oversiden av rotorbladet. Det oppstår turbulens på grunn av ulike luftfartigheter og ulike trykkforhold på over og undersiden av rotorbladet. [1]

Kildnivået for en moderne vindturbin, det vil si den totale lydenergien som produseres, ligger typisk i området L_w 100 - 110 dBA [1]. Merk at verdiene er oppgitt med A-veining, som betyr at de laveste frekvensene er vektet ned i forhold til frekvensene i midtsjiktet.

A-veining skal gjenspeile sensitiviteten til menneskers hørsel, som er svært dårlig for de laveste frekvensene. Deler av A-veingskurven er vist i Figur 2.



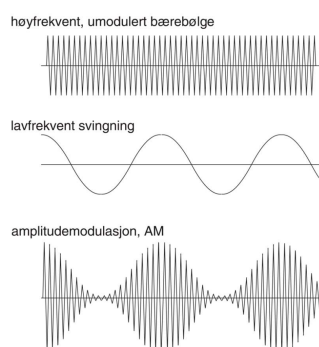
Figur 2: A-veings kurve (blå). Figur hentet fra Acoustics Research Centre.

Om man ønsker å undersøke og vurdere en støykilde basert på nivåene til de laveste frekvensene i lydsignalet, uavhengig av menneskers hørsel, vil det A-veide nivået være lite hensiktsmessig å bruke.

Frekvensintervallet som benyttes i målinger av vindturbinestøy varierer, men det er vanlig å måle støynivå i 1/3 - oktavnivå i intervallet 20 – 20 000 Hz, som er den hørbare delen av frekvensspekteret. Vanligvis måles det ikke støy under 20 Hz.

2.2 Amplitudemodulasjon

Lyden fra hver enkelt vindturbin har en amplitudemodulasjon (AM) som kan høres som en «svisje-lyd». Det vil si at lyden varierer i styrke med et jevnt svingende mønster. En prinsippillustrasjon av AM er vist i Figur 3.



Figur 3: Illustrasjon av amplitudemodulasjon av et signal. Illustrasjonen er hentet fra Store norske leksikon.

Dette er på grunn av at lyden fra hvert rotorblad varierer i styrke avhengig av hvor det befinner seg, i tillegg til at lyden fra de tre rotorbladene interfererer. Lydnivået fra rotorbladet er høyest når det beveger seg i retning ned mot bakken, som vist i Figur 4.



Figur 4: Visualisering av lyd fra en vindturbin. Mest lyd fra rotorbladet ved nedgående retning. Kilde S. Oerlemans, 2009

Sintef har prøvd å oppsummere kunnskapsgrunnlaget for vindturbinestøy, inkludert amplitudemodulasjon, i en rapport fra 2022, «Støy fra vindturbiner» [1] i bestilling fra Miljødirektoratet. De forklarer at «lyden vil være mer eller mindre amplitudemodulert med en modulasjonsfrekvens på 1 - 2 Hz gitt av omdreiningssfrekvensen for turbinen. ... Områder i noe avstand fra en vindpark vil imidlertid sjelden oppleve stor modulasjonsdybde. Støybidrag fra flere turbiner vil medføre en utjevning og maskering av modulasjonen da turbinene i praksis aldri vil være helt synkrone.» Modulasjonsdybden er forskjellen mellom topp og bunn i amplitudevariasjonen.

Amplitudemodulasjon kan også oppstå av andre effekter og kalles da unaturlig amplitudemodulasjon (UAM). Dette kan være forårsaket av blant annet spesielle atmosfæriske betingelser som temperatur og vindskjær. M-128 [2] (den tidligere veilederen til støyretningslinjen T-1442) oppgir at UAM av og til kan føre til vesentlig økte støyvirkninger.

Rapporten fra Sintef [1] sier følgende om UAM: «Ved uheldige kombinasjoner av innfallsvinkel, vindhastigheter og turbulens vil man kunne få en situasjon der rotorbladet går inn og ut av steiling flere ganger per omdreining. Resultatet er en kraftig amplitudemodulert lyd. De nøyaktige mekanismene som utløser denne type lyd, ofte omtalt som UAM (Unaturlig amplitudemodulasjon) eller OAM (other amplitude modulation), er bare delvis forklart i vitenskapelig litteratur, og bør utredes nærmere. Det er for eksempel ikke kjent hvor hyppig slik amplitudemodulasjon forekommer ved norske vindparker. En undersøkelse (Bass, 2021) viser at slike modulasjoner gjerne opptrer under stabile atmosfæriske forhold (om natten) og at forhold knyttet til lokal topografi nær turbinen kan være av betydning.»

Det ser ut til at AM er en effekt man merker nært vindturbinene. UAM merkes derimot gjerne ved større avstander (> 500 m), har større modulasjonsdybde, er skiftet mot lavere frekvenser og kan oppleves som svært plagsomt, men opptrer sjeldnere.

2.3 Utbredelse av lavfrekvent lyd

De laveste frekvensene (infralyd) har tilnærmet ingen absorpsjon i luft, og blir først og fremst dempet av den geometriske spredningen. Geometrisk spredning alene (uten andre påvirkninger) gir 6 dB lydreduksjon hver gang avstanden fordobles, eller ned mot 3 dB hvis bakken er reflekterende.

Det betyr at lyden kan bre seg langt hvis det er fri sikt. Lydutbredelsen påvirkes også av vindhastighet, temperatur, temperaturgradient, luftfuktighet og refleksjon fra bakken (bakkeimpedansen), og kan derfor under visse forhold også bre seg over, eller forbi, større formasjoner i terrenget. Ofte øker vindhastighet i høyden, som medfører at lyden bøyes ned mot bakken i medvindssonen og opp fra bakken i motvindssonen. Dette kan medføre en lyddempning på 5-10 dB eller mer i motvindssonen, sammenliknet med medvindssonen [2]. For de høyeste frekvensene er disse effektene mindre relevant, siden lyden dempes hurtigere i luft og forsvinner ved kortere avstander.

Lyddempningen i fasaden til bygninger er også liten for de laveste frekvensene. F.eks. bør tykkelsen til veggen være minst like tykk som halve bølgelengden for å gi effektiv demping. Som eksempel har en lydbølge med frekvens på 1000 Hz en halv bølgelengde på 17 cm og en lydbølge på 0,4 Hz en halv bølgelengde på 43 m.

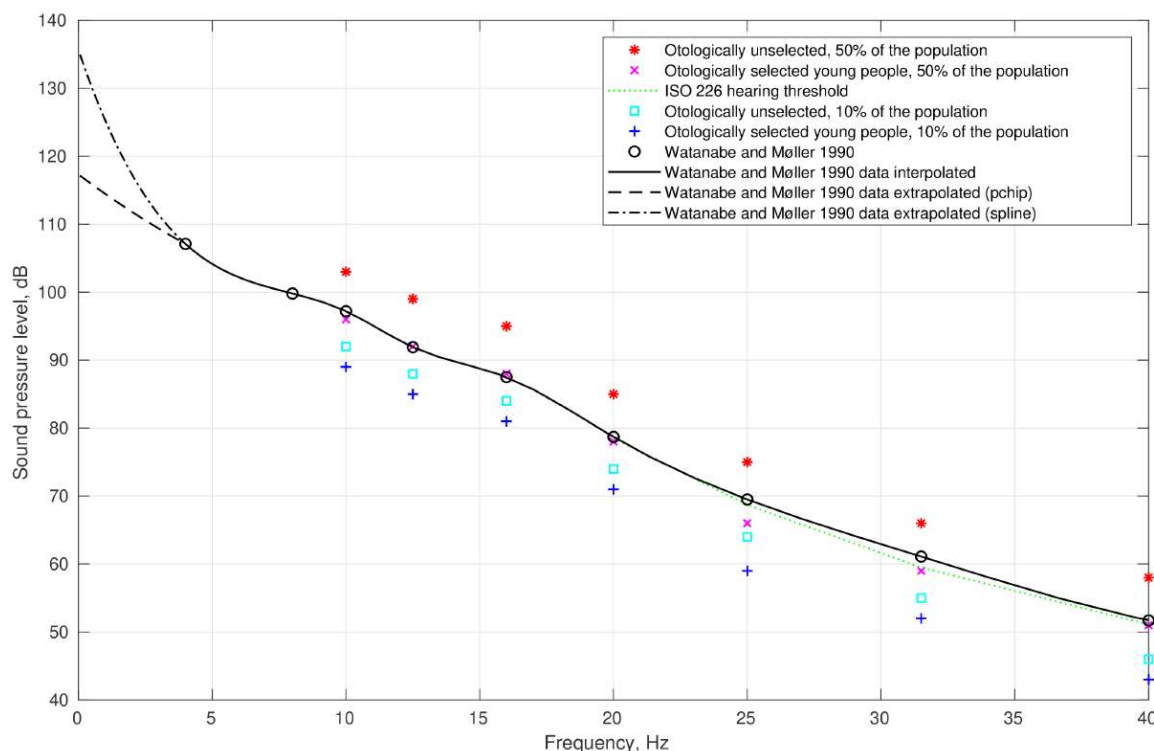
2.4 Mennesker oppfattelse av lavfrekvent vindturbinestøy eller infralyd

Mennesker med «normal hørsel» kan vanligvis høre frekvenser fra ca. 20 Hz til ca. 20 000 Hz. Men ved svært høye nivåer er det mulig for en del å registrere lyder med enda lavere frekvenser. For en liten gruppe unge mennesker ble følgende høreterskel i lavfrekvent og infralyd registrert [3]:

Tabell 1: Høreterskel mennesker, lavfrekvent lyd. Toshio Watanabe and H Møller.

| Frequency, Hz | 4 | 8 | 10 | 12.5 | 16 | 20 | 25 | 31.5 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 |
|---------------|-----|-----|----|------|----|----|----|------|----|----|----|----|-----|
| Level, dB | 107 | 100 | 97 | 92 | 88 | 79 | 69 | 60 | 51 | 44 | 38 | 32 | 27 |

Det er gjort flere studier der det er sett på oppfatning av infralyd fra vindturbiner. Disse er stort sett blitt gjort med opptak av vindturbinestøy som er spilt av med forskjellige styrker i mer kontrollerte omgivelser. Man har da funnet at det må svært høye nivåer til for å oppfatte lyden. I en artikkel fra Finland [4] er det oppsummert resultater fra flere slike studier. En oppsummerende graf er gjengitt her i Figur 5.



Figur 5: Høreterskel for lave frekvenser funnet i noen studier. Majjala m.fl.

Også når lyden ikke høres med øret er det enkelte som mener at de kan merke lyden på kroppen eller kan få kroppslige reaksjoner av lyden. Flere studier har prøvd å finne en sammenheng mellom infralyd fra vindturbiner og helseproblemer, uten at man har klart å finne en tydelig sammenheng. Større studier har vist at plagegraden ved vindturbinestøy er sterkt korrelert til grad av negative forventninger til støyen. Frykt og engstelse gir stressresponser som likner rapporterte plager for vindturbinestøy, og kan derfor være en mulig forklaring på symptomene.

I Finland er det nylig gjennomført en større studie av mulige virkninger av infralyd fra vindparker [4]. Det ble utført langtidsmålinger innendørs og utendørs for to bygninger, foretatt spørreundersøkelser i områder der det var rapportert om symptomer som kunne ha sammenheng med infralyd fra nærliggende vindparker, og utført lytteforsøk der man ble eksponert for de høyeste registrerte infralydnivåene. Resultatene fra lytteforsøkene viste at man ikke klarte å skille opptak med og uten infralyd, og at det heller ikke ble registrert signifikant forskjell i kroppslige reaksjoner. Spørreundersøkelsen viste ingen sammenheng mellom bygningstype eller vindustype og vindturbin-infralyd relaterte symptomer. Undersøkelsen viste at det var større sannsynlighet for å oppleve symptomer hvis man bodde innenfor en radius på 2,5 km fra nærmeste vindturbin, hadde to eller flere kroniske sykdommer, hadde nedsatt hørsel eller var sensitiv til støy. I tillegg var holdninger viktig for rapportering av symptomer. Hvis man opplevde skyggekast fra vindturbinene, fikk lite informasjon om vindkraftverket eller hadde meninger om at vindkraftverket hadde negative konsekvenser for helsen, så var det større sannsynlighet for at man rapporterte om symptomer.

Sintef oppsummerer følgende om vindturbin-infralyd-relaterte plager i sin oppsummerende prosjektrapport om temaet [1]: «I den ikke-vitenskapelige litteraturen kan man stadig finne henvisninger til negative helseeffekter som blir begrunnet med eksponering til vindturbinestøy ved veldig lave frekvenser, til dels ved frekvenser godt utenfor det hørbare området, infralyd ($f < 20$ Hz). Baliatsas et al. (2016) har gjort en grundig gjennomgang av tilgjengelig litteratur og konkluderer med at det ikke finnes noen entydige bevis for at eksponering til lavfrekvent lyd og infralyd skal kunne gi andre helseplager enn de man kan observere for lyd ved høyere frekvenser. Det vises også til at infralydnivåene som kan registreres i kroppen (hjerteslag, blodstrømming, etc.) er langt høyere enn de som kan måles i noen avstand fra en vindturbin (Leventhall, 2013).»

Enkelte mindre studier viser likevel mulige sammenhenger mellom infralyd og helseplager. En studie som brukte fMRI (MR-billedtaking av hjernen som viser hjerneaktivitet) fant ut at man kan aktivere deler av hjernen som er involvert i emosjonell og autonom kontroll ved å introdusere infralyd med nivå rett under høreterskelen. Det ble brukt en 12 Hz rentone stimuli 2 dB under den individuelle høreterskelen til subjektet, som varierte mellom 79 – 96 dB. Det er usikkert om dette kan overføres til vindturbinestøy.

Enkelte studier, og mange observasjoner, viser at en del dyr og fugler kan oppdage, og dermed unngå, en del naturkatastrofer som tsunamier, orkaner, og jordskjelv før hendelsen skjer. En teori er at dyrene kan merke infralyd som oppstår i forkant av hendelsene. Det er usikkert om dette har relevans for vindturbinestøy og mennesker.

2.5 Grenseverdi for vindturbinestøy

Ved planlegging av ny støyfølsom bebyggelse eller støyende anlegg og virksomhet legges vanligvis grenseverdiene i tabell 2 i Klima og Miljøverndepartementets retningslinje, T-1442 [5], til grunn. T-1442 er utarbeidet i tråd med EU-regelverkets metoder og målestørrelser, og er koordinert med støyreglene som er gitt etter forurensningsloven og TEK. T-1442 skal legges til grunn ved arealplanlegging og behandling av enkeltsaker etter plan- og bygningsloven i kommunene og i berørte statlige etater. Den gjelder både ved planlegging av ny støyende virksomhet og for arealbruk i støysoner rundt eksisterende virksomhet. Retningslinjen er veiledende, og ikke i seg selv rettslig bindende.

Måleresultater fra lydmåling i bolig på Hitra

For vindturbinstøy er grenseverdien satt til $L_{den} \leq 45$ dB, for støynivå utenfor vinduer i rom med støyfølsomt bruksformål og på stille del av uteoppholdsareal. L_{den} er A-veiet ekvivalent lydnivå for dag-kveld-natt med 5 dB tillegg på kveld og 10 dB ekstra tillegg på natt.

På oppdrag fra Klima- og miljødepartementet gjennomførte Miljødirektoratet i 2012 en utredning som vurderte verdien av å innføre egne grenseverdier for lavfrekvent støy innomhus. Resultatet av dette arbeidet viste at lavfrekvent støy innomhus ikke vil være et problem så lenge retningslinje på L_{den} 45 dBA overholdes. [2]

3 Målinger

Det er utført målinger innendørs og utendørs over natten i én bolig på Hitra og én bolig i Trondheim. Det er også utført målinger i vindparken på Hitra.

Alle målingene er utført av Ph.D. Tonje Fjellheim Dahl.

3.1 Måleinstrumenter og måleinnstillinger

3.1.1 Måleutstyr

Til målingene ble følgende utstyr benyttet:

- Målesystem: Norsonic 150
- Mikrofoner: 2 x Norsonic 1225
- Mikrofonforsterkere: 1 x Norsonic 1209
1 x Norsonic 1201
- Kalibrator: Norsonic 1251

3.1.2 Måleinnstillinger

Måleren ble satt opp til å måle 1/3 oktavbånd i intervallet 0,4 Hz til 20 kHz. 0,4 Hz er den laveste frekvensen som kan måles med Norsonic 150.

Måleoppsettet ble kalibrert før og etter hver måling. Det ble ikke registrert avvik i disse kalibreringene.

3.1.3 Egenstøy og usikkerhet i målesystemet

Egenstøy til Nor150 med Nor1225 mikrofon og Nor1209 mikrofonforsterker er rapportert til 19 dBA. Det er ikke angitt hvor mye egenstøy det er for hvert 1/3-oktavbånd.

Norsonic oppgir at det naturlig i omgivelsene er vanlig med støy på 45dB (eller mer) lineært for de laveste frekvensene. Det er derfor utfordrende å måle egenstøy med mikrofon tilkoblet. Ved måling med en mikrofonekvivalent (dummy) unngår man støybidrag fra omgivelsene, men får ikke med bidraget fra mikrofonen. Verdier mottatt fra Norsonic for en måling over 1 minutt med Nor150, Nor1209 mikrofonforsterker og en mikrofonekvivalent er gitt i Tabell 2.

Måleresultater fra lydmåling i bolig på Hitra

Tabell 2: Målte verdier av egenstøy fra Norsonic for Nor150 med Nor1209 mikrofonforsterker og en mikrofonekvivalent (dummy).

| Bånd (1/3) | Leq [dB] | LFmax [dB] | Lfmin [dB] | Band (1/3) | Leq [dB] | Lfmax [dB] | Lfmin [dB] |
|------------|----------|------------|------------|------------|----------|------------|------------|
| 0.4 Hz | 12,6 | 22,4 | -15,4 | 100 Hz | -5,0 | -0,5 | -11,4 |
| 0.5 Hz | 12,8 | 21,3 | -18,9 | 125 Hz | -5,5 | -0,2 | -10,2 |
| 0.63 Hz | 11,7 | 17,7 | -16,8 | 160 Hz | -5,8 | -2,1 | -9,8 |
| 0.8 Hz | 11,5 | 20,8 | -11,0 | 200 Hz | -6,2 | -2,7 | -9,9 |
| 1 Hz | 12,3 | 21,6 | -15,4 | 250 Hz | -6,5 | -3,3 | -9,8 |
| 1.25 Hz | 10,9 | 20,3 | -14,8 | 315 Hz | -6,7 | -3,2 | -9,8 |
| 1.60 Hz | 11,3 | 19,7 | -9,3 | 400 Hz | -6,8 | -3,7 | -9,7 |
| 2 Hz | 8,6 | 17,9 | -12,8 | 500 Hz | -6,7 | -4,3 | -9,5 |
| 2.50 Hz | 7,4 | 13,9 | -10,8 | 630 Hz | -6,6 | -3,9 | -9,9 |
| 3.15 Hz | 6,5 | 15,2 | -13,0 | 800 Hz | -6,3 | -4,0 | -8,6 |
| 4 Hz | 6,0 | 14,3 | -16,0 | 1 kHz | -5,9 | -3,8 | -7,7 |
| 5 Hz | 4,9 | 12,0 | -11,1 | 1.25 kHz | -5,6 | -4,0 | -7,1 |
| 6.30 Hz | 4,7 | 13,7 | -11,2 | 1.6 kHz | -4,9 | -3,6 | -6,5 |
| 8 Hz | 4,2 | 12,2 | -11,3 | 2 kHz | -4,3 | -3,0 | -5,5 |
| 10 Hz | 2,8 | 12,2 | -10,2 | 2.5 kHz | -3,5 | -2,1 | -4,9 |
| 12.5 Hz | 1,1 | 8,4 | -11,6 | 3.15 kHz | -2,7 | -1,6 | -3,6 |
| 16 Hz | 0,5 | 6,7 | -9,8 | 4 kHz | -1,9 | -1,1 | -2,9 |
| 20 Hz | -0,1 | 8,0 | -11,2 | 5 kHz | -1,1 | -0,2 | -1,9 |
| 25 Hz | -0,8 | 6,4 | -10,2 | 6.3 kHz | -0,4 | 0,3 | -1,1 |
| 31.5 Hz | -1,7 | 5,3 | -11,1 | 8 kHz | 0,4 | 1,0 | -0,3 |
| 40 Hz | -2,4 | 4,2 | -10,3 | 10 kHz | 1,3 | 1,8 | 0,6 |
| 50 Hz | -3,0 | 2,8 | -9,7 | 12.5 kHz | 2,3 | 2,8 | 1,8 |
| 63 Hz | -4,0 | 1,7 | -10,6 | 16 kHz | 3,3 | 3,7 | 2,8 |
| 80 Hz | -4,5 | -0,5 | -10,1 | 20 kHz | 4,2 | 4,6 | 3,8 |

En indikasjon på usikkerheten til målesystemet kan sees fra forskjellen i L_{Fmax} og L_{Fmin} for hvert frekvensbånd. For frekvensbåndene under 20 Hz (infralyd) er differansen mellom L_{Fmax} og L_{Fmin} på 20 til 40 dB. Det er usikkert hvor representativt dette er for målingene som ble utført på Hitra.

3.2 Referansemåling i og ved bolig i Trondheim

Det er utført samtidig støy måling innendørs og utendørs i og ved en bolig i Trondheim, i et boligområde litt utenfor sentrum. Målingen ble utført for å kunne sammenlikne støynivået på Hitra med støynivået i et område uten vindturbiner. Det ble plassert én måler innendørs i et soverom uten personer med lukket dør og med vindu lukket inntil, men ikke helt igjen. Målingen ble utført over natten 6. – 7. desember 2023. På kvelden før målingen ble det observert noe støy fra varmepumper i nærheten av boligen og et fjernt sus fra vegtrafikk. På natten ble det ikke fulgt med på hvilke lyder som var til stede.

Måleresultater er presentert fra en tilfeldig utvalgt «stille» periode i løpet av natten, uten spesielt støyende hendelser, fra kl. 01.45 til kl.02.00. I denne perioden har YR registrert -9 grader og nesten vindstille i området.

3.3 Måling i og ved bolig på Hitra

Målingen i boligen på Hitra ble utført over natten 3.- 4. januar 2024. Måleren ble plassert i ett soverom i 2. etasje med én mikrofon i rommet. Huseier har rapportert mye plage ved opphold i dette rommet. En annen mikrofon (koblet til samme måler) ble plassert utenfor huset med litt

Måleresultater fra lydmåling i bolig på Hitra

avstand til husveggen (ca. 10 meter). Døra til soverommet stod på gløtt under målingen og vinduet var lukket inntil (eldre vindu som ikke lot seg lukke fullstendig). Huseier sov nede i 1. etasje i motsatt ende av huset under målenatten. Alle elektriske apparater i huset var avskrudd under målingen bortsett fra en elektrisk varmeovn i målerommet, en fryser i boden i første etasje, en panelovn i stua i første etasje og en varmtvannstank i kjelleren. Kjøleskapet var frakoblet.

Boligen lå landlig til, langt unna andre boliger og trafikkerte veger. Det ble ikke observert andre lyder utendørs enn svak vindsus på kvelden før målingen. Det var en del snø på bakken og minusgrader. Boligen ligger ganske skjermet for vind og det ble observert lite vind rett ved boligen.

Det er hentet værdata fra Norsk klimaservicesenter sine historiske data for Hitra – Sandstad 2 for målenatten. Ved værstasjonen ble det målt temperaturer på mellom -5 og -7 grader, relativ luftfuktighet på 43 til 53 prosent og en middelvindhastighet på mellom 2 og 7 m/s med vindretning fra nord tidlig på natten som endret seg gradvis via vind fra øst til vind fra sørøst tidlig på morgenen dagen etter. Dataene fra Sandstad 2 er ikke nødvendigvis relevant for hele Hitra og det forventes mer vind oppe på Eidsfjellet.

I vindparken Hitra 2 ble det registrert at vindturbinene roterte med 7 – 14 rotasjoner per minutt under målenatten, som indikerer godt med vind. Ved mindre vind er det oppgitt at turbinene legger seg i et intervall ned mot rundt 3 rotasjoner per minutt.

3.4 Måling av støy i vindparken

Det ble utført en forenklet måling av støy i vindparken på Eidsfjellet dagen etter målingen i boligen. Det skal ha vært mindre vind i vindparken under målingen på Eidsfjellet enn det var under målenatten i boligen. Fra registreringer fra Hitra 2 et par timer før målingen roterte noen av turbinene med hastighet på 3 rotasjoner per minutt, og noen roterte med hastighet på 6-7 rotasjoner per minutt.

Støymålingene ble utført rett ved en av Hitra 2 – turbinene, med navn «G02», i fire målepunkter med avstand 2, 15 og 30 meter fra turbinen. Det ble ikke observert noen hørbar lyd fra vindturbinene, men det var mye lyd fra selve vinden som antageligvis kamuflerte vindturbinestøyen. Alle vindturbinene i nærheten av målestedet roterte i et sakte tempo.

Vindturbinene i Hitra 2 er oppgitt å ha en tårnhøyde på 87 meter, rotordiameter på 117 meter og ha turbiner av type Vestas V117-3,6 MW.



Figur 6: Vindturbin G02 i Hitra 2 vindpark. Målingene i vindparken ble utført i området rundt denne turbinen.

4 Huseiers opplevelse av situasjonen

I forbindelse med målingene ble det utført samtaler med huseier. Huseier forteller om helseplager som hen mener oppstår når det er spesielle vær og vindforhold, og hen relaterer det til vindturbinene.

Det er mest plager på natten, spesielt på vinteren når det er is og snø, vind fra øst, sør eller vest. Helseplagene varierer noe, men det kan være hodepine, svimmelhet, stress i kroppen, tørr hud og utslett. Av og til får hen også hjerterytmeforstyrrelser som har ført til sykehusinnleggelse med behandling flere ganger. Huseier kan også høre lyder som hen mener er vindturbinestøy. Lydene og helseplagene oppstår kun når huseier oppholder seg inne i huset og i hovedsak på kveld og natt. Dette gir avbrutt nattesøvn. Når huseier oppholder seg innendørs andre steder i landet opplever hen ikke disse symptomene. Huseier hører ikke vindturbinene utendørs. Huseier lurte på om huset på Hitra oppfører seg som en resonanskasse. Huseier rapporterer at symptomene og lydene oppstod etter at vindturbinene i vindparken Hitra 2 ble satt i drift.

På kvelden før målingen kjenner huseier et trykk i bakhodet og hen kan høre lydene som hen beskriver som «en kakafoni av lyder». Hen forteller at hen må være helt stille for å høre lydene. Undertegnede prøver også å lytte etter lydene, og hører noe, men klarer ikke å definere hva som høres. Lydene som undertegnede hører er et svakt sus som muligens er en blanding av lyder fra egen kropp (blod som pumper, falsk lyd / svak tinnitus) og kanskje vind i huset (f.eks. gjennom pipa). I løpet av målenatten våknet huseier opp på grunn av lydene og følte seg uvel. Hen så på klokka som viste 04.35, men hen oppdaget senere at klokken hadde stoppet, slik at det kan ha vært et senere tidspunkt.

Huseier rapporterer noen dager senere (11. januar 2024) at situasjonen har forverret seg. Hen beskriver lyden hen nå hører som «intens ulyd». Hen har alle de tidligere beskrevne kroppslige symptomene, inkludert hjerterytmeforstyrrelse. Hen rapporterer om rett vestlig vindretning, yr i lufta, barmark, mye vann i bakken, vindstyrke 4 (6) m/s.

5 Måleresultater

5.1 Aktivitet i vindparken

Under målenatten ble aktivitet i vindparken Hitra 2 registrert. Hatigheten (rotasjoner per minutt), i perioden mellom kl.18.00 den 3. januar og kl. 12.00 den 4. januar, til de 26 turbinene er vist i Figur 7. Dataene er mottatt fra Fosen Vind.

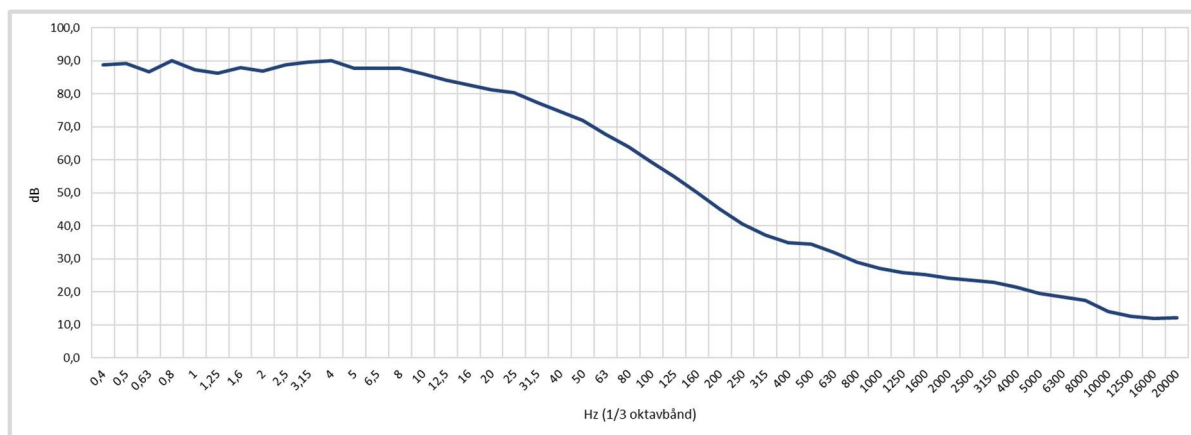


Figur 7: Registrert rotasjonshastighet (rotasjoner per minutt) på alle møllene til Hitra 2 på målenatten, mellom kl.18.00 den 3. januar og kl. 12.00 den 4. januar. 14 rotasjoner per minutt var maksimal hastighet. Frem til ca. kl. 05.30 lå nesten alle turbinene på en hastighet på mellom 7 og 14 rotasjoner. Etter kl. 07.00 hadde en del av turbinene en hastighet på 3 rotasjoner per minutt.

Resultatene fra lydmålingene ved boligen på Hitra blir videre sammenliknet med aktiviteten på Hitra 2 som er vist i Figur 7.

5.2 Lydnivåer fra vindturbinene

Målinger ble utført i vindparken på Eidsfjellet på formiddagen (kl. 11.20 – 11.30) dagen etter målingene ved boligen på Hitra. Logaritmisk middel fra 5 målinger ca. 1,5 meter over bakken, i avstand 2 – 30 m fra én av vindturbinene er vist i Figur 8.



Figur 8: Målte lydnivåer, L_{Aeq} , i vindparken på Eidsfjellet.

Under målingene var det ikke mulig å høre støy fra vindmøllen, på grunn av høy bakgrunnsstøy fra vinden, og det er derfor usikkert i hvor stor grad verdiene i grafen viser vindturbinestøy eller støy fra vind.

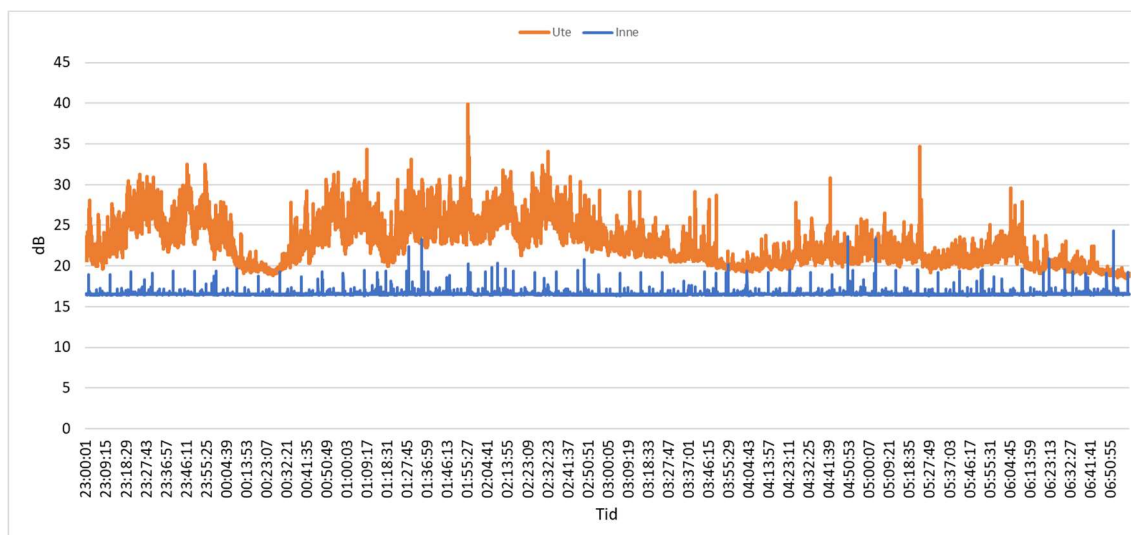
Måleresultater fra lydmåling i bolig på Hitra

5.3 Sammenlikning av lydnivåer på Hitra og i Trondheim

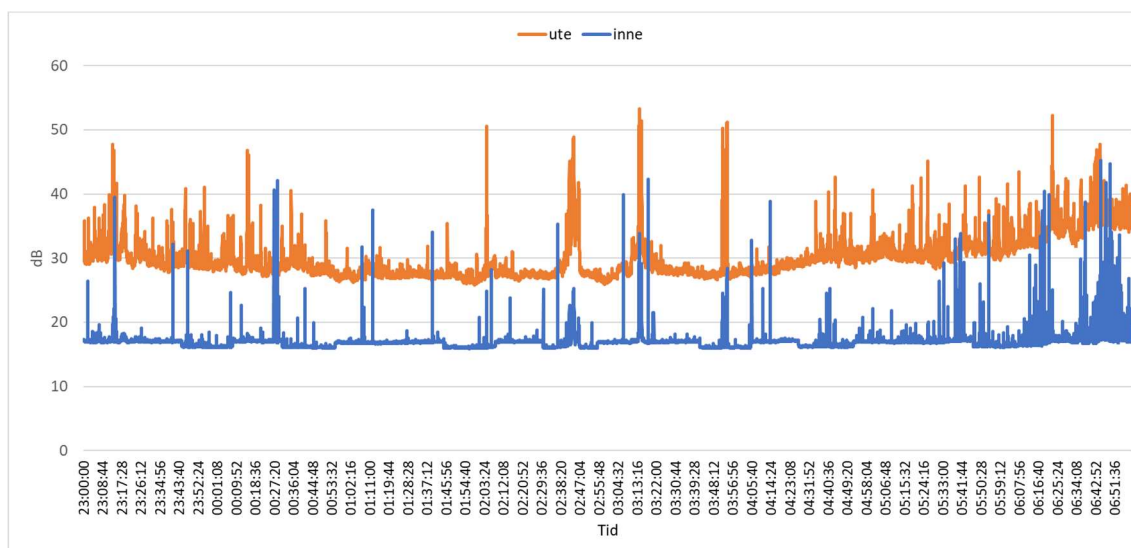
I dette kapittelet sammenliknes målte lydnivåer ved huset på Hitra med målte lydnivåer ved et hus i Trondheim, som ligger langt unna vindturbiner.

5.3.1 A-veid lydnivå

Figur 9 og Figur 10 viser målte A-veide ekvivalente lydnivåer innendørs og utendørs, henholdsvis i boligen på Hitra og i Trondheim.



Figur 9: Målte lydnivåer, L_{Aeq} , utendørs og innendørs i bolig på Hitra.



Figur 10: Målte lydnivåer, L_{Aeq} , utendørs og innendørs i bolig i Trondheim.

Målingene viser at det generelt var lavere A-veide lydnivåer utendørs på Hitra enn i Trondheim. I Trondheim var det også flere støyende hendelser (støytopper) i løpet av natten og det generelle støynivået økte i løpet av morgenen, som antas å skyldes økning i vegtrafikkstøy. På Hitra var nivået både lavere og jevnere gjennom natten. Den variasjonen i A-veid lydnivå utendørs på Hitra, som kan sees i Figur 9, antas å skyldes variasjon i vindstøy, siden det var få andre støykilder i området. Siden vindstyrken ikke ble målt ved målepunktet kan ikke dette bekreftes. Men variasjonen i lydnivå korresponderer ikke med variasjonen i hastighet på turbinene, og det forventes også at det

Måleresultater fra lydmåling i bolig på Hitra

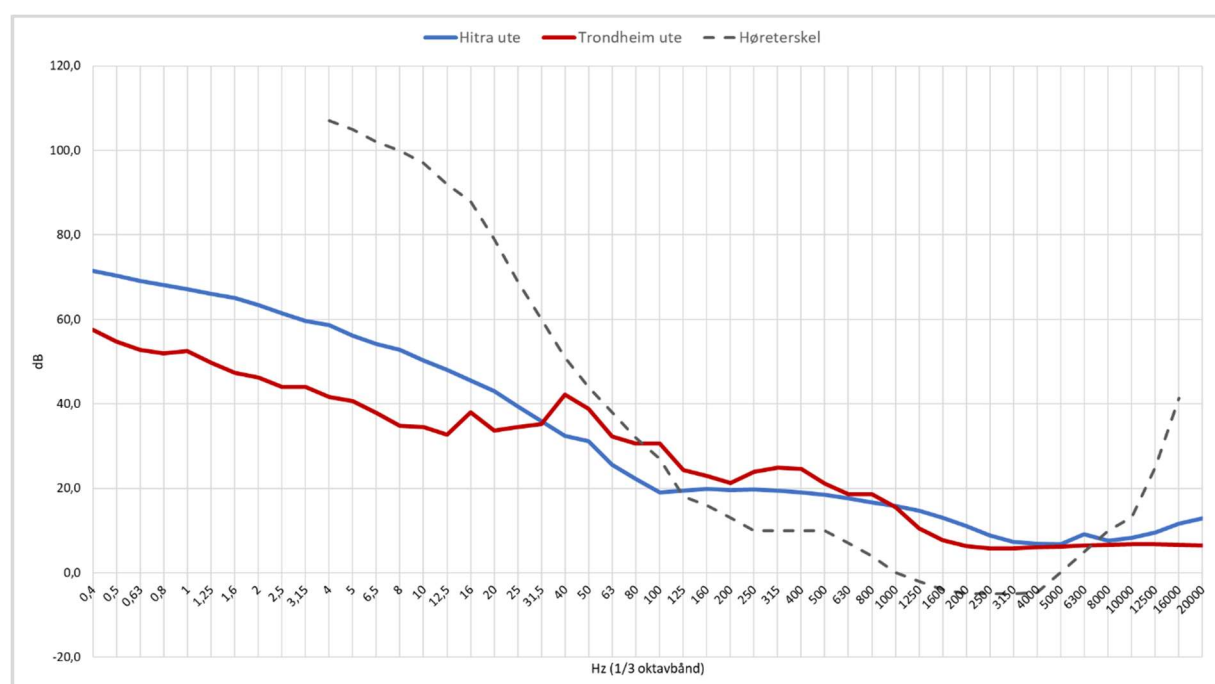
A-veide nivået fra turbinene vil ligge under bakgrunnsstøynivået fra vinden på denne avstanden. Dette er på grunn av vekten av frekvenser i det A-veide signalet, som blir absorbert ved store avstander.

De kortvarige støytoppene innendørs i huset på Hitra og i Trondheim kan skyldes «knepp» i treverk som utvides eller trekker seg sammen og «knepp» i termostater til varmekilder i husene. Dette kan heller ikke bekreftes, men vurderes uansett som ikke relatert til vindturbinestøy, siden støytoppene ikke korresponderer med støytoppene i målte utendørs lydnivåer.

Målingen av A-veid lydnivå på Hitra viser at støynivået utendørs lå langt under grenseverdien på $L_{den} \leq 45$ dB, selv når nivået vektet med + 10 dB på natt (slik L_{den} er definert).

5.3.2 Lydnivå i 1/3 - oktavnband

I denne studien var vi mest interessert i å sammenlikne lydnivåer i hvert frekvensband, for å spesielt se på de lave frekvensene. Figur 11 viser måleresultatene for hvert 1/3 - oktavnband fra målingene utendørs på natt ved huset på Hitra og i Trondheim. I tillegg vises typisk høreterskel for unge mennesker i stiplet linje. En periode på 15 min, fra kl. 01.45 til 02.00, er vist for målingen i Trondheim, og en periode på 1 time, fra kl. 01.00 til 02.00, er vist for målingen på Hitra. Den kortere perioden i Trondheim ble valgt for å unngå ekstra støyende hendelser (støytopper i måledataene), som antas å være forårsaket av støy fra kjøretøy, dyr eller personer i nærheten. Boligen på Hitra lå plassert langt unna andre hus og veger, og målingene herfra viste også færre slike kortvarige støyende hendelser utendørs.

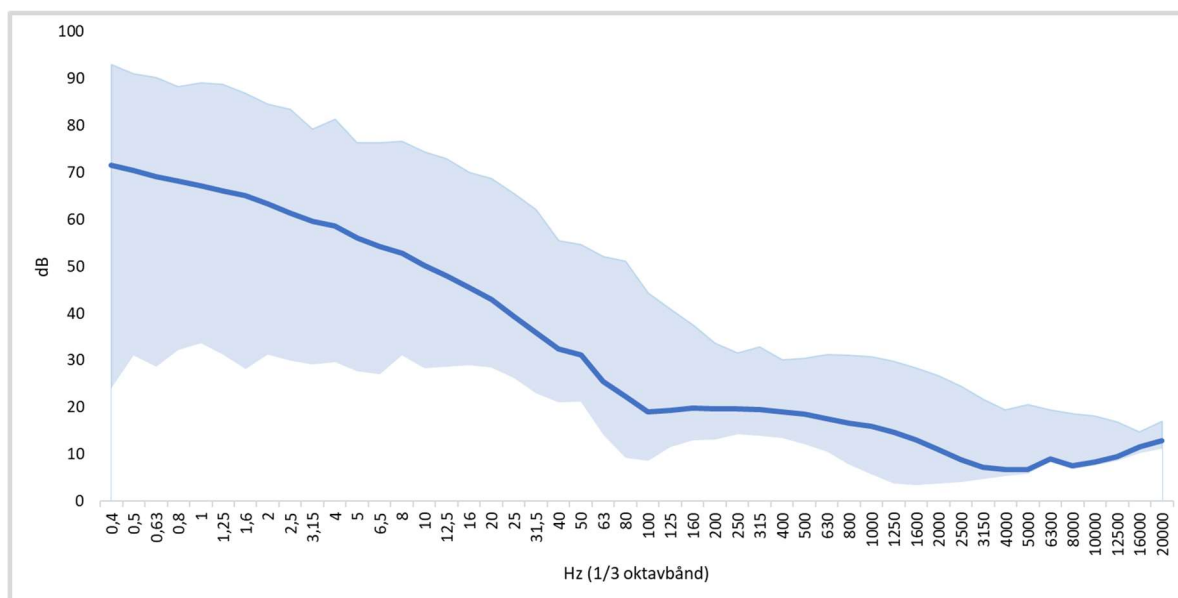


Figur 11: Målte utendørs lydnivåer, L_{eq} , i 1/3-oktavnband ved boligen på Hitra og i Trondheim. Nivåene fra Trondheim er midlet (logaritmisk) over en periode på 15 min og nivåene fra Hitra er midlet over en periode på 60 min. Typisk høreterskel for unge mennesker i stiplet svart linje.

Figur 11 viser at lydnivået i frekvensbandene under 31,5 Hz var betydelig høyere på Hitra enn i Trondheim. Om dette skyldes støy fra vindturbinene er usikkert. Lydnivåene for disse lave frekvensene (under 31,5 Hz) er godt under høreterskelen for unge mennesker, både i Trondheim og på Hitra.

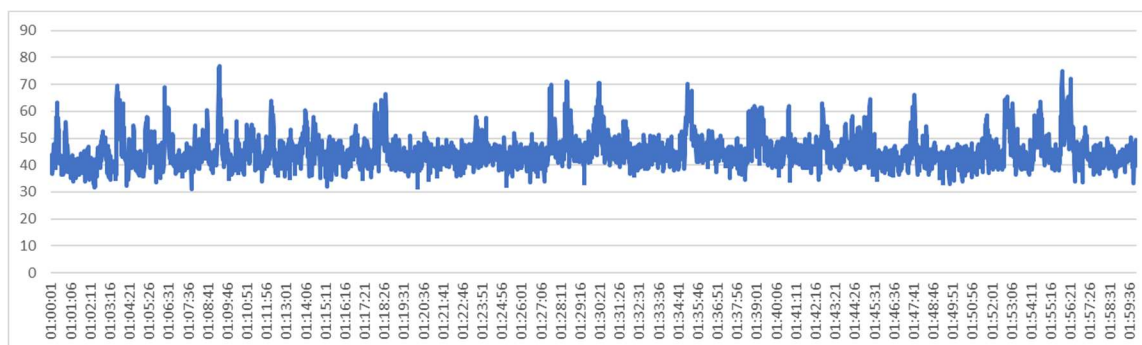
5.4 Variasjon i lydnivå

Lydnivåene for målingene på Hitra presentert i Figur 11 er logaritmisk midlet over en periode på 1 time. Men lydnivåene varierer mye for de laveste frekvensene. Hvor mye av dette som er faktiske endringer i lydnivå eller variasjon i egenstøy fra måleren er usikkert. Aritmetisk middel av måledataene fra samme time (kl. 01.00 – 02.00) gir inntil 10 dB lavere nivå for de laveste frekvensene. Figur 12 viser målt utendørs lydnivå på Hitra (tilsvarende som i Figur 11), men variasjonen i lydnivå i løpet av timen er også markert med lys blå farge.



Figur 12: Målte utendørs lydnivåer, L_{eq} , i 1/3-oktavnband ved boligen på Hitra. Blå strek viser logaritmisk middel over 1 time (fra kl. 01.00 til 02.00). Lys blå farge viser variasjon i målte lydnivåer for hver frekvens.

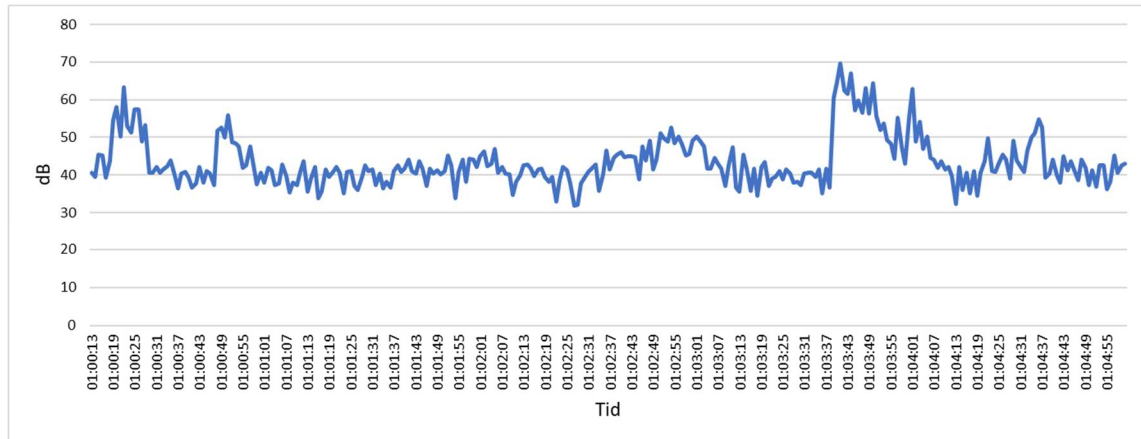
Figur 13 viser variasjon i nivå over timen (fra kl. 01.00 til 02.00) for 1/3 - oktavnbandet 8 Hz.



Figur 13: Målte utendørs lydnivåer, L_{eq} , ved boligen på Hitra for 1/3 oktavnbandet 8 Hz i løpet av 1 time (fra kl. 01.00 til 02.00).

I Figur 14 er det valgt ut en enda kortere periode, på 5 minutter (fra kl. 01.00 til 01.05).

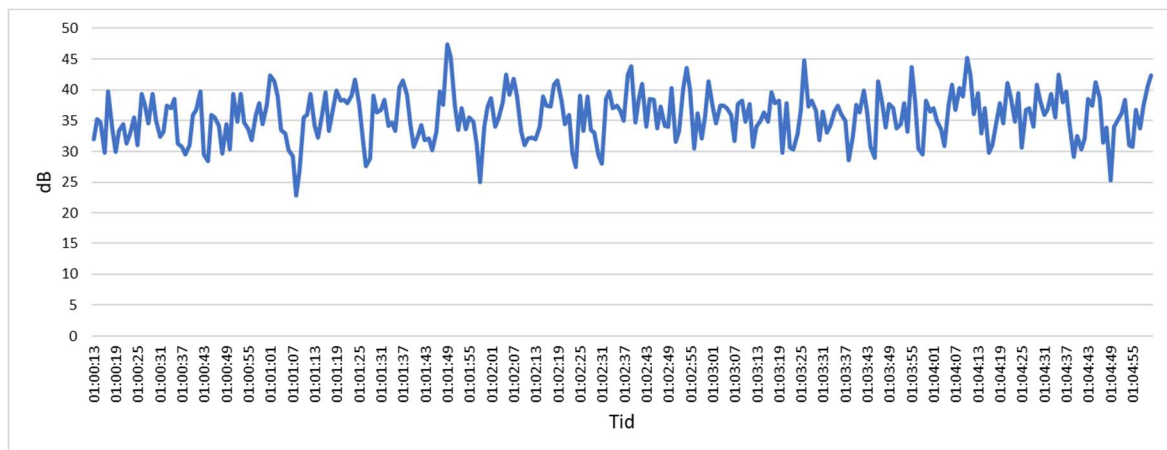
Måleresultater fra lydmåling i bolig på Hitra



Figur 14: Målte utendørs lydnivåer, L_{eq} , ved boligen på Hitra for 1/3 oktavnbandet 8 Hz i løpet av 5 minutter (fra kl. 01.00 til 01.05).

Fra Figur 13 og Figur 14 ser man at det generelle lydnivået ved 8 Hz er målt til ca. 40 - 45 dB utendørs, men at man har kortvarige støytopper på opp mot 80 dB.

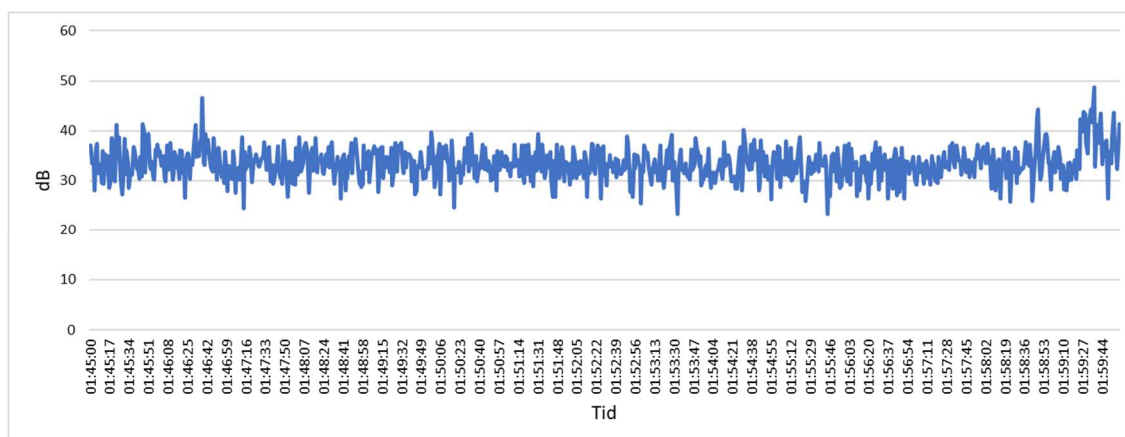
Målingene av innendørs nivå viser andre mønstre. Figur 15 viser lydnivået innendørs fra de samme 5 minuttene som for utendørsmålingen vist i Figur 14. Det antas at refleksjoner i rommet skaper denne endringen i mønster fra lydnivået utendørs.



Figur 15: Målte innendørs lydnivåer, L_{eq} , i boligen på Hitra for 1/3 oktavnbandet 8 Hz i løpet av 5 minutter (fra kl. 01.00 til 01.05).

Målingene i Trondheim viser færre tydelige støytopper i målingene av utendørs støynivå, som vist i Figur 16.

Måleresultater fra lydmåling i bolig på Hitra

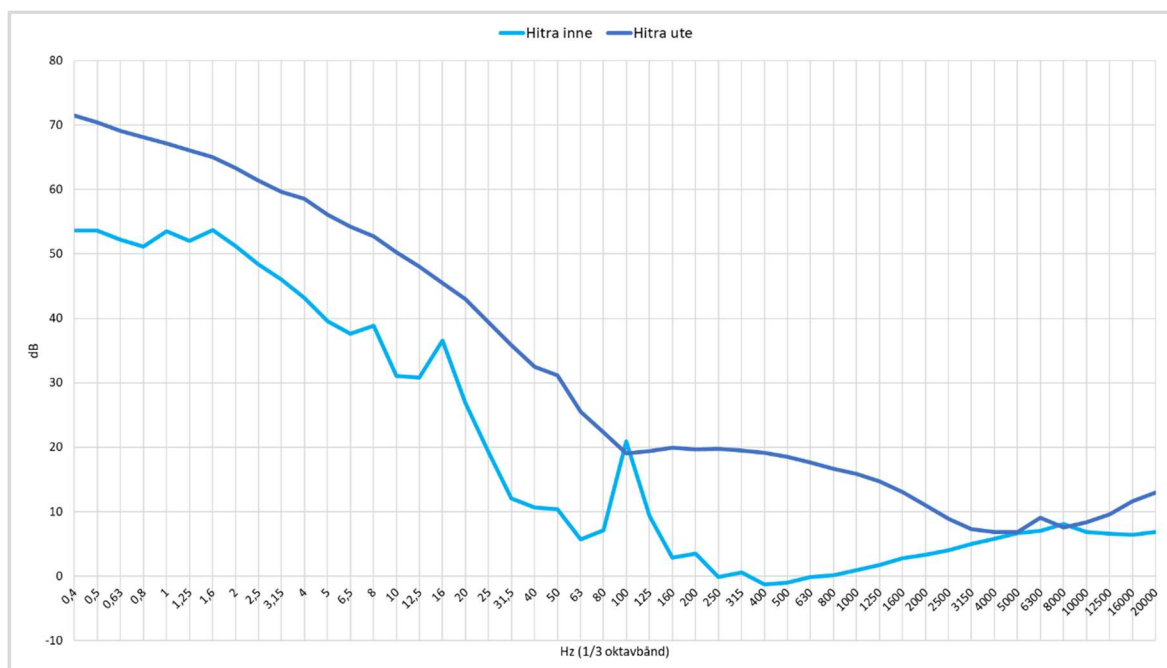


Figur 16: Målte utendørs lydnivåer, L_{eq} , ved boligen i Trondheim for 1/3 oktavbåndet 8 Hz i løpet av 15 minutter (fra kl. 01.45 til 02.00).

Figur 16 viser lydnivåer på ca. 35 dB for frekvensbåndet 8 Hz, som er 5-10 dB lavere enn målt nivå på Hitra for samme frekvensbånd, hvis man ser bort fra «støytoppene».

5.5 Sammenlikning av lydnivåer utendørs og innendørs på Hitra

Huseier opplever kun plage innendørs i huset sitt, og har derfor lurt på om huset oppfører seg som en resonanskasse som forsterker lyden i noen frekvenser. Vi ønsket derfor å sammenlikne innendørs og utendørs lydnivå. Figur 17 viser måleresultatene for hvert 1/3 - oktavbånd fra målingene innendørs og utendørs på natt ved huset på Hitra i løpet av perioden kl. 01.00 til 02.00.



Figur 17: Målte lydnivåer, L_{eq} , i 1/3-oktavbånd utendørs og innendørs i huset på Hitra. Logaritmisk middel over 1 time (fra kl. 01.00 til 02.00)

Dataene i Figur 17 er logaritmisk midlet over tid. Ved aritmetisk midling er det mindre forskjell på innendørs og utendørs nivå siden «støytoppene» i utendørsmålingen i mindre grad blir vektet.

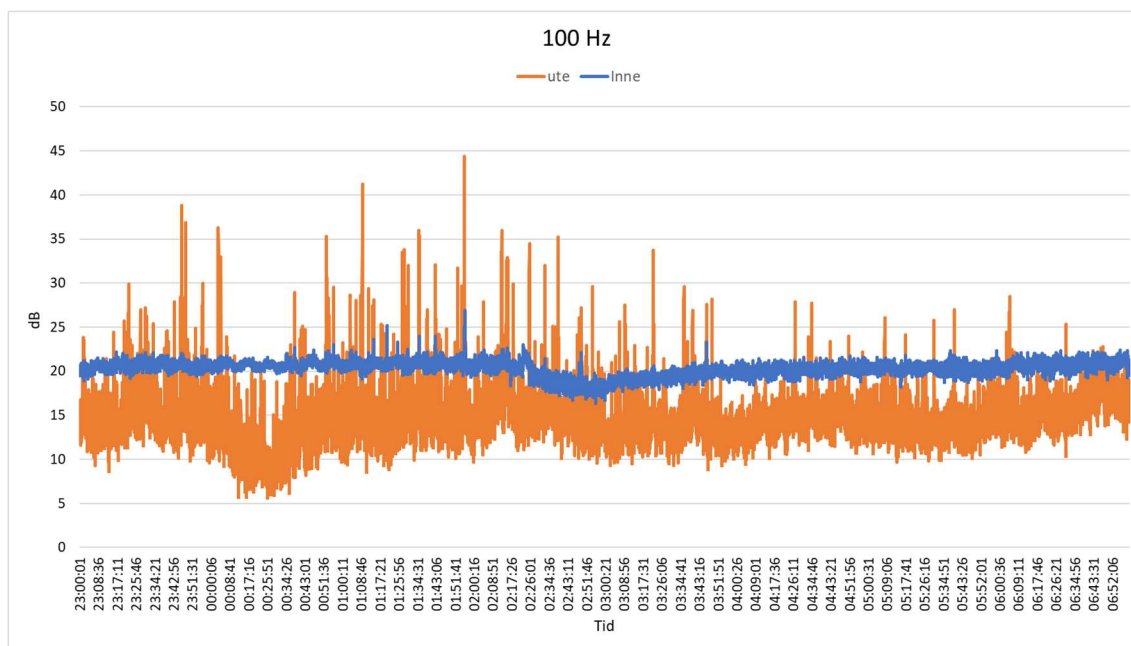
Med unntak av noen av de aller høyeste frekvensene er det kun 1/3 oktavbåndet ved 100 Hz som har nivåer som er høyere innendørs enn utendørs. Lydnivåene innendørs viser også noen nivåtopper ved 8 og 16 Hz som ikke kan sees i kurven for utendørs nivå. Ved andre tidsperioder i

Måleresultater fra lydmåling i bolig på Hitra

løpet av natten viser måledataene tilsvarende topper ved 8, 16 og 100 Hz, men også periodevis økning av lydnivåer ved 10 og 12,5 Hz.

5.5.1 Analyser av frekvensbåndet 100 Hz

Figur 18 viser måleresultatene for frekvensbåndet 100 Hz fra målingene innendørs og utendørs på Hitra i løpet av hele natten. Figuren viser at kurvene for utendørs og innendørs støy ikke følger hverandre. Dette tyder på at målte lydnivåer ved 100 Hz stammer fra en innendørs støykilde (muligens varmeovn), og ikke fra vindturbiner.

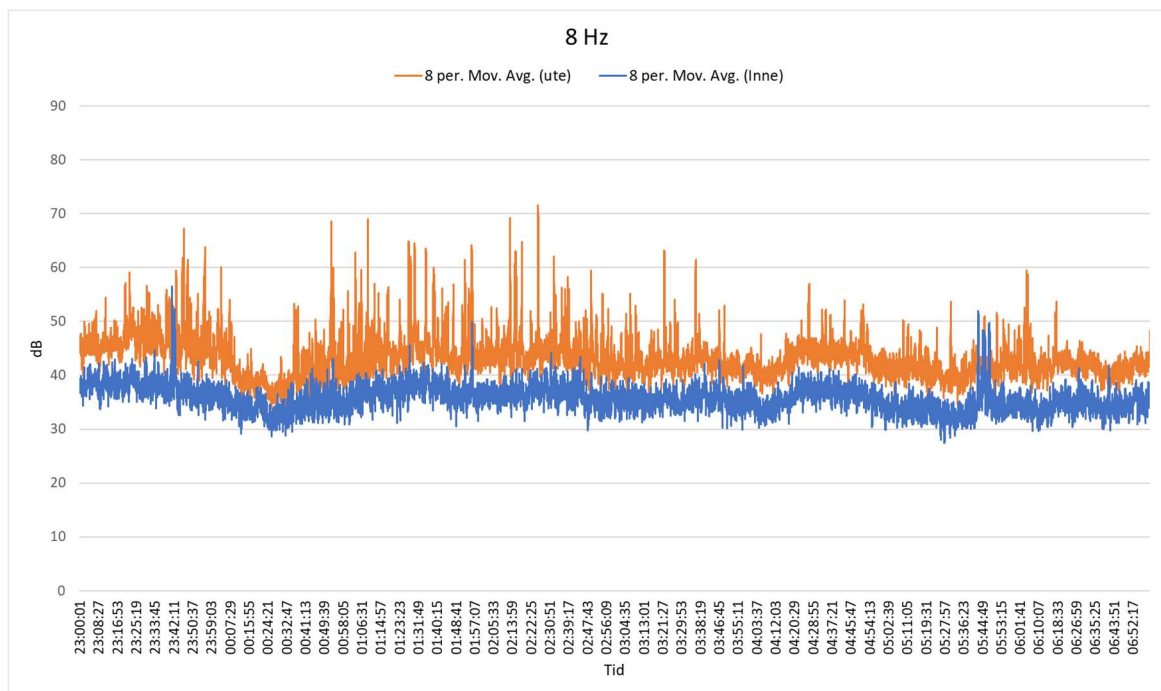


Figur 18: Målte lydnivåer, L_{eq} , for 1/3-oktavnbandet 100 Hz utendørs og innendørs i huset på Hitra. Figuren viser målt lydnivå over tid, fra kl. 23.00 til kl. 07.00. Innendørs og utendørs nivå følger ikke hverandre.

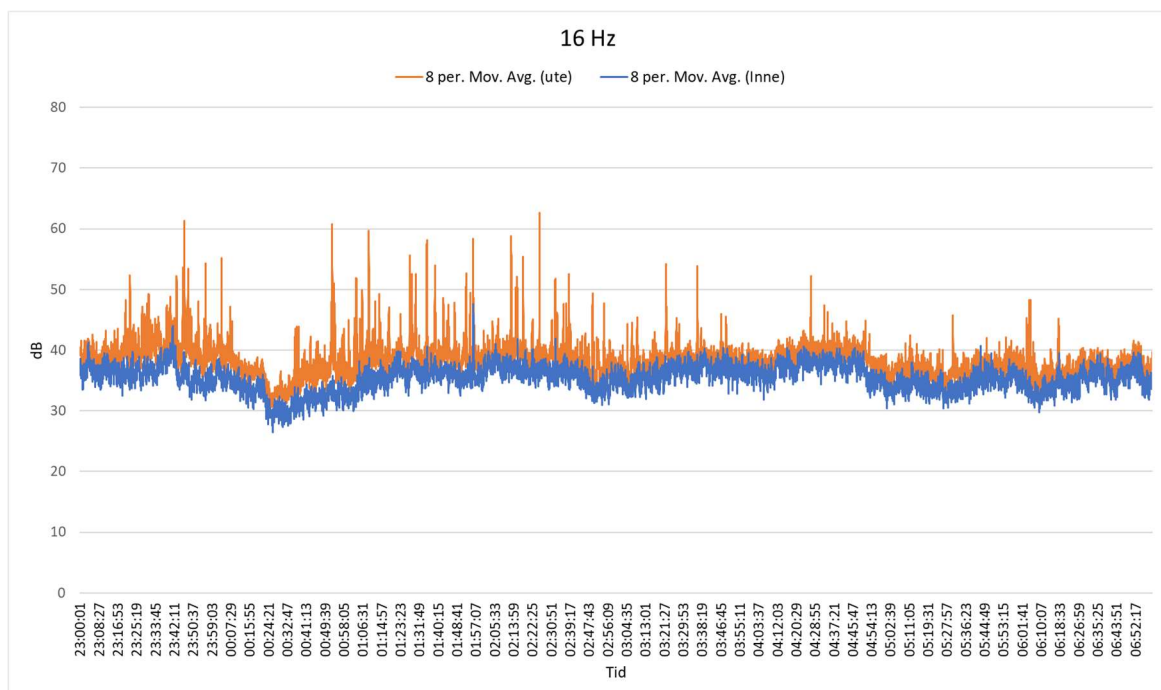
5.5.2 Analyser av frekvensbåndene 8 og 16 Hz

Figur 19 og Figur 20 viser måleresultater for frekvensbåndene 8 og 16 Hz fra målingene innendørs og utendørs på Hitra i løpet av hele natten. Dataene har tidsoppløsning på 1 sekund, men er midlet med glidende gjennomsnitt på 8 sekunder. Figurene viser at kurvene for utendørs og innendørs støy følger hverandre for disse to frekvensbåndene. Dette tyder på at målte innendørs lydnivåer ved 8 og 16 Hz stammer fra en utendørs støykilde. Om lyden stammer fra vindturbinestøy er usikkert.

Måleresultater fra lydmåling i bolig på Hitra



Figur 19: Målte lydnivåer, L_{eq} for 1/3-oktavnbandet 8 Hz utendørs og innendørs i huset på Hitra. Figuren viser målt lydnivå over tid, fra kl. 23.00 til kl. 07.00. Innendørs og utendørs nivå følger hverandre



Figur 20: Målte lydnivåer, L_{eq} for 1/3-oktavnbandet 16 Hz utendørs og innendørs i huset på Hitra. Figuren viser målt lydnivå over tid, fra kl. 23.00 til kl. 07.00. Innendørs og utendørs nivå følger hverandre

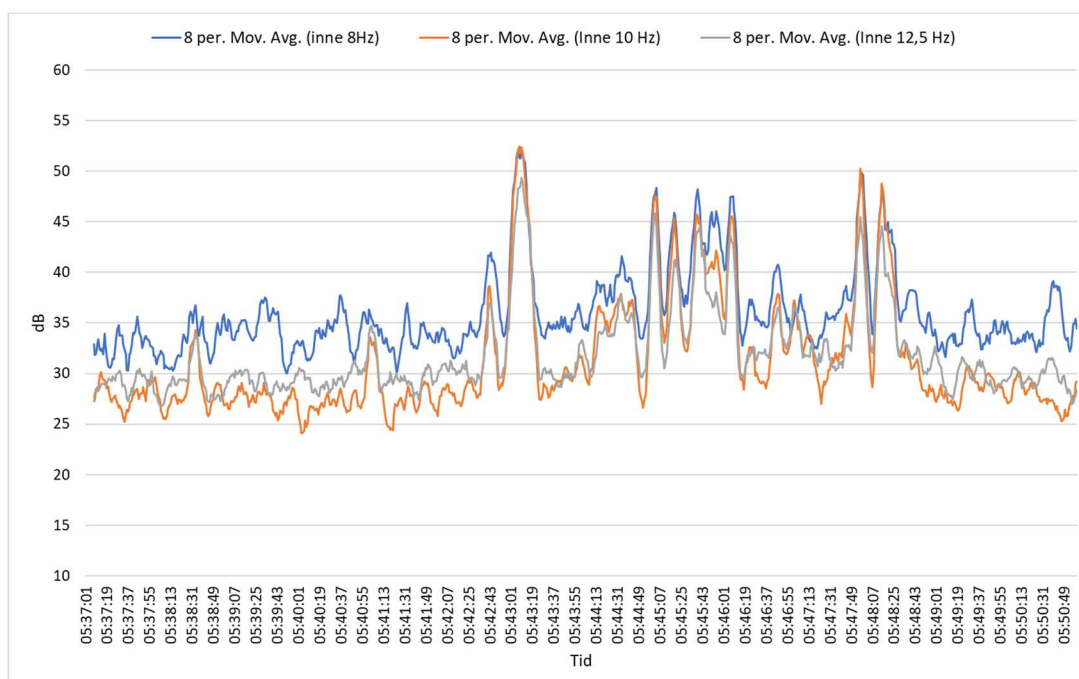
Lydnivåene ved 8 og 16 Hz blir ikke forsterket av huset, siden innendørsnivåene er lavere enn utendørsnivåene. Men målingene tyder på at huset enten har lite fasadedempning for disse frekvensene, eller at det er noe resonans i rommene for disse frekvensene. Målte innendørs nivåer ligger langt under høreterskelen for disse to frekvensbåndene.

5.6 Lydnivåer ved endring av vindturbinaktivitet

Figur 7 viser at det er en endring i aktivitet i vindparken tidlig på morgenen under målenatten. Før kl. 05.30 har turbinene en hastighet på mellom 7 og 14 rotasjoner per minutt. Etter klokka 06.30 varierer hastigheten mellom 7 og 3 rotasjoner per minutt. Dette tydelige skillet i hastighet kunne man forventet å finne igjen som en endring i lydnivå ved boligen, hvis det målte støynivået ved boligen var dominert av vindturbinestøy. Men det er ikke funnet et tydelig skille før og etter denne tidsperioden i måldataene, hverken for A-veid lydnivå (Figur 9) eller for enkelte frekvensbånd (Figur 19 og Figur 20).

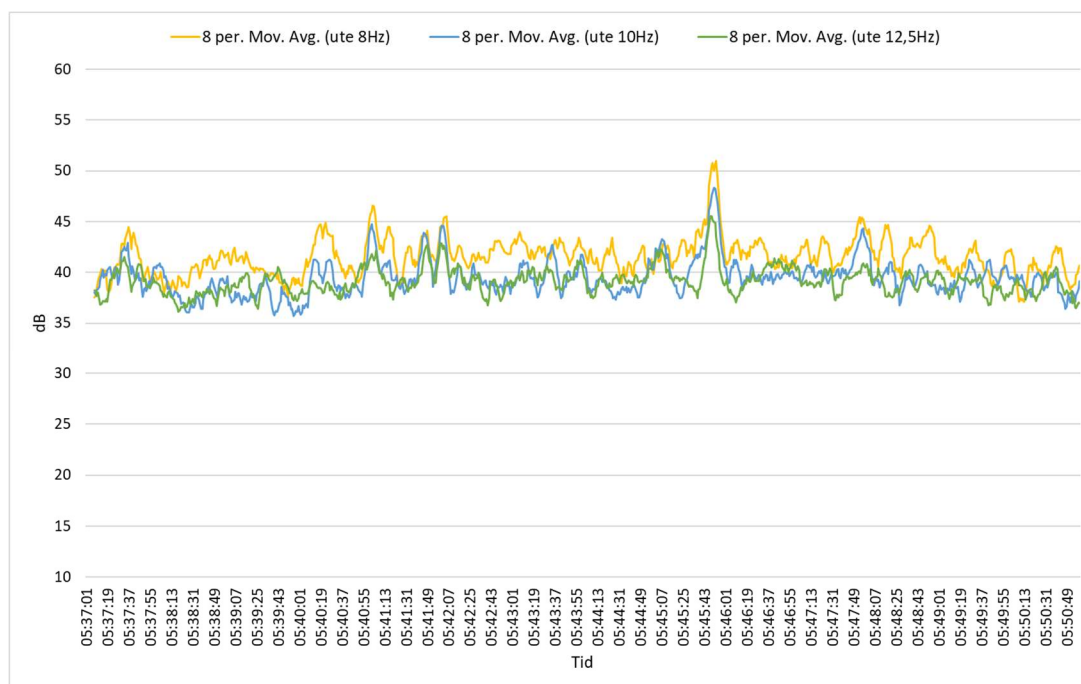
Huseier våknet imidlertid på grunn av lyden tidlig på morgenen under målenatten. På grunn av en klokke som hadde stoppet er det usikkert hvilket klokkeslett dette var, men klokken (som stoppet) viste 04.35. Det er derfor mulig at oppvåkningen kan ha skjedd under dette skiftet i hastighet på vindturbinene (mellom 05.30 og 06.30).

I samme periode finner man noen støytopper i målingene for innendørs nivå for 1/3-oktavbåndene 8, 10 og 12,5 Hz. For disse frekvensbåndene øker lydnivået kortvarig med opp mot 20 dB flere ganger i løpet av en periode på ca. 7 minutter, som vist i Figur 21. Mindre tydelige endringer sees i utendørs lydnivå for de samme frekvensene i samme tidsperiode, som vist i Figur 22. Dataene vist i Figur 21 og Figur 22 er midlet med glidende gjennomsnitt på 8 sekunder.



Figur 21: Målte lydnivåer, L_{eq} for 1/3-oktavbåndene 8, 10 og 12,5 Hz innendørs i huset på Hitra. Figuren viser målt lydnivå over tid, fra kl. 05.37 til kl. 05.51.

Måleresultater fra lydmåling i bolig på Hitra



Figur 22: Målte lydnivåer, L_{eq} , for 1/3-oktavnbandene 8, 10 og 12,5 Hz utendørs ved huset på Hitra. Figuren viser målt lydnivå over tid, fra kl. 05.37 til kl. 05.51.

Tilsvarende hendelser med like store endringer i lydnivå for de lave frekvensene sees ikke i andre perioder i løpet av natten for målingene av innendørs støynivå. For målingene av utendørs støynivå, derimot, er det flere slike hendelser (som f.eks. vist i Figur 14).

Det er uvisst hva som kan ha forårsaket den lavfrekvente lyden vist i Figur 21. De fleste støyende hendelser som kan produseres av huseier selv, som f.eks. tramping i gulvet, flytting av gjenstander eller liknende, forventes å også inneholde høyere frekvenser. Men endringen i lydnivå sees først og fremst for disse tre frekvensbåndene, og ikke for frekvensene i det hørbare området (over 20 Hz). At lydnivået innendørs ikke følger utendørs lydnivå ved denne hendelsen tyder likevel på at støykilden kommer fra noe inne i huset, eller at lyden forplanter seg inn via strukturlyd i gulv eller vegger fra en vibrasjon i bakken. Men dette er usikkert. Det er ikke registrert jordskjelv av NORSAR i Midt-Norge under målenatten.

Målte lydnivåer er langt under høreterskel også i denne perioden (Figur 21).

6 Diskusjon

Målingene viser at lydnivået for frekvensene i infralydområdet (under 20 Hz) var høyere ved målingen på Hitra enn ved målingen i Trondheim. Det er likevel vanskelig å konkludere om dette skyldes vindturbinestøy på Hitra, basert på målingene som er utført. Infralyd finnes i naturen, og høye nivåer kan bl.a. forekomme ved sterk vind som tornadoer, orkaner eller fjellbølger (vind som bøyes over fjell eller formasjoner i terrenget), torden, snøskred, jordskjelv og vann i bevegelse (f.eks. brenninger eller store havbølger). Siden det ikke ble funnet klare sammenhenger mellom aktiviteten i vindparken og lydnivået i målingene er det usikkert om målingene viser vindturbinestøy eller annen støy fra omgivelsene. I fremtiden kunne det ha vært interessant å bruke samme målesystem til å måle lavfrekvent støy under forskjellige meteorologiske forhold og ved forskjellige lokasjoner der det er lang avstand til menneskeskapt støykilder, for å se hvor høye lydnivåer man har i naturen og hvordan det varierer med f.eks. vind og havbølger.

Lydnivåene for frekvensene i infralydområdet som ble målt innendørs og utendørs på Hitra lå langt under høreterskelen. Det er derfor lite sannsynlig at infralyden som ble målt kunne merkes eller høres. I studier der man har undersøkt når man kan merke et ubehag på grunn av infralyd (i rentone - eksperimenter) har det blitt vist at lydnivået må ligge rett under høreterskelen. For å kunne kjenne vibrasjonene fra lyden viser enkelte studier at lydnivået må være over høreterskelen. For å skade organer må også nivået være svært høyt (langt over det som ble målt på Hitra). Om enkelte personer likevel kan reagere på lave nivåer av infralyd, hvis lyden er av en spesiell karakter, er vanskelig å utelukke. Men det er heller ikke funnet noen studier som kan bekrefte dette. Det er heller ikke funnet noen klare svar på dette fra målingene. Ved eventuelle nye målinger kunne det ha vært nyttig om huseier registrerte nøyaktig tidspunkt for spesielt plagsomme hendelser i løpet av målingen.

Huseier mente at lyden ofte kunne høres når hen var innendørs (i tillegg til at hen opplevde kroppslige symptomer). Dette tyder på at lydnivået fra turbinene i det hørbare området (mellom 20 Hz og 20 kHz) kan være relativt høyt til tider, men sannsynligvis langt under grenseverdi for vindturbinestøy på grunn av avstanden til turbinene. Egenskapene til lyden som huseier rapporterer kan tyde på unaturlig amplitudemodulert signal siden hen hører det mest på natt og er av en særlig plagsom karakter, men dette er ikke bekreftet fra målingene da vi ikke er kjent med hvordan et slikt signal ser ut. At huseier opplever mer plage innendørs enn utendørs kan skyldes at lydisolasjonen til huset reduserer en del av lyden fra vindsus og eventuelle andre støykilder, men slipper igjennom noe av vindturbinestøyen. Utendørs maskerer antageligvis vindstøyen for eventuell vindturbinestøy, slik at dette ikke kan høres. Alternativt kan lyden som huseier hører stamme fra andre kilder i huset, som f.eks. vindsus i pipe eller liknende. Men dette er kun spekulasjoner og er ikke bekreftet fra målingene. Målingene viser uansett ingen forsterkning av lyden innendørs i forhold til utendørs.

7 Referanser

- [1] SINTEF, «Prosjektrapport - Støy fra vindturbiner», 2022:00176, feb. 2022.
- [2] Klima- og miljødepartementet, «Veileder M-128 Kapittel 7, 8 og 9 med beskrivelse av støykilder, beregning og måling». 14. august 2020. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.miljodirektoratet.no/sharepoint/downloaditem/?id=01FM3LD2TCK7EQL6NJR5DZLUT6KCQP3VZW>
- [3] W. Møller, Henrik Toshio, «Low Frequency Hearing Thresholds in Pressure Field and in Free Field», *J. Low Freq. Noise Vib. Act. Control*, bd. 9, nr. 3, s. 106–115, sep. 1990.
- [4] Maijala & al, «Infrasound Does Not Explain Symptoms Related to Wind Turbines», Finland government, Finland, jun. 2020.
- [5] Klima- og miljødepartementet, «T-1442 Retningslinje for behandling av støy i arealplanlegging», 2021.

Dette dokumentet har blitt utarbeidet av Multiconsult på vegne av Multiconsult Norge AS eller selskapets klient. Klientens rettigheter til dokumentet er gitt for den aktuelle oppdragsavtalen eller ved anmodning. Tredjeparter har ingen rettigheter til bruk av dokumentet (eller deler av det) uten skriftlig forhåndsgodkjenning fra Multiconsult. Enhver bruk av dokumentet (eller deler av det) til andre formål, på andre måter eller av andre personer eller enheter enn de som er godkjent skriftlig av Multiconsult, er forbudt, og Multiconsult påtar seg intet ansvar for slikt bruk. Deler av dokumentet kan være beskyttet av immaterielle rettigheter og/eller eiendomsrettigheter. Kopiering, distribusjon, endring, behandling eller annen bruk av dokumentet er ikke tillatt uten skriftlig forhåndssamtykke fra Multiconsult eller annen innehaver av slike rettigheter.