

| Alec N. Salt and
Jeffery T. Lichtenhan
Department of Otolaryngology
Washington University
School of Medicine
St. Louis, MO 63110

Volume 10 Issue 1 Winter 2014

Acoustics Today

A publication of the Acoustical Society of America

Redistribution subject to ASA license or copyright; see <http://acousticalsociety.org/content/terms>. Download to IP: 71.205.201.97 On: Mon, 31 Mar 2014 21:40:31

20 | Acoustics Today | Winter 2014

Hvordan påvirker vindmøllestøj mennesker?

Artiklen beskriver flere måder, hvorpå ikke hørbar infralyd og lavfrekvent lyd fra vindmøller kan genere mennesker, der bor i nærheden af vindmøller.

Introduktion

Nogle af de senere artikler i *Acoustics Today* har beskæftiget sig med nogle svært tilgængelige emner angående vindmøllestøj og hvordan denne påvirker folk, der bor i nærheden af vindmøllerne (Leventhall 2013, Schomer 2013; Timmerman 2013). Her præsenterer vi mulige sammenhænge, der kan give sådanne virkninger.

Kernen af den aktuelle debat er, at man på den ene side har den veletablerede vindmølleindustri, der **1:** argumenterer for at der kan ses bort fra infralyd, da de målte niveauer er under høretærsklen for det menneskelige øre, når niveauet måles og dokumenteres med A-vægtede lydmålinger, **2.** afviser muligheden for at der eksisterer nogen som helst form for vindmøllesyndrom (Pierpont 2009) selv når læger (fx., Steven D. Rauch, M.D. at Harvard Medical School) ikke kan forklare visse patienters symptomer, og, **3.** Argumenterer at det er unødvendigt at skabe store afstand mellem vindmøller og private hjem baseret på de herskende lydniveauer.

På den anden side er der mange mennesker der påstår at være så påvirkede af vindmøllestøj at de ikke kan klare at bo i deres boliger. Nogle flytter, enten med værditab eller købt ud af vindmølleopstillerne. Andre

lever med genen, ofte med behov for medicinsk behandling af deres symptomer. Nogle, selv medlemmer af samme familie kan være upåvirkede. Nedenfor følger en beskrivelse af påvirkningen oplevet af en kvinde i Europa, vi modtog for nogle få uger siden som en del af en uopfordret e-mail.

“Fra det øjeblik, vindmøllerne startede oplevede jeg svimmelhedsagtige symptomer permanent. I mange henseender er det jeg oplever nu værre end den svimmelhed, jeg tidligere har oplevet, da den afledte kvalme nu er langt mere intens. Det jeg hører nu er en pulserende, brummende støj som den dominerende lyd, møllerne udsender og det påvirker mig virkelig.

Da teknikeren [den person, der kom for at tage lydmålinger i hendes hus] der udførte målingerne informerede mig om, at han var opmærksom på den lavfrekvente brummen, vindmøllerne producerede (han bor selv nær ved en vindmøllefarm og havde optaget den brummende lyd indendørs i sit eget hus) rådede han mig til at ignorere denne støj og sagde at eventuelle symptomer, jeg oplevede, var psykosomatiske.”

“Næsten alle målinger af vindmøllestøj er A-vægtede ud fra antagelsen om at hørelsen er den eneste vej til at give fysiologiske påvirkninger.”

Vi spurgte hende, hvordan det var, når hun var væk fra vindmøllerne, til hvilket hun svarede:

“Det lykkedes mig at tage ferie i slutningen af august og i de to uger, jeg var væk, havde jeg det helt perfekt.”

Formålet med dette arbejde er at forstå om ørets fysiologi kan eller ikke kan forklare de symptomer folk forbinder med vindmøllestøj. Som det i almindelighed er tilfældet når en debat influerer en specifik industris økonomiske interesser og offentlige omdømme, så kan den videnskabelige objektivitet for de som er tilknyttet industrien være tvivlsom. Troværdighed, erstatningskrav og store pengebeløb kan påvirke resultaterne fra empiriske studier. Om det er en kemivirksomhed, der beskyldes for at forurene grundvandet med kræftfremkaldende dioxin, tobaksindustri, der beskyldes for at bidrage til lungekræft, eller sportsfolk i den nationale football liga (NFL) der formentlig er ofre for hjerneskader, så kan det være ekstremt svært at afdække sandheden, fordi nogen har et ønske om at bevare status quo. Det er først når tilstrækkelig videnskabelig evidens fremkommer fra folk, der ikke arbejder for industrien at emnet bliver taget alvorligt.

Baggrund for vores involvering i infralyd fra vindmøller

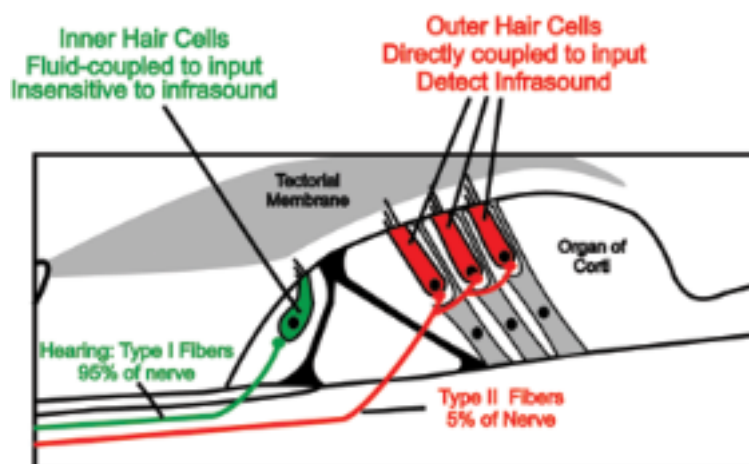
Hvad er evidensen der får os til at konkludere at ikke hørbar infralyd er et reelt vindmølleproblem og hvordan blev vi involveret i denne debat? Vi er en lille gruppe af grund – og specialevidenskabsfolk, hvilket betyder at vores arbejde adresserer de fundamentale spørgsmål om hvordan øret fungerer under normale og anormale forhold. Under udviklingen af paradigmer til vores studier, brugte vi en klassisk teknik kaldet i fagsprog ”lavfrekvent forstyrrelse” – måling af folks respons på en test lyd indenfor det hørbare område, mens vi samtidig genererede en lavfrekvent tone (fra 4,8 til 50 Hz) for at forstyrre sanseorganet i det indre øre. Nogle af publikum reagerer overbevisende når de udsættes for den forudbestemte tone, hvilket kan bruges til at afgøre om ørets sanseorgan vibrerer symmetrisk eller om rystelse af væsken har flyttet det til siden. Denne tilstand, der kaldes “endolymphatic hydrops,”

og findes hos mennesker med Meniere’s sygdom, kan forskyde sensor organet i og med at hulrummet, der indeholder væsken (kaldet endolymph) oplever svingninger eller ”dønninger”. I vores dyreeksperimenter startede vi med at bruge 20 til 50 Hz overlejrings-toner, men af flere grunde og for en stor del baseret på et studie hvor vi fandt at øret reagerede ned til 1 Hz (Salt and DeMott, 1999)så begyndte vi at bruge den laveste

frekvens vores udstyr kunne generere, 4,8 Hz, der anses for at være infralyd. I hundredvis af eksperimenter fandt vi adskillige overlejringsingseffekter med 4,8 Hz toner ved niveauerne 90 til 90 dB SPL (dvs -13 til -3 dBA). Vi fandt også at øret blev ca. 20 dB mere følsomt overfor infralyd overlejrings tonen når væskehulrummet i det cochleare apex var delvis tilstoppet, som det er tilfældet ved endolymphatic hydrops. HERTIL, Jesper.

Sidst i 2009, modtog den første af forfatterne en rapport om en kvinde med Meniere's sygdom, hvis symptomer – primært svimmelhed og kvalme – blev alvorligt forværret når hun var i synlig afstand fra vindmøller. Fra vores dyreforsøg vidste vi, at denne kvinde sandsynligvis var hypersensitiv over for lyd med meget lave frekvenser. Vores efterfølgende søgning i litteraturen om vindmøllestøj afslørede to forhold, der var absolut forbløffende:

1. Næsten alle målinger af vindmøllestøj er A-vægtede, idet de gør den ikke dokumenterede antagelse at hørelsen er den eneste måde hvorpå infralyd kan generere fysiologiske effekter. De få studier, der rapporterede uvægtede målinger af vindmøllestøj, eller korrigerede lydspektret ved at eliminere A-vægtningen fra det offentliggjorte A-vægtede spektra, demonstrerede klart stigning i lydenergien som funktion af lavere frekvenser med det højeste lydenerginiveau i infralydsspektret. Vi blev overrasket over, at de objektive uvægtede målinger viste, at vindmøller genererer infralyd i niveauer, der kan stimulere øret på forskellige måder. Under disse omstændigheder kan A-vægtningen af målingerne af vindmøllestøj være yderst misvisende.



Figur 1 : Øresneglens sanseorgan, visende indre (IHC) og ydre hårceller(OHC) og nerveanatomi

2. Litteratur og websider fra vindmølleindustrien indeholder ofte kraftige udtryk om, at infralyd fra vindmøller er uden betydning. Dette synspunkt er stort set baseret på publikationer fra Leventhall (2006; 2007). Vindmøllestøj beskrives som sammenlignelig med vindens suseni blade, lyden af et vandløb, aircondition i kontorer og køleskabe i rummet ved siden af. Hvis vindmøllestøj virkelig var sammenlignelig med disse støjkilder skulle man ikke forvente klager. Men vindmøllestøjen er kun sammenlignelig med disse kilder hvis de laveste frekvenser udsendt fra møllerne ignoreres gennem A-vægtning. Institutioner, der overvåger infralyd eller lavfrekvent seismisk (vibrerende) støj af andre grunde (for at konstatere eksplosioner, meteornedslag, vulkansk aktivitet, atmosfærisk aktivitet osv.) er helt opmærksomme på at lavfrekvent støj udsendt fra fjernt liggende vindmøllefarme, eller forplantet gennem undergrunden som vibrationer kan påvirke deres målinger. Det engelske forsvarsministerium har modsat sig at vindmøller placeres nærmere end 50 km fra Eskdalemuir seismiske målestation. Vi er ikke stødt på rapporter om, at Ministeriet har modsat sig tilstedeværelsen af køleskabe i området, hvilket antyder at de vurderer lyde udsendt fra vindmøller og køleskabe som vidt forskellige. Det var således meget forbløffende at se at den store majoritet af vindmøllestøjmålinger ekskluderede det lavfrekvente lydindhold. Givet den viden, at øret

reagerer på lavfrekvent lyd og infralyd, ved vi at sammenligning med harmløse lyd-kilder er ubrugelig og logikken i at A-vægte lyd-målingerne er videnskabeligt dybt fejlbehæftet.

Ørets reaktion på infralyd

Eksperimentelle målinger viser pålidelig elektrisk reaktion fra ørets snegl som funktion af infralyd (Salt and DeMott, 1999; Salt and Lichtenhan 2013). Dette fund var i starten vanskeligt at forene med målinger, der viste at hørelsen var markant ufølsom overfor sådanne lyde, men forklaringen blev givet i de nu klassiske lægelige studier af øret, der viste at to typer sensorceller i øresneglen havde meget forskellige mekaniske egenskaber (Cheatham and Dallos 2001).

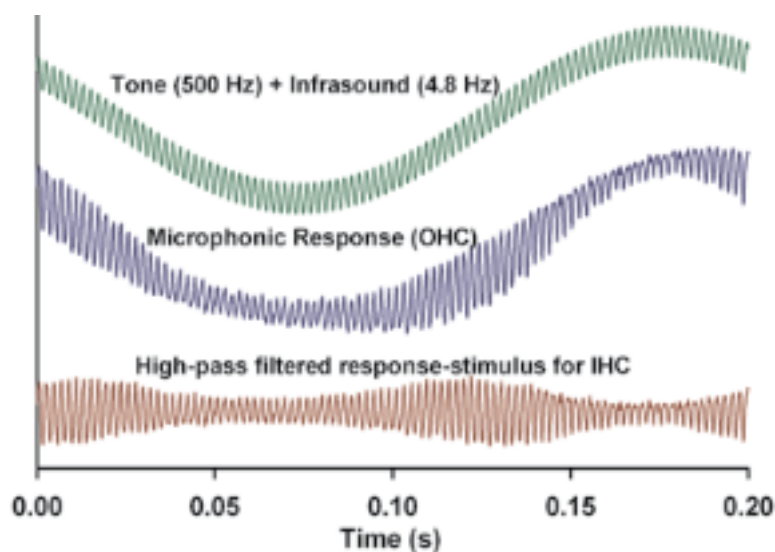
Den hørende del af det indre øre, sneglen, har to typer sensorceller. De indre hårceller (IHC; vist grønne i ovenstående figur) er forsynet med type I registrerende nerve fibre som tillader hørelse. Sneglens indre øres følehår flyder frit og har ikke berøring med den overliggende gelatinøse tectoriale membran (vist grå). De registrerer mekanisk bevægelse i væsken under membranen. Da deres input er koblet til vibrationer i væsken i sanseorganet, udviser de "hastighedsfølsom" reaktion. I takt med at bevægelseshastigheden falder ved lyde med lavere frekvens, efterlader de hårcellerne ufølsomme overfor meget lavfrekvente lyde. Den anden type sensorceller, de ydre hårceller (OHC; vist røde i figuren) er koblet med type II nerve fibre som ikke er så veludforskede som type I fibre og bidrager formodentlig ikke til bevidst hørelse som sådan. I modsætning til de indre hårceller er de ydre hårceller fæstnet til den tectoriale membran. Denne direkte mekaniske kobling giver dem forskydningsfølsomme egenskaber, hvilket betyder at de reagerer godt på lavfrekvent lyd og infralyd. De elektriske signaler, vi har optaget og studeret stammer fra de sensitive ydre hårceller. Ud fra forståelsen heraf konkluderer vi, at lavfrekvente lyde og infralyd betydeligt under høretærsklen rent faktisk stimulerer sneglen. Lavfrekvente lyde og infralyd fra vindmøller kan derfor stimulere øret ved lyd-niveauer godt og vel under de hørbare. Million-dollar spørgsmålet er om denne effekt af vindmølle infralyd stimulerer forbliver som en lokalt fænomen i øret og ikke har anden virkning på personen eller dyret. For nuværende er vindmølleindustrien og deres akustiske rådgiveres holdning, at der ikke er konsekvenser af langvarig lavfrekvent og infralyds stimulering. Dette er ikke baseret på studier, der viser at langvarig udsættelse for lavfrekvent lyd og infralyd er uden indflydelse på mennesker og dyr. Et sådant studie er aldrig blevet udført. Deres snævre perspektiv viser en bemærkelsesværdig mangel på forståelse af sofistikerede biologiske systemer og er næsten helt sikkert forkert. Som vi ræsonnerer nedenfor er der mange fysiologiske mekanismer ved hvilke langvarig eksponering for infralyd i ørets snegl kunne have effekt.

Et vigtigt aspekt af vindmøllestøj, som er relevant for dens fysiologiske konsekvenser er, at eksponeringsvarigheden kan være ekstremt lang, 24 timer i døgnet varende i dage eller længere, afhængig af de forhåndenværende vindforhold. Dette er væsentligt forskelligt fra det meste af den industrielle støj, hvor 8 timers daglig udsættelse kommer i betragtning, afbrudt af længere perioder af stilhed (stilhed 16 timer i døgnet plus alle week end'er). Der er mange studier af udsættelse for højniveau infralyd i få timer, men til dato har der ikke været systematiske studier af udsættelse for infralyd i længere perioder. Graden af øresneglens stimulering af vindmøllestøj er bemærkelsesværdigt svære at få hold i på grund af det faktum at der næsten udelukkende er rapporteret A-vægtede lyd-målinger. Det kan bestemt ikke udledes at stimuleringen er ubetydelig bare fordi A-vægtede målinger viser lave værdier. For eksempel, med 5 Hz stimulering genererer øresneglen output ved -30 dBA og stimuleringen er nok til at give output til mætningsgrad (hvilket indikerer at transduceren (en biologisk transducer omformer fysisk/lydenergi til elektrisk energi) kører til sin grænse) ved ca. 20 dBA (Salt and Lichtenhan, 2012; Salt et al., 2013). Vi har også eftervist at 125 Hz lavfrekvens filteret støj allerede ved 45 dBA producer kraftigere output end bredspektrret støj med samme lavfrekvensindhold ved 90 dBA (Salt and Lichtenhan 2012). Vores konklusion er at ørets lavfrekvensfunktion vil være moderat til stærkt eksponeret i langvarige perioder af vindmøllestøj. Der er et antal plausible mekanismer gennem hvilke eksponeringen kunne have effekter:

1. Amplitudemodulation: Lav-frekvent forstyrrelse ("low frequency biasing")

Det indre øres biologiske mekanisk-elektriske transducers modulering af infralyd er helt forskellig fra den amplitudemodulering af hørbare lyde, der måles med en støjmåler nær vindmøllen under visse omstændigheder. Dette kan man demonstrere med en lav-frekvent forstyrrelse under hvilket man eksponerer en forsøgsperson for en lavfrekvent tone samtidig med en hørbar tone ved højere frekvens. De ydre hårceller responderer både på lavfrekvens og højfrekvens lyd-komponenten enten ved mætning af den

mekanoelektriske transducer eller ved cyklisk ændring af den mekaniske forstærkning af den højere frekvens. De indre hårceller, der er ufølsomme overfor den lavfrekvente tone, registrerer en højfrekvens-filtreret repræsentation af de ydre hårcellers output – en amplitudemoduleret version af den hørbare test tone som vist i figur 2. Da hørelsen formidles gennem de indre hårceller, som modtager ca 90-95% af nerveimpulsen fra den hørende nerve, så hører forsøgspersonen den højere frekvens med varierende styrke. En tilsvarende overlejrende indflydelse på øresneglens respons fremkaldt af den lavfrekvente tone blev forklaret ved at denne påvirkede forstærkningen i de ydre hårceller (Lichtenhan 2012). Netop dette studie viste at lavfrekvensdelen af det indre øre var mest følsomt overfor lav-frekven forstyrrelse. Studier som dette bestyrker sandsynligheden for at de amplitudemodulationer, der rapporteres af naboer til vindmøller som meget enerverende er svære at forklare ved målinger med A-vægtet måleinstrument.



Figur 2 : Demonstration af biologisk genereret amplitudemodulation af en ikke moduleret stimulans bestående af en hørbar 500 Hz tone samtidigt med en infrasonisk tone ved 4.8 Hz. Den cochleare mikrofonrespons, genereret af de ydre hårceller, inkluderer lav og højfrekvens outputkomponenter. De indre hårceller registrerer kun den høje frekvens-komponent, der er blevet amplitudemoduleret ved det dobbelte af infralydskomponentens frekvens.

Det er snarere sådan at den lavfrekvente lyd og infralyden skal tages i betragtning for at forklare dette fænomen. Subjektivt set, så er den opfattede fluktuation fra en amplitudemoduleret lyd og fra en lavfrekvensforskudt lyd identisk skønt deres genereringsmekanisme er vidt forskellige. For forsøgspersonen vil den summerede effekt af begge typer af amplitudemodulering bidrage til opfattelsen af modulering. Akustikere er derfor nødt til at være opmærksomme på at graden af modulation opfattet af mennesker og dyr nær vindmøller kan overskride det, man måler med en lydmåler.

2. Trykvariationer i det indre øres væske (endolymphatic hydrops) induceret af lavfrekvente toner

Som nævnt ovenfor er endolymphatic hydrops ”hævelser” i det inderste membranbegrænsede væskerum i det indre øre. Lavfrekvens toner ved moderate til moderat-kraftige niveauer i bare 1,5 til 3 minutter kan inducere væsketrykændringer (Figure 3), tinnitus (ringen i ørerne) og ændringer i høreevnen og hørbar udstråling, hvilket er kendetegn for endolymphatic hydrops (Salt, 2004, Drexel et al. 2013).

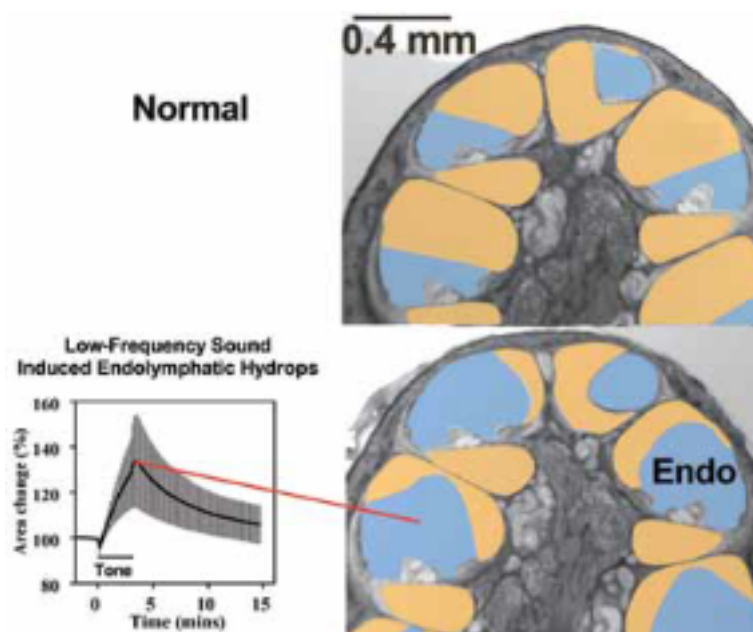
I modsætning til høretab forårsaget af kraftige lyde, er symptomerne fra endolymphatic hydrops ikke permanente og kan forsvinde eller i det mindste variere, når væsketrykændringerne varierer. Tilbagevenden til stilhed (som i Figur 3) eller det at man fjerner sig fra lavfrekvensstøj miljøet, tillader væsketrykændringerne eller symptomerne på disse forsvinde. Dette stemmer med kvindens beskrivelse af

hendes symptomer som nævnt ovenfor. Da væsketrykændringerne er mekaniske i det membranafgrænsede hulrum, påvirker det det elastiske område først, hvilket er kendt som det indre af høresneglen og balanceorganet. Patienter med balanceforstyrrelser oplever typisk følelsen af subjektiv rotation, der følges af uro og kvalme. Som nævnt ovenfor vil et øre, der har udviklet endolymfatisk hydroks være > 20 dB mere følsomt overfor infralyd fordi sneglens inderste bliver delvis blokeret (Salt et al. 2009). Muligheden for en årsagssammenhæng – lavfrekvens inducerede væsketrykændringer, der øger ørets følsomhed for lave frekvenser – må tages i betragtning. Til dato har alle studier af lavfrekvens tone inducerede væsketrykændringer været baseret på kortvarig eksponering (1-2 minutter). Hos mennesker skyldes dette delvis etiske overvejelser ved de mulige konsekvenser af længerevarende eksponeringer (Drexel et al., 2013). Endolymphatic hydroks induceret af længerevarende eksponeringer for lavfrekvent lyd forbliver derfor en reel mulighed.

3. Stimulering af de ydre hårcellers nervesignalveje

Ca 5-10 % af de afferente nervefibre (som sender signaler fra sneglen til hjernen – type II fibre, nævnt ovenfor) er koblet til de ydre hårceller via synapser. Disse fibre responderer ikke godt ved lyde i det normale hørbare område og de anses ikke for forbundet med den bevidste hørelse.

Stimulering af disse fibre kan generere andre sansninger som prop i øret, trykken for ørene eller tinnitus. Hvad mere er, synes det, at infralyd er den ideelle stimulans til at overstimulere de ydre hårcellers afferente fibre, givet hvad vi ved om disse neuroner fra registreringer nervefibre, der sender signaler fra øret til hjernen (Weisz et al, 2012; Lichtenhan and Salt, 2013). Stimulering af de ydre hårcellers signaler i et virkeligt øre mangler endnu at blive udført med infralyd, men sammenlignelige fibre i fugle er påvist at være meget sensitive for infralyd (Schermuly and Klinke, 1990). De ydre hårceller sender signaler til hjernens cochleare kerner som har en funktion i selektiv opmærksomhed og alarmering, hvilket kunne forklare de søvnforstyrrelser, folk, der bor i nærheden af vindmøller rapporterer (Nissenbaum et al. 2012).



Figur 3 : Kortvarig eksponering for lavfrekvente toner forårsager endolymfatisk hydroks hos dyr (Salt, 2004) og tinnitus og akustisk signalændring, konsistent med endolymfatisk hydroks hos mennesker (Drexel et al, 2013). De anatomiske billeder til højre viser forskellen mellem den normale (den øverste) og den trykændrede (nederste) snegl. Lymferummet (vist blåt) er forøget i sneglen, kirurgisk fremkaldt i dette tilfælde.

Sandsynligheden for at signaler fra de ydre hårceller er involveret i virkningerne af lavfrekvent støj bestyrkes af observationer af, at type II nerveirritation er kraftigst i sneglens lavfrekvensområde, som mest stimuleres af infralyd (Lieberman et al. 1990, Salt et al. 2009).

4. Forværring af støjinduceret høretab

For nogle år siden udførte vi eksperimenter for at afprøve en hypotese om, at infralyd beskyttede mod støjfremkaldt skade (Harding et al. 2007). Vi ræsonnerede at lav-frekvens forstyrrelse periodisk ville lukke den mekanoelektriske transducerkanal i sanseorganet (idet den reducerede det elektriske signal som vist i forstyrrelsesstudier, se ovenfor), og som konsekvens heraf reducere den tid hvor hårcellerne blev eksponeret for skadelig overstimulering fra støjeksponering. Dette eksperimentelle studie viste, at netop det modsatte var tilfældet. Vi fandt at samtidig præsentation af infralyd og kraftig støj faktisk forøgede støjinducerede læsioner sammenlignet med, når kraftig støj blev præsenteret uden infralyd. Vores tolkning var, at lavfrekvent lyd frembragte en sammenblanding af væskerne (endolymphe og perilymphe) på steder med tab af hårceller, resulterende i læsioner, der blev større. En mulighed, der derfor skal tages i betragtning er, at langvarig eksponering for infralyd fra vindmøller kunne øge det aldersbetingede høretab og give støjinduceret høretab. Da disse former for høretab udvikler sig langsomt over årtier kunne skaderne være en skjult konsekvens af menneskers eksponering for infralyd, som ville være år om at manifestere sig.

5. Infralydsstimulering af balancesanseorganet

Nyere kommunikation i denne journal mellem lægerne Leventhall og Schomer vedrørende direkte stimulering af balancereceptorerne med lave og infralydsfrekvenser fortjener en kommentar. Dr. Leventhall hævder at både lægerne Schomer og Pierpont har uret i at antage, at vindmølle infralyd kan stimulere balance receptorerne, idet Dr. Leventhall citerer Todd's arbejde, i hvilket ørets følsomhed blev målt som reaktion på mekanisk lavfrekvens stimulering overført via kranieknoglerne. Leventhall glemmer at klargøre, at der ikke findes studier, der rapporterer balancepåvirkning eller fraværet af balancepåvirkning fra en akustisk påført infralyd. Dette betyder, at Leventhall som baggrund for sine markante påstande ikke kan referere til studier, der definitivt viser at balancereceptorer i øret ikke reagerer på infralyd. Mange studier har rapporteret måling af membranlabyrintens reaktioner på hørbar lyd. Netop sådanne målinger danner basis for kliniske tests af membranlabyrintens funktion gennem VEMP (vestibular-evoked myogenic potentials). Nogle af disse studier har vist at følsomheden for akustisk stimulering falder med faldende frekvens. På den anden side viser laboratorieeksperimenter at balancehårceller har maksimal følsomhed ved infralydsfrekvenser (~1 – 10 Hz). Således kunne følsomheden for akustisk stimulering vokse med faldende stimuleringsfrekvens ned i det infralydsområdet. Direkte forsøgspersontest af vestibular stimulering forbliver derfor en mulighed, indtil det er blevet eftervist at membranlabyrinten specifikt ikke reagerer på denne form for stimulering.

Lavfrekvenstone induceret væsketrykvariation, som den er diskuteret ovenfor, kunne øge mængden af sacculær stimulering ved akustisk input. Trykvariationer får den bløde sacculære membran til at udvide sig, i mange tilfældet til den direkte kommer i kontakt med stigsøjlen fodplade. Dette dannede basis for den nu forladte ”tack” procedure ved Meniere's sygdom, i hvilken en skarp protese blev implanteret i stigsøjlen fodplade for at perforere den udvidede sacculus (Schuknecht et al., 1970).

Når saccula er udvidet vil vibrationer forplante sig til endolympfen, men ikke perilympfen, med mulighed for at gøre den akustiske stimulering af signalgiveren mere effektiv. Der kan være visse persongrupper, hvis vestibulære systemer er hypersensitive overfor meget lavfrekvent infralyd. For eksempel, ved man, at patienter med en åbning i den øverste buegang bliver svimle ved akustisk stimulering. Der kunne findes undergrupper med mild eller ikke fuldt udviklet åbning, hos hvilke de vestibulære organer er mere sensitive for lavfrekvens lyd end resten af befolkningen.

“I mange år har de dækket sig bag det mantra, som nu er modbevist, men gentaget i mange former som ”Hvad man ikke kan høre, kan ikke påvirke én”.

6. Mulig beskyttende terapi mod infralyd

En almindeligt brugt klinisk behandling kunne muligvis løse problemet med klinisk følsomhed overfor infralyd. Tympanostomirør er små skiver med hul i midten, der placeres i trommehinden for at sikre en permanent perforering af denne. De bruges rutinemæssigt ved behandling af børns mellemørebetændelse og er med succes blevet brugt for at behandle tilfælde af Meniere's sygdom. Det er en rutineoperation. Skønt tympanostomirør har ubetydelig indflydelse på hørelsen i talefrekvensområdet, reducerer den drastisk følsomheden overfor lavfrekvente lyde (Voss et al., 2001) ved at udligne trykforskellen mellem øregangen og mellemøret. Det effektive niveau for infralyd, der når frem til det indre øre kan reduceres med 40 dB eller mere med denne behandling. Tympanostomirør er ikke permanente men falder ud af sig selv efter nogle måneder, eller de kan fjernes af lægen. Ingen har nogensinde evalueret om tympanostomirør lindrer symptomerne hos dem, der lever nær vindmøller. Fra patientens perspektiv kunne dette være at foretrække frem for at flytte fra huset eller bruge medicinsk behandling for svimmelhed, kvalme og eller søvnforstyrrelser. Resultaterne af en sådan behandling – positive eller negative – ville sandsynligvis have betragteligt virkning på debatten om vindmøllestøj.

Konklusioner og overvejelser

Vi har beskrevet flere måder, på hvilke infralyd og lavfrekvent lyd kunne påvirke øret og udløse symptomer som dem, de der bor nær vindmøllerne, rapporterer.

Hvis det på et tidspunkt kan påvises at symptomerne hos dem, der bor nær møllerne, har fysiologisk belæg, bliver det åbenlyst, at den årgamle påstand fra vindmølleindustriens akustikere at "hvad man ikke kan høre kan ikke påvirke en" eller at symptomerne er psykosomatiske eller en angsteffekt, var en stor uretfærdighed. Tidens stærkt polariserede situation er opstået, fordi vores viden om effekten af langvarig infralydeksposering befinder sig på et meget primitivt niveau. Baseret på veletablerede principper i ørets fysiologi, og hvordan det reagerer på lyde med meget lave frekvenser, er der rigelig begrundelse for at tage dette problem mere alvorligt end det er sket hidtil. Der er mange vigtige videnskabelige problemstillinger, som kun kan løses med omhyggelig og objektiv forskning.

Selv om generering af infralyd i laboratoriet er teknisk vanskelig, så er nogle forskergrupper allerede ved at designe det nødvendige udstyr for at udføre kontrollerede eksperimenter på mennesker.

Et forhold, der maner til eftertanke er den rolle visse akustikere og akustiske selskaber har spillet. Den primære rolle for akustikere burde være at beskytte og tjene samfundet mod negativ indflydelse fra støjeksponering. I tilfældet med vindmøllestøjen synes det, at mange har fejlet i denne rolle. I mange år har de dækket sig bag det mantra, som nu er modbevist, men gentaget i mange former som "Hvad man ikke kan høre, kan ikke påvirke én."; "Hvis man ikke kan høre en lyd så kan man ikke opfatte den på andre måder og det påvirker ikke én." ; "Infralyd fra vindmøller er under høretærsklen og har ingen konsekvenser."; "Infralyd er ubetydelig fra denne type mølle."; "Jeg kan kategorisk sige, at der ingen infralyd af betydning er i nuværende mølledesign." JESPER se den næste sætning: Alle disse udsagn antager, at hørelse afledt af de ydre hårcellers lavfrekvens intensive signaler er den eneste mekanisme, ved hvilken lavfrekvent lyd kan påvirke kroppen. Vi ved, at denne antagelse er forkert og må beskyldes manglende detaljeret forståelse af ørets fysiologi for at være kilden til den.

En anden overvejelse, der skal sikres er udviklingen af målinger af vindmøllestøj der er af klinisk relevans. Brugen af A-vægtning skal nyvurderes, da den er baseret på hørelse, formidlet af de indre hårcellers manglende følsomhed og i stort omfang misrepræsenterer det indre øres stimulering fra støjen. I videnskabelig sammenhæng ville A-vægtede målinger være uacceptable, idet mange elementer i øret udviser større følsomhed end selve hørelsen. Vindmølleindustrien bør forpligtes til at efterleve denne høje standard. Overvågning af lyden over dens fulde spektrum, som er blevet taget i brug i nogle rapporter, er afgørende.

I de kommende år, hvor vi eksperimenterer os til en bedre forståelse af effekterne af langvarig lavfrekvent lyd på mennesker, bliver det muligt at genvurdere den rolle akustikere og grupperinger, der har plejet partnerskab med vindmølleindustrien, har spillet.

Givet nuværende evidens virker det i bedste fald risikabelt at forsætte den nuværende gambling – nemlig at påstå at infralydsstimulering af øret kun er knyttet til hørelsen og ikke har andre effekter på kroppen.

Hvis dette skulle være sandt, skulle alle de mekanismer vi her har opregnet (lavfrekvensinduceret amplitudemodulation, lavfrekvensinducerede væskevolumenændringer, infralydstimulering via type II signalerende nerver, infralydforværring af støjinduceret skade og direkte infralydsstimulering af

balanceorganet) være uden betydning. Vi ved, at dette er yderst usandsynligt, og vi forudser, at nye erkendelser i de kommende år vil påvirke debatten.

Fra vores perspektiv, baseret på vores viden om ørets fysiologi, må vi erklære os enige med Nancy Timmerman i, at tiden er kommet til at “erkende problemet og arbejde på at løse det”.

Korte biografier

Alec N. Salt is Professor of Otolaryngology at Washington University. He is a long-term member of the Acoustical Society of America, the Association for Research in Otolaryngology, and the American Otological Society. His research covers broad aspects of system-level cochlear physiology, with a major focus on the inner ear fluids, drug delivery to the inner ear, and low-frequency sound effects on the ear.

Jeffery T. Lichtenhan is Assistant Professor of Otolaryngology at Washington University in St. Louis. He recently completed his postdoctoral fellowship in the Eaton-Peabody Laboratory of Auditory Physiology at Harvard Medical School. His research addresses questions on the mechanics of hearing to low-frequency acoustic sound, and the auditory efferent system. Ultimately, his work aims to improve the differential diagnostics of sensorineural hearing loss.

Cheatham, M.A., Dallos, P. (2001). “Inner hair cell response patterns: implications for low-frequency hearing,” *Journal of the Acoustical Society of America*. 110, 2034-2044.

Drexler, M., Uberfuhr, M., Weddell, T.D., Lukashkin, A.N., Wiegand, L., Krause, E., Gurkov, R. (2013). “Multiple Indices of the ‘Bounce’ Phenomenon Obtained from the Same Human Ears,” *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*. (e-pub, before print copy) 10.1007/s10162-013-0424-x

Harding, G.W., Bohne, B.A., Lee S.C., Salt A.N. (2007). “Effect of infrasound on cochlear damage from exposure to a 4 kHz octave band of noise,” *Hearing Research*. 225:128-138.

Leventhall, G. (2006). “Infrasound From Wind Turbines – Fact, Fiction Or Deception,” *Canadian Acoustics* 34:29-36.

Leventhall, G. (2007). “What is infrasound?,” *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 93: 130–137.

References

Leventhall, G. (2013). “Concerns About Infrasound from Wind Turbines,” *Acoustics Today* 9:3: 30-38.

Liberman, M.C., Dodds, L.W., Pierce, S. (1990). “Afferent and efferent innervation of the cat cochlea: quantitative analysis with light and electron microscopy,” *Journal of Comparative Neurology* 301:443-460.

Lichtenhan, J.T. (2012). “Effects of low-frequency biasing on otoacoustic and neural measures suggest that stimulus-frequency

otoacoustic emissions originate near the peak region of the traveling wave,” *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*. 13:17-28.

Lichtenhan, J.T., Salt, A.N. (2013). “Amplitude modulation of audible sounds by non-audible sounds: Understanding the effects of wind turbine noise.” Proceedings of Meetings on Acoustics, Vol. 19: *Journal of the Acoustical Society of America*. 133(5), 3419.

Nissenbaum M.A., Aramini J.J., Hanning C.D. (2012). Effects of industrial wind turbine noise on sleep and health. *Noise Health*. Sep-Oct;14(60):237-43.

Pierpont, N. (2009). “Wind Turbine Syndrome.” K-Selected Books.

Salt, A.N., DeMott, J.E. (1999). “Longitudinal endolymph movements and endocochlear potential changes induced by stimulation at infrasonic frequencies,” *Journal of the Acoustical Society of America*. 106, 847-856.

Salt, A.N. (2004). “Acute endolymphatic hydrops generated by exposure of the ear to nontraumatic low frequency tone,” *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*. 5, 203-214

Salt, A.N., Brown, D.J., Hartsock, J.J., Plontke, S.K. (2009). “Displacements of the organ of Corti by gel injections into the cochlear apex,” *Hearing Research* 250:63-75.

Salt, A.N., Lichtenhan, J.T. (2102). “Perception-based protection from low-frequency sounds may not be enough,” Proceedings of the InterNoise Symposium, New York.

Salt, A.N., Lichtenhan, J.T., Gill, R.M., Hartsock, J.J. (2013). “Large endolymphatic potentials from low-frequency and infrasonic tones in the guinea pig,” *Journal of the Acoustical Society of America* 133 :1561-1571.

Schermuly, L, Klinke, R. (1990). “Origin of infrasound sensitive neurones in the papilla basilaris of the pigeon: an HRP study,” *Hearing Research* 48, 69-77.

Schomer, P. (2013). “Comments On Recently Published Article, “Concerns About Infrasound From Wind Turbines,” *Acoustics Today* 9:4: 7-9

Schuknecht, H.F. (1977). “Pathology of Meniere’s disease as it relates to the sac and tack procedures,” *Annals of Otolology, Rhinology and Laryngology*. 86:677-82.

Timmerman, N.S. (2013). “Wind Turbine Noise,” *Acoustics Today*, 9:3:22-29

Voss, S.E., Rosowski, J.J., Merchant, S.N., Peake, W.T.. (2001). “Middle-ear function with tympanic-membrane perforations. I. Measurements and mechanisms,” *Journal of the Acoustical Society of America* 110:1432-1444.

Weisz, C.J., Lehar, M., Hiel, H., Glowatzki, E., Fuchs, P.A. (2012). “Synaptic Transfer from Outer Hair Cells to Type II Afferent Fibers in the Rat Cochlea,” *Journal of Neuroscience*. 32:9528-9536.

Redistribution subject to ASA license or copyright; see <http://acousticalsociety.org/content/terms>. Download to IP: 71.205.201.97 On: Mon, 31 Mar 2014 21:40:31