

Bilaga B: Centralmakten medverkar till hälsofarlig bullerverksamhet. Miljöprovningarna kännetecknas av egenmäktig myndighetsutövning med inslag av ” faktaförnekelse och politiska narrativ”.

Tillämpade beräkningsmodeller, gränsvärden och nationella regelverk är förlegade och har inte anpassats till teknikutvecklingen och de ökande hälsoriskerna. WHO har i Guidelines for European Environmental Noise 2018, dömt ut tillämpningen av dBA som mätnorm då det inte korrekt redovisar lågfrekvent ljud och därmed riskerar ”adverse health effects”. WHO:s tydliga rekommendation att fastställa nya regelverk i samverkan med medicinsk expertis och allmänheten har negligerats av Naturvårdsverket, med tidigare klimat- och miljöministrars goda minne.

Naturvårdsverkets dubbla uppdrag att både verka för vindkraftsutbyggnad och hälsosäkra bullerregelverk leder till orättvisa intrång och övergrepp på medborgarnas rätt till dräglig existens, att födas friska och växa upp i en sund miljö utan att berövas hälsa, livskvalitet och ekonomiska värden. Beräkningsmodellen NORD2000 baserades på villkor som gällde för markbundet trafikbuller i seklets början, när verken var runt 25 m höga. Dagens verk når höjder >300 m, med helt annan ljudbelastning i form av kraftiga, pulserande lågfrekventa och amplitudmodulerade ljud, infraljud och vibrationer, som utbredds långt bortom verken.

Regelverket har allt för länge varit låst till förlegad ”praxis 40 dBA” trots att störningar nattetid kan upplevas vid 20 dBA i tyst miljö. Eller att vi som barn har en lägre hörtröskel om minst 6 dBA. Vi har exempel på en nu tonårig flicka som fått sitt liv och studiegång förstörd då hon ligger sömlös 8 km från 10 vindkraftverk, när det blåser. Naturvårdsverkets cyniska svar på hennes brev, var i princip ”ställ sängen mitt i rummet” (Kopia finns). ”Vindkraft är viktigt för att vi ska få el i Sverige, vilket behövs för att minska vår klimatpåverkan och jordens uppvärmning. Tyvärr så bullrar vindkraftverken ganska mycket och därför har vi på Naturvårdsverket satt upp gränser för hur mycket vindkraftverken får låta”Faktum är att vindkraft både bidrar till negativa klimateffekt och höjer jordens uppvärmning i det avgörande korta perspektivet.

Amplitudmodulerade lågfrekventa ljud.

Naturvårdsverket har vid senaste revidering av bullerregelverket 2020, bortmanipulerat provning av hälsoeffekter och sömnstörningar, som orsakas av hörbara amplitudmodulerade lågfrekventa toner, som ständigt uppstår under 20 % av nattetiden upp till 3,5 km vid normaldrift (Hansen et al).

Problemet erkänns i remissutgåvan ”Buller från vindkraftverk” (sept 2020), men motiven är grundlösa:

1. *Amplitudmodulerat ljud kan upplevas som mer störande än vanligt ljud.*
2. *Det saknas dock kunskap om hur tydliga variationer som krävs för att störningen ska öka.*

Kommentar: Störningen har redan skett långt bortom den beräknade ”praxisen 40 dBA”.

Med dagens höga verk uppstår alltid höga vindhastigheter vid navhöjd, vilket orsakar amplitudmodulering. Därtill kan vindriktningarna variera kraftigt mellan övre och nedre läget, vilket medför olika attackvinklar och amplitudmoduleringar. Verk inom större anläggningar möter alltid kaotiska turbulenser från andra verk, vilket alltid leder till amplitudmodulering.

3. *Dessutom saknas mätmetoder för att utvärdera och kvantifiera amplitudmodulation. Forskning och utveckling av mätmetoder pågår, såväl i Sverige som internationellt.*

Kommentar: Amplitudmodulering uppmättes med vanlig mätutrustning, redan 2012-2014 av Conny Larsson, Uppsala Universitet, vid långtidsmätningarna vid Dragarliden i Västerbotten. Han noterade frekventa sentenser om 45 dBA fördelade nattetid och föreslog en sänkning av gränsvärdet med 5 dBA. Detta avvisades av Naturvårdsverket med cynisk motivering utan hänsyn till människorna, som ska tvingas leva runt dessa industrianläggningar. Utan denna egenmäktiga centrala myndighetsutövning hade de flesta vindkraftsprojekt i Syd- och Mellan-Sverige aldrig realiserats, vilket lett till att ett stort antal svenskar utsatts för hälsofarliga ljudnivåer.

4. *Då standardiserade metoder för mätning och modeller för bedömning av ökad störningsrisk av amplitudmodulerat ljud saknas, har Naturvårdsverket valt att för närvarande avstå från att*

införa generella skärpningar av riktvärdet för vindkraftsbuller vid förekomst av onormal amplitudmodulation.

Kommentar: Samma förhållande svepskäl som i punkt 3. Planerade verk har idag tre gånger högre effekt och är >100 m högre än vad som gällde 2019. De högre vindhastigheterna skapar kraftiga turbulenta luftmassor inom anläggningarna som alstrar nya kaosartade amplitudmodulerade ljudpulser långt bakom verken, i sådan omfattning att de kan betraktas som "normalt" förekommande. Dessa ljud har extrem lågfrekvent karaktär, lång utbredning och låg dämpning som inte hindras av husväggar och är hörbara inomhus. Se bildmaterial Hansen et al, som visar utbredning över minst 3,5 km för 3 MW-verk. Då aktuella 7,5 MW-verk i grupp, kan ha 15-20 dB högre källjud i det lågfrekventa området, kan störningsupplevelsen teoretiskt vara fyrfaldigt större, givet normen att störningsgraden dubblas vid varje ljudnivåhöjning om 8-10 dBA. Det innebär att säkerhetsavstånden enligt Miljöbalkens försiktighetsprincip bör sättas till 7-14 km för större verk, tills prövning utförts av oberoende akustikexpertis. Sådan finns vid Uppsala Universitet.

5. Om amplitudmodulation är ofta förekommande kan tillsynsmyndigheten kräva att verksamhetsutövaren utreder och åtgärdar problemet i rimlig omfattning. Ett exempel på en sådan åtgärd är att verksamhetsutövaren identifierar vid vilka vindförhållanden som amplitudmodulationen uppstår och vidtar åtgärder genom att ändra driftsinställningarna på vindkraftsverket vid dessa förhållanden.

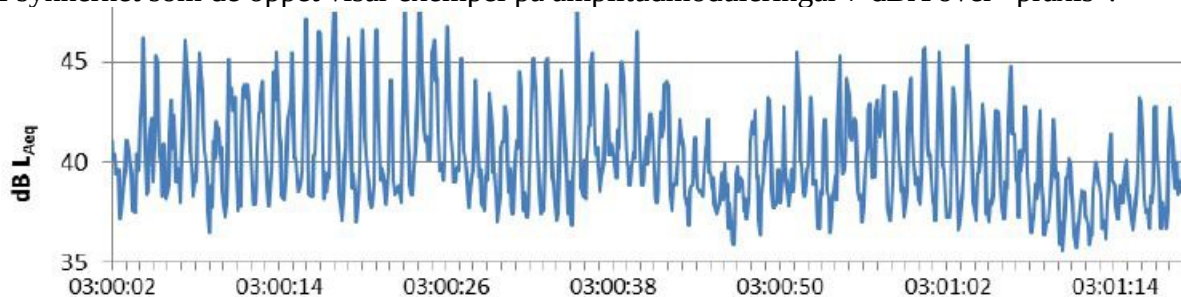
Kommentar: Detta är ytterligare exempel på att Naturvårdsverket tar parti för vindbolagen. Där den drabbade allmänheten först ska utstå hälsofarliga övergrepp, sedan anmäla missnöje till tillsynsmyndigheten, som i sin tur godtyckligt ska avgöra tolkningen av begreppet "ofta". En fördröjande och plågsam process om minst två år, där fakta talar för att de drabbade utsätts för sömnstörningar från de ständigt roterande rotorbladen i de högre luftlagren. Att därefter överlåta till verksamhetsutövaren att ensidigt identifiera vid vilka vindförhållanden som amplitudmodulationen uppstår, visar att man inte förstått att störningarna från de höga verken kan betraktas som permanenta. I vart fall nattetid.

Naturvårdsverket visar sedan åter ovilja att lösa problemen genom att ensidigt låta verksamhetsutövaren åtgärda problemet utan att definiera begreppet rimlig omfattning eller fastställa maxtid för åtgärdernas genomförande. Slutligen avstår myndigheten från att kräva att verksamhetsutövaren ska redovisa utvärdering och beslutade åtgärder för tillsynsmyndigheten för bedömning om åtgärderna är tillräckliga. Likaså tar myndigheten inte sitt ansvar för att fastställa regelverk för kontroll av verksamhetsutövarens genomförande av åtgärder och de ändrade driftsinställningarna.

Myndigheten väljer slutligen att förhålla ett tillrättaliggande genom att "följa frågan".

Naturvårdsverket har här ådagalagt sådant ointresse för att agera enligt sitt uppdrag, i sådan grad att det kan tolkas som underlåtelse.

I synnerhet som de öppet visar exempel på amplitudmoduleringar 7 dBA över "praxis".

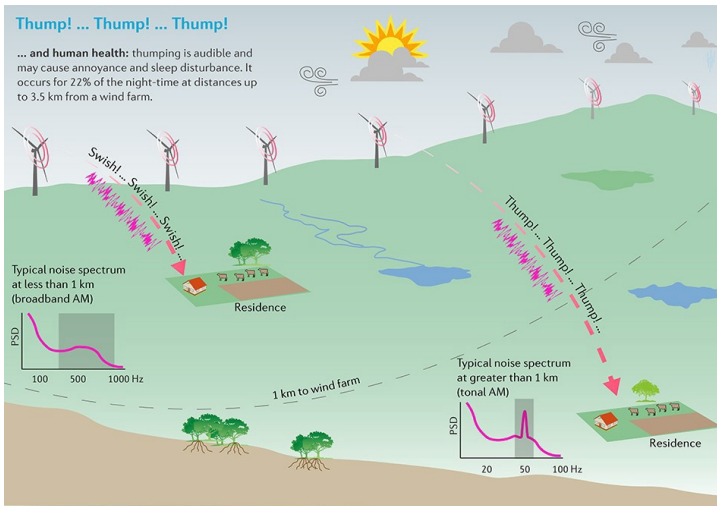
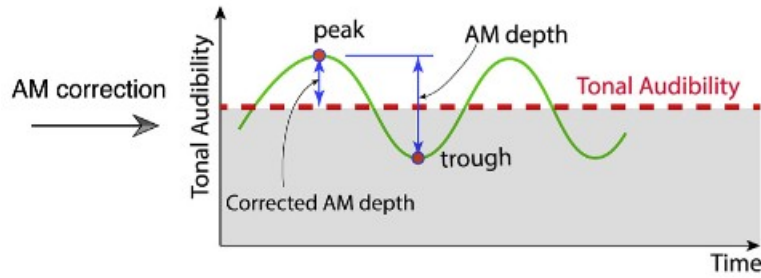


Ny forskning visar att Naturvårdsverket inte klarar sitt uppdrag att anpassa regelverket till de akustiska och hälsomässiga effekter som uppstår vid de allt större och högre vindkraftverken. Dessa frågor bör överföras till oberoende organ med transparent insyn från allmänheten och baseras på spetskompetens och datamodeller som utvecklats vid Uppsala Universitet.

- **Prevalence of wind farm amplitude modulation at long-range residential locations.**

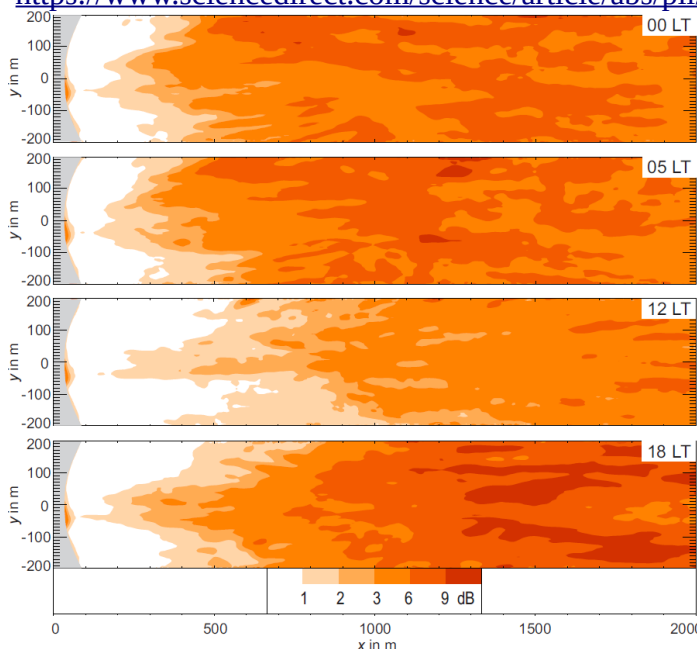
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022460X19302718>

Hansen et al. konstaterade redan 2019, förekomst av kraftigt störande amplitudmodulerade och lågfrekventa ljud från en anläggning med 37 st, 80-240 m höga 3 MW-verk. AM djup 9 dBA.



Hörbara amplitudmodulerade lågfrekventa toner uppfattades inomhus under 20 % av nattetiden upp till 2,4 km och under 16 % av tiden vid 3,5 km. Kraftiga hörbara pulserande ljud uppstod i frekvensområdet för rotorbladets tornpassage när anläggningen levererade 40 - 85 % av optimal kapacitet. Enstaka störning vid 7,6 och 8,8 km. Detta innebär att lokalbefolkningens sömn ständigt avbryts av pulserande ljudsekvenser under hela natten under terrorliknande former. När det blåser.

- **3D-simulation of sound propagation through the wake of a wind turbine: impact of the diurnal variability (2017).** Heimann och Englberger. Institut für Physik der Atmosphäre, Tyskland. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X18300707>:



Ljudnivån nära marken ökas avsevärt av den atmosfäriska och "wake"-inducerade nedåtböjningen av ljudvågorna på avstånd större än åtta gånger rotordiametern. Denna ökning är starkast på morgonen och på kvällen när den lokalt uppgår till 18 dB på långt avstånd. ("Wake"= turbulent undertrycksområde bakom verken. Kan nå 10 km från verken). Bilden till vänster visar exempel på hur ljudnivån ökar med 6 dB vid 800 m och 9 dB vid 1200 m och upp till avstånd över 2 km under lokal tid 18.00.

Studien är ett pinsamt avslöjande av beräkningsmodellerna som utgår från markbundna ljudkällor och teoretisk sfärisk ljudutbredning med orealistisk dämpning med 6 dBA/dubblerat avstånd.

Bilderna ovan och nedan visar dessutom att "vindvakarna" bakom verken förlorar vindhastighet över 1500 m, vilket är orsaken till för låg energifångst i många stora anläggningar. Höjning av verken ger då inte någon ökad effekt.

- **Effects of wind turbine wake on atmospheric sound propagation.** Barlas, Jun Zhu, Zhong Shen, O. Dag, Moriarty.

https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/130856980/Ebarlas_WakeEffectonSound_2_.pdf;

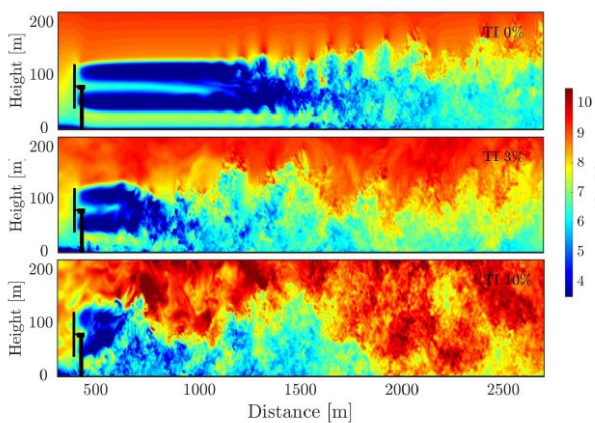


Figure 2: Contours of instantaneous streamwise velocity (u) in the middle vertical plane for different incoming turbulence intensity ($\frac{u'}{U}$). The flow fields

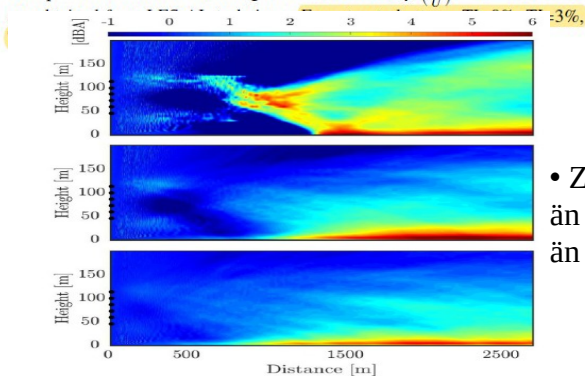


Figure 12: Contours of differential sound pressure levels ($\Delta SPL = SPL_{ES} + PE - SPL_{Proturb} + PE$) for different incoming turbulence intensity. From top to bottom: T.I. 0%, 3% 10%. Block dots represent the source heights

Bilden till vänster visar att den extrema turbulensen medför en fördubblad vindhastighet från 1 km (4 m/s) till 2 km (9 m/s).

Det leder i sin tur till en ljudnivåökning om 5-6 dBA enligt den nedre bilden.

Bilderna visar också hur de turbulenta luftmassorna får en uttorkande effekt på marken, på stora avstånd, när torr varm luft med hög hastighet förs ner mot marken. Vilket dels förhindrar kondensation och daggbildning under natt och tidig morgon och dels får en direkt uttorkande effekt under stor del av dagen.

Bilderna stärker också hypotesen om dels motsatta risker för frostsador när kall luft pressas ned på våren, samt dels ökade stormskador när kraftiga vindar träffar trädtopparna snett uppifrån.

- Zhou et al. (2012) fann att vinden är starkare på natten än dagtid (ca 50%) och två gånger starkare på sommaren än vintern.

Lågfrekventa ljud.

Stöd för utökade säkerhetsavstånd till de extrema höghöjdsverken finns redan i Folkhälsomyndighetens allmänna råd för lågfrekvent buller inomhus, FoHMFS 2014:13.

Nedanstående tabell visar att det lågfrekventa ljudet har mycket låg dämpning/luftabsorption (dB/km). Dämpningen vid den lägsta nivån i Folkhälsomyndighetens riktlinjer för ljud inomhus (31,5 Hz), är närmast marginell (0,05 dB/km). Det visar att ljudet når långt och att lokalbefolkningen kommer att utsättas för mycket höga nivåer i bostäder och sovrum.

Tabellen visar också att källjud som avges från ett 6.0 MW-verk, i frekvensområdet 10-200 Hz, ökar mot lägre frekvenser, från 100,9 dB vid 200 Hz till 112 dB vid 10 Hz.

Frekvens (Hz)	10	12,5	16	20	25	31,5	40,0	50,0	63,0	80,0	100	125	160	200
Siemens SG 6.0-170 (ovägt, dB)	112,0	112,3	112,1	111,2	110,3	111,1	110,1	108,5	107,3	106,4	106,9	104,3	103,1	100,9
Luftabsorption, dB/km	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,050	0,065	0,08	0,1	0,15	0,23	0,3	0,4	0,5

FoHMFS 2014:13 anger följande gränsvärden i oviktad ljudnivå dB.

Tersband (Hz)	Ekvivalent ljudtrycksnivå (dB)
31,5	56

40	49
50	43
63	42
80	40
100	38
125	36
160	34
200	32

Beräkningar visar att ett enda verk emitterar överskridanden vid 5 km om 26-33 dB i frekvensområdet 31,5 - 200 Hz. Försiktig extrapolering för den nedre hörbarhetsgränsen vid 20 Hz kan vara ca 15 dB.

Det visar att förutsättningar saknas för nya typer av höghöjdsverk i det svenska landskapet.

Den ökade ljudvolymen medför ökad störningsupplevelse då varje höjning av ljudnivån med 10 dBA orsakar fördubblad störning eller en fyrfaldigt högre störningsgrad i normal livsmiljö (1000 Hz). Störningsgraden blir ännu större i de lägre frekvensområdena vid 20 Hz, där **känsligheten dubbleras snabbare, vid varje ökning med 5 dBA.**

Lågfrekventa pulserande ljud blir dessutom mer tydliga inomhus, då husfasaderna har låg dämpningsförmåga i det lägre frekvensområdet medan ljuden i det övre området inte passerar husväggarna. Det ska noteras att den sammanlagda ljudnivån från stora industrianläggningar kan vara 3-10 dBA högre än för ett enda verk.

Vindbolagens beräkningar i miljökonsekvensbeskrivningarna baseras alltid på en dansk tabell för dämpning i husfasad (Hoffmeyer och Jakobsen). Detta har länge kritiserats, men ständigt accepterats av länsstyrelser och domstolar. Till nackdel för ett stort antal svenska fastigheter med träregelkonstruktioner.

Även här har Naturvårdsverket brustit i att ta fram normer för olika hustyper, som borde ingå i beslutsunderlagen. I rum med viss storlek uppstår invändig resonans om ca +2 dBA, vilket och bör beaktas i regelverk och miljöbedömningar.

Markvibrationer kan tillkomma som påverkar träregelverken och orsakar höjd ljudnivå med 2 dBA. Naturvårdsverket medger i regelverket 2020 att ljudnivån kan variera upptill 20 dBA.

De större verkens ökade och otillåtna ljudnivåer kan således ytterligare förstärka de redan allvarliga medicinska effekterna som beskrivits i rapporter mellan 2016 - 2019.

Vindkraftsanläggningar ska därför betraktas som hälsofarliga verksamheter och förbjudas tills deras långsiktiga hälsoeffekter utvärderats av oberoende medicinsk expertis.

I en transparent demokratisk process enligt EU-kommissionens och UNECE:s handlingsplan för fastställande av nationellt strategiska energiplaner i enlighet med Århuskonventionens Artikel 7, avseende information och allmänhetens medverkan.

**Trötthet, ohälsa, sjukdom, kränkning av egendomsskydd och skadeståndsskyldighet
Felaktiga gränsvärden, beräknings- och mätmodeller mörklägger vindkraftverkens emission att infraljud, lågfrekvent buller, amplitudmodifierat ljud, markvibrationer och turbulens.**

Den oseriösa handläggningen riskerar destruktiva effekter på folkhälsa, sjukvårds- och socialsystem, medicinförbrukning, arbetsfrånvaro, olycksfrekvens, uppväxtmiljö och utveckling av organ och sinnen, talförmåga och studieresultat.

Svenska staten följer inte WHO:s Guidelines for Environmental Noise in Europe 2018.

Svensk "praxis 40 dBA" strider mot WHO:s regelverk, som konstaterar att dBA är olämpligt vid beräkning av vindkraftsbuller, då det inte redovisar lågfrekvent buller korrekt. Än mindre de ohörbara pulserande luftvågorna <20 Hz (infraljud). WHO föreslår också ett lägre preliminärt gränsvärde (38,3 dBA), då värden över denna nivå innebär "adverse health effects". Fram tills ny beräkningsmodell utvecklats i samverkan med sjukvårdssektorn. Nuvarande beräkningsmodell NORD2000 är en förlegad modell som utvecklats för markbunden fordonstrafik. Två studier vid Uppsala Universitet visade redan 2008 att modellen underskattar hörbart lågfrekvent buller med 8-10 dBA och filtrerar bort allt tungt infraljud. Detta har konsekvent mörklägts av i den svenska

miljöprövningsprocessen av miljöprövningsdelegationer och domstolar, vilket innebär att alla svenska miljötillstånd är felaktiga. Man har in absurdum gömt sig bakom den förlegade ”praxisen”, som gjort många människors liv till ett helvete. Idag kan miljöprövningsdelegationerna fortfarande ge utländska exploatörer tillstånd för placering <850 m från bostad, trots att nya studier visar att amplitudmodulerat buller är hörbart 3,5 km inomhus över 20 % av natten. Naturvårdsverket generaldirektör har redan erkänt att det förhåller sig så i den senaste revideringen av bullerregelverket, men förhalar ändring med formuleringen att ”man följer frågan”.

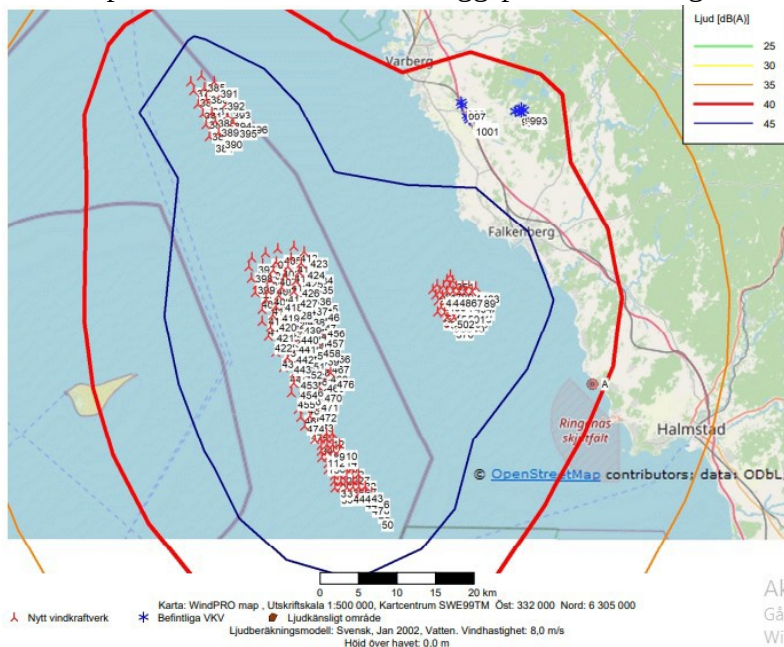
Förekomst av infraljud mörkläggs också vid mätning av vindkraftsbuller. Mätinstrumenten har filter som inte inräknar stor del av de uppmätta lågfrekventa ljuden och helt utesluter infraljud (<20 Hz). Instrumenten återger inte heller de höga maxvärden som kännetecknar maskinella kraftigt pulserande infraljud motsats till naturligt sinusformade infraljud. Vindkraftverkens pulser är extremt tunga (<1 Hz) och kraftiga ekon uppstår varje gång vingarna passerar tornet. Dessa snabba max-pulser inom 5-10 millisekunder redovisas inte eftersom mätningarna presenteras som medelvärden över 125 millisekunder. Här kapas 5-7 dB. Dessa sekvenser sammanställs sedan till ytterligare medelvärden i längre intervall (10 min). Den kritiserade dBA-filtreringen tar slutligen bort alla lågfrekventa max-värden.

Denna teknokratiska bluff är helt oacceptabel då människan uppfattar ljudimpulser <2 millisekunder.

Den vetenskapligt logiska slutsatsen är: *Det är mängden och den snabba förändringen i ljudtrycket som stimulerar det vestibulära systemet, inte den totala energinivån. Det handlar inte om den genomsnittliga energin utan istället om kortvariga toppvärden som permanent överstiger satta gränsvärden och orsakar sömnstörningar och trötthet vid långtidsexponering.*

Dessa fakta är väl kända av Naturvårdsverket, som in absurdum 2020, permanentade den av WHO utdömda ”praxisen 40 dBA”. Denna cynism går utanför svensk och europeisk lagstiftning och Agenda 2030. Starkt skydd finns i

- Regeringsformen 2 kap. 15 § Egendomsnytt och allemansrätt, samt 11 kap. 14 § Lagprövning.
- Europakonventionen Första tilläggsprotokollet – eigendomsnyttet Artikel 1, 6 och 13.



Dessa medicinskt kliniska experiment berör nu inte enbart den marginaliserade kust- och landsbygd-befolkningen utan drabbar också stora medborgargrupper långt in i länets centralorter.

• En tredjepartsberäkning med beräkningsprogrammet Windpro exemplifierar de stora felräkningsmarginalerna vid kustområdena mellan Varberg och Halmstad. Med särskilt interagerande med Projekt Skottarevet vid Falkenberg.

Beaktas **beräkningsmodellernas missvisande beräkning i det lågfrekventa ljudområdet om 8-10 dBA** och WHO:s underkännande av dBA som mätnorm, bör man **utgå från**

de orange och gula linjerna.

Det innebär att samtliga stadskärnor i Varberg, Falkenberg och Halmstad, samt omgivande landsbygd och orter drabbas av för höga ljudnivåer. Sannolikt är också denna beräkningsmodell osäker då den inte är framtagen för extremt höga bullerkällor som med stor kraft också riktar ljuden nedåt mot vattenytan, där de reflekteras mycket långt.

Beslutsunderlaget har dessutom inte beaktat de mycket kraftiga lågfrekventa ljuden från den tunga fartygstrafiken ännu närmare kusten (~17 km).

Slutsats: Förutsättningar saknas för nya typer av höghöjdsverk i Sverige p.g.a. ökad ohälsa.

Rapporten Low-Frequency Noise and Its Main Effects on Human Health—A Review of the Literature between 2016 and 2019. www.mdpi.com/journal/applsci

återges nedan i Google-översättning.

Sammanfattning

Detta dokument sammanfattar den för närvarande tillgängliga kunskapen om sambandet mellan lågfrekvent buller och dess effekter på hälsan. En databas byggdes upp med totalt 142 artiklar publicerades mellan 2016 och 2019 om lågfrekvent bullerexponering och dess effekter på hälsan.

Totalt 39 artiklar analyserades på djupet. Artiklarna delades in i kategorier enligt effekterna på människors hälsa. När det gäller den emitterande källan fanns det ett större antal artiklar som tar upp frågor relaterade till källor till miljöbuller och buller från vindkraftverk.

När det gäller effekterna på människors hälsa fanns det ett större antal artiklar som hänvisade till effekter på sömnstörningar, obehag, känslighet för och irritabilitet från buller, irritation, hörsel-förlust och hjärt-kärlsjukdomar, och dessa effekter analyseras mer i detalj i denna artikel.

1. Introduktion

På världsomspännande nivå finns det ett stort antal studier om hälsoeffekter på grund av yrkesmässig och miljöexponering för buller. Det finns dock fortfarande få studier som enbart fokuserar på hälsoeffekter och obehag på grund av lågfrekvent ljud (Figur 1). En av de främsta anledningarna är den låga känsligheten för låga frekvenser hos det mänskliga hörsel-systemet. Å andra sidan har denna bullertyp mycket speciella egenskaper som orsakar mycket mer obehag och långvariga ickeauditiva effekter [1–3].

Under 1920-talet fokuserade forskningen i ämnet på yrkesmässig exponering och allmänt rapporterade fysiologiska förändringar som smärta i händerna, svullnad och ökad vaskulär tonus (blodkärl/spänning) [4–6].

Tills på 1930-talet trodde man att bullereffekterna på hälsan endast begränsades till hörselnedsättning. I en studie publicerad i Journal of the Acoustical Society of America, Jüichi Obata et al. [7] drogs slutsatsen att effekterna av buller på människors hälsa gick utöver hörselnedsättning.

Efter detta vaga bidrag till förbättring av det vetenskapliga området, präglades 1960- och 1970-talen av en serie studier som behandlade irritation orsakad av miljöbuller [1].

Följaktligen började studier under 1970- och 1980-talen att fokusera på effekterna av exponering för omgivningsbuller [8,9]. 1990-talet präglades av forskning som syftade till mer specifika effekter på människors hälsa och rapporterade obehag på grund av buller [9–11]. Dessutom korrelerade dessa studier av exponering för buller med uppkomsten av hjärt-kärlsjukdomar [12,13].

På 1990-talet publicerade Världshälsoorganisationen (WHO) dokument i ämnet, som t.ex. Guidelines for Community Noise, 1999. När det gäller studier som publicerades under 2000-talet, var de viktigaste riktade till specifika miljöer, såsom skolor och bostäder områden [14,15].

Dessa studier använde en jämförelse av ljudnivån uppmätt med hjälp av referenskurvor med syfte att bedöma buller- obehag och förstärkte det faktum att A-viktningensfiltret inte är idealiskt för att utvärdera de icke-auditiva effekterna av lågfrekvent ljud (LFN) [1–3].

Från 2005, var de intressantaste studierna inriktade på det lågfrekventa bullrets påverkan på sömnkvaliteten [16–18].

I allmänhet utfördes dessa studier med voluminösa prover som involverade patientrapporter, tillämpningen av frågeformulär, antagandet av tvärsnittsstudier baserade på databaser, och jämförelse av omgivningsbullernivåer uppmätta med kriteriekurvor.

Faktum är att dessa studier förstärkte det faktum att lågfrekvent buller är en kraftfull stressfaktor. Mest citerade effekter på människors hälsa hänvisar till känslomässiga förändringar såsom irritation [19,20], agitation, och distraktion [2,21,22], förutom sambandet mellan lågfrekvent buller och kognitiva förändringar [23], utveckling av hjärt-kärlsjukdomar [24,25], sömnstörningar [26] och högt blodtryck [27] och, på senare tid, effekterna av industriellt lågfrekvent buller på tandslitage [28,29].

Inom yrkesmedicinen finns ett stort antal studier som hävdar att lågfrekvent buller är ett medel som stör utförandet av arbetsuppgifter [22,30]. Utöver dessa förändringar kan buller vara ett medel som påverkar mental och fysisk hälsa.

I denna mening omfattar effekterna av bullerföroreningar "auditiva effekter", som direkt påverkar mänskligt hörselsystem, och "icke-auditiva effekter", det vill säga bullerpåverkan på fysiologiska funktioner.

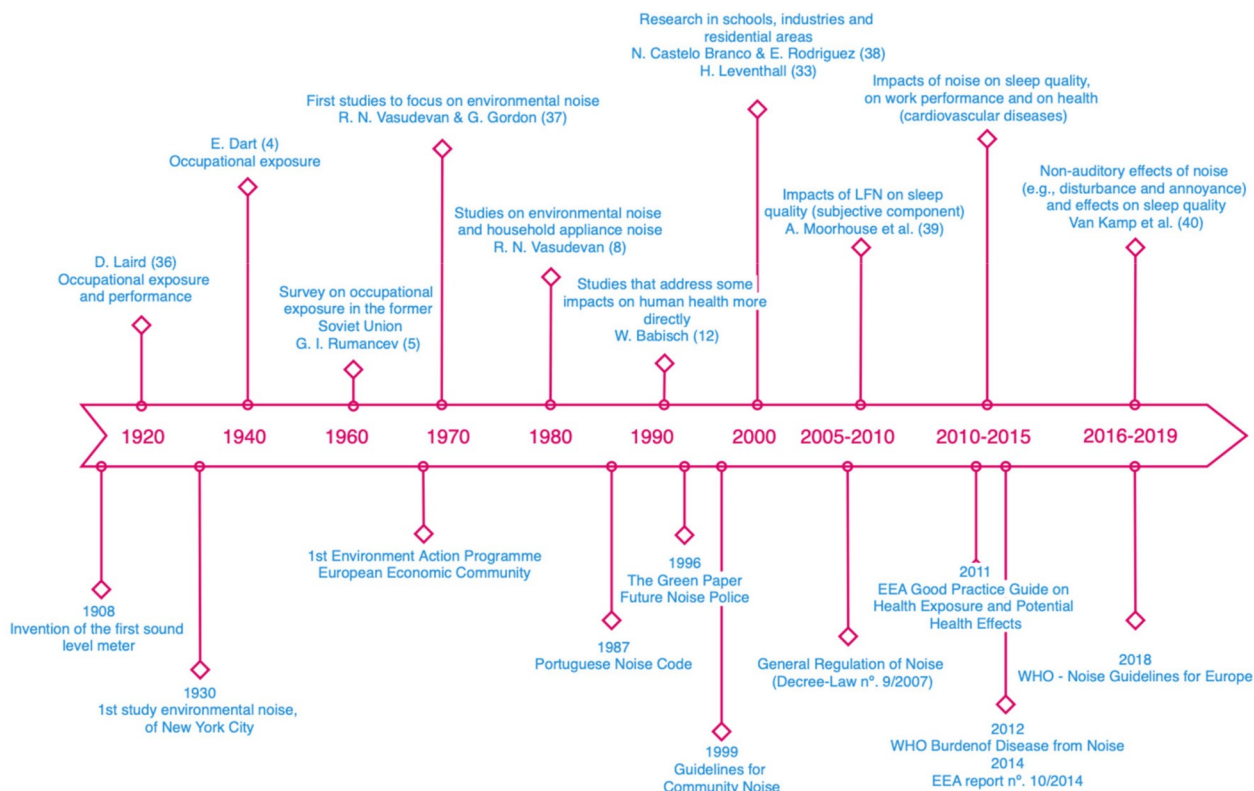
När det gäller "icke-hörseffekter" har obehag rapporterats som den vanligaste effekten orsakad av exponering för lågfrekvent buller hos människor [1,31,32].

Dessutom kan obehaget variera från individ till individ och beror inte bara på registrerade ljudtrycksnivåer, utan också på exponeringstiden samt de lågfrekventa komponenterna som förekommer i de uppmätta ljudnivåerna. Sålunda tenderar buller som innehåller lågfrekventa komponenter att vara det mer irriterande än buller utan dem [1,33–35].

Figur 1. En sammanfattning av hälsoeffekter på grund av lågfrekvent bullerexponering.

Källa: egen utarbetning baserad på flera författare [4,5,8,12,36–40].

Sedan 2000 har WHO erkänt lågfrekvent buller som ett miljöproblem. Dessutom, bedöms hälsoeffekterna av lågfrekventa komponenter i buller vara allvarigare [1,33–35].



3 av 27

WHO publicerade sina senaste bullerriktlinjer för Europa 2018. Denna publikation konstaterar att det behövs ytterligare forskning om hälsoeffekterna från vindkraftsbuller och den lågfrekventa komponenten [35]. *Kommentar: WHO Guidelines for European Environmental Noise 2018, utdömda tillämpningen av dBA som mätnorm då det bortfiltrerar lågfrekvent ljud och riskerar "adverse health effects" med rekommendationen att de europeiska medlemsstaterna ska fastställa nya regelverk i samverkan med medicinsk expertis och allmänheten.*

En systematisk genomgång av den aktuella, peerreviewed, epidemiologiska litteraturen har gjorts av sambandet mellan lågfrekvent buller och dess effekter på människors hälsa. Detta dokument syftar till att fylla denna lucka i litteraturen. Uppsatsen är uppbyggd i fyra avsnitt. Efter introduktionen beskrivs metodiken.

En systematisk översikt av vetenskapliga artiklar om lågfrekvent buller och dess påverkan på människors hälsa presenteras i avsnitt 3. Artikeln avslutas med att lyfta fram de viktigaste slutsatserna av en djupgående analys av 39 artiklar publicerade mellan 2016 och 2019, några begränsningar i forskningen, och rekommendationer för fortsatta studier.

2. Material och metoder

Databasinsamling

Originalartiklarna identifierades av en litteratursökning mellan oktober och december 2019 i alla de viktigaste tillgängliga tidskrifterna och databaserna (PubMed, Web of Science och Scopus) om temat och med hjälp av följande nyckelord: "lågfrekvent buller"; "lågfrekvent buller och dess effekter på hälsan"; "buller och hälsa". En databas byggdes upp med några variabler, t.ex. provresultat och huvudsakliga bullerkällor. Totalt hittades 142 artiklar publicerade mellan 2016 och 2019 (Supplementary Materials). Endast studier inkluderades där det i titel eller abstrakt nämndes att sambandet mellan det lågfrekventa bullret och effekter som rör hälsa eller välbefinnande studerades.

De 142 artiklarna som valts ut för perioden januari 2016 till december 2019, grupperades i nio kategorier: recensioner; hälsoeffekter på grund av buller och bullerföreningar; lågfrekvent ljud/infraljud; fallstudier av hälso-LFN (liten befolkning); fallstudier av hälso-LFN (stor befolkning); LFN fallstudier (djur); laboratoriestudier, simuleringsstudier och beräkningsfallstudier; och inte relevant. Totalt 39 artiklar publicerade mellan 2016 och 2019, grupperades i kategorierna "hälsa" LFN-fallstudier (liten population)", "hälso-LFN-fallstudier (stor population)" och slutligen "LFN fallstudier (djur)", som valdes ut för djupgående utvärdering. Utvärderingen var fokuserad på hälsoeffekterna och belyser förekomsten av studier som syftar till människors hälsa och andra syftar till att utföra tester på djur som kan leda till en framtida studie på människor. Dessutom använde de 39 artiklarna liknande tekniker (t.ex. frågeformulär; data som tidigare samlats in i andra

studier; kognitiva, fysiologiska och psykologiska tester baserade på medicinsk och auditiv utrustning; bullermätningar och audiometriska bedömningar; och experimentella tester baserade på bullerexponering).

De 39 artiklarna som utvärderades utfördes mestadels i asiatiska och europeiska länder och var baserade på små prover.

3. Resultat och diskussion

Det här avsnittet presenterar de viktigaste resultaten från analysen av artiklar publicerade på lågfrekvent buller och dess effekter på människors hälsa mellan 2016 och 2019. Resultaten och diskussionen är strukturerad i fem avsnitt om de huvudsakliga effekterna av lågfrekvent buller-exponering på människors hälsa. Varje avsnitt inleds med en beskrivning av de metoder som används, följt av de viktigaste resultaten som uppnått i de analyserade studierna.

3.1. Lågfrekvent bullerexponering och dess huvudsakliga hälsoeffekter

Tabell 1 presenterar en sammanfattning av de 39 artiklarna baserat på tre av kategorierna som anges i metodavsnittet. Dessa kategorier var följande: fall av lågfrekventa bullerstudier i en liten befolkning, i en stor population och i en population av djur.

4 av 27

Av de 39 artiklar som ingick i utvärderingen i denna artikel observerades att de huvudsakliga effekter på människors hälsa är vanligare i aspekter som sömnstörningar (11,7 %), obehag, känslighet och irritabilitet för buller (10%), irritation (13,3%), stress (6,7%), hörselnedsättning (8,3%), minskad prestation/trötthet (5%), hjärtfrekvens/hjärt- och kärlsjukdomar (10%), spänningar och blodtryck (6,7%), ångest (1,7 %), depression (3,3 %), obalans (3,3 %) och mental prestation (6,7 %).

Det fanns också andra effekter på människors hälsa men med en incidens i mycket specifika aspekter (13,3%), såsom frekvensen av kromosomavvikelse i benmärgsceller, överskott av bilirubin, peptikumsår (mage och tolvfingertarmen), effekter på den cerebrala blodbarriären, hemodynamiska händelser, irreversibel obalans med strukturella skador på otokonialmembranet, tinnitus och ljudåteruppbyggnadsterapi, och röststörningar och ansträngning.

Endast effekterna på människors hälsa relaterade till sömnstörningar, obehag av buller, irritation, hörselnedsättning och hjärt- och kärlsjukdomar analyserades, eftersom dessa var teman där ett större antal artiklar observerades, vilket möjliggör en bättre jämförelse och utvärdering mellan olika artiklar.

3.2. Sömnstörning

Sömnstörningar är en av effekterna på människors hälsa som beror på bullerexponering, i synnerhet för lågfrekvent brus. Långvarig exponering för lågfrekvent buller från vindenergi är en viktig faktor vid sömnstörningar hos boende som bor nära vindkraftsparker. Abbasi et al. [41], Morsing et al. [42], Ishitake [43], Pohl, Gabriel och Hübner [44] och Poulsen et al. [45] har utvärderat exponering för lågfrekvent buller i närhet till vindkraftverk. Metodiken som användes innefattade mätning av ljud-nivåer och en bedömning av sömnstörningar efter deltagarnas exponering för vindkraftsbuller.

Studierna [41–43] använde frågeformulär till deltagarna för att bedöma de störningar de kände efter exponering för buller. I studien av Abbasi et al. [41], förutom frågeformuläret, Pearsons korrelation, variansanalys och multipla regressionstest användes för dataanalys med hjälp av programvara. Morsing et al. [42] utvärderade effekten av buller på sömnen mätt med polysomno-grafi, efter att deltagarna utsatts för vindkraftsljud under tre nätter i följd. Slutligen bedömde Ishitake [43] sömnstörningar med hjälp av Athens Insomnia Scale-metoden baserat på svar från deltagarna när de utsatts för buller. I studien designad av Pohl, Gabriel och Hübner [44], antogs metodiken för stresspsykologi med bullermätning, för att fastställa de fysiska och psykologiska symtom som refereras av invånare som deltog i studien (allmän psykisk ohälsa, prestation och minskad arbetskapacitet, bristande koncentration, trötthet, spänning, nervositet, negativt humör, yrsel, irritabilitet, ohälsa, minskad sömnkvalitet och irritation), som orsakats av exponering för buller från vindkraftverk. Dessutom har Poulsen et al. [45] utvärderat utökningen av medicinska recept relaterade till anxiolytika och antidepressiva läkemedel som intas av befolkningen som bor nära vindkraftverken, i en analys som varade i två år (2012 till 2014).

Sömnstörningar kan också bero på exponering för buller från olje- och gasverksamhet, nämligen vid konstruktion och borring av brunnar i bostadsområden [46]. Blair et al. [46] utvärderade effekterna av dessa operationer på människors hälsa, inklusive sömnstörningar. Sömnstörningar kan också vara kopplat till exponering för järnvägsbuller, som studerats av Smith et al. [47]. De [47] utvärderade effekterna på fysiologisk sömn till följd av att deltagarna exponerats för järnvägs-buller under fem på varandra följande nätter, med hjälp av polysomnografi och frågeformulär.

När det gäller resultaten utvärderade Abbasi et al. [41] effekterna av buller från vindkraftverk på hälsan hos anställda, indelade i tre grupper (underhåll, säkerhet och administration). Gruppen med den största exponeringen för buller var underhållsteamet, som ansågs vara en referensgrupp.

Underhållsarbetare utsattes för en högre ljudnivå eftersom de befinner sig i närheten av vindkraftverken. Högre GHQ-resultat registrerades också för denna grupp (The General Health Questionnaire, ett hälsobedömningsverktyg). Därför var de skadliga hälsoeffekterna av vindkraftsbuller starkare för underhållsarbetare, jämfört med och administrations- och säkerhetspersonalen.

5 av 27

Frågeformuläret var uppdelat i fyra avsnitt, inklusive somatiska symtom, ångest och sömnlöshet, social dysfunktion och depression. Baserat på resultaten i denna studie, hade endast ljudnivån en betydande effekt på det allmänna

hälsotillståndet och i vissa av dess avsnitt. Bullerexponeringens negativa påverkan på allmän hälsa var ungefär sex och fyra gånger mindre hos administrations- och säkerhetspersonalen (60 och 66 dBA) än för underhållspersonalen (83 dBA). Den negativa effekten av bullerexponering i ångest- och sömnlöshetsavsnittet var 1,6 gånger mindre än hos administrations- och säkerhetspersonalen än för underhållspersonalen. Detta resultat indikerar att det värsta hälsotillståndet beror på arbetsförhållanden och kronisk exponering för yrkesmässiga riskfaktorer, såsom buller. Resultaten i det sociala dysfunktionsavsnittet visar att effekten av bullerexponering på 66 dBA var 2,3 gånger lägre än för 83 dBA buller. De drog slutsatsen att exponering för buller är signifikant korrelerad med alla undersektioner av allmän hälsa, förutom depression. Som en allmän utvärdering av artikeln kan det lågfrekventa bullret från vindkraftverken orsaka skadliga effekter på hälsan hos arbetare som befinner sig mycket nära verken, på grund av mottagandet av mycket intensivt ljud [41]. Enligt konventionen används ett frekvens A-viktningfilter vid utvärdering av lågfrekvent buller [3]. I själva verket är **A-viktningfilter inte lämpligt för att bedöma effekterna av lågfrekvent buller**, eftersom detta filter drastiskt minskar de uppmätta lågfrekventa nivåerna [3].

Morsing et al. [42] visade fysiologiska mätresultat erhållna i sömnlaboratorium vid exponering av buller från vindkraftverk. Under nätter med vindkraftsbuller från turbinerna, fanns en viss förekomst av deltagare med **frekvent uppvaknande, mindre djupsömn, minskad kontinuerlig sömn**. Och en ökning av sömnstörningar och morgontrötthet som deltagarna själv rapporterat efter nätter av bullerexponering, jämfört med nätter utan exponering. Vissa bevis observerades i studien när amplitudmodulering och rotationshastighet varierade. Djupsömn påverkades negativt på grund av högre frekvens och **stark amplitudmodulering** medan lättsömn ökade med hög frekvens och akustiska pulser [42].

Blair et al. [46] övervakade kontinuerliga nivåer av hörbart och lågfrekvent brus under konstruktion och borning av olje- och gaskällor i ett bostadsområde. Motsvarande månatliga nivåer på kontinuerligt buller varierade mellan minimivärden på 51,5 och 73,1 dBC och maximala värden på 60,2 till 80,0 dBC. De fann att kontinuerligt vägda **ljudnivåer över 50 dBA kan ha effekter på hälsan, som att öka risken för hjärt- och kärlsjukdomar och högt blodtryck**.

- lågfrekventa ljudnivåer som översteg den rekommenderade nivån på 60 dBC orsakade illamående och huvudvärk. I en allmän analys av artikeln visar de genomsnittliga ljudnivåerna i en olje- och gaskälla under konstruktion och borning översteg nivåerna förknippade med irritation, sömnstörningar och kardiovaskulära hälsoeffekter; det vill säga de var högre än 50 dBA eller 60 dBC [46].

Ishitake [43] genomförde en epidemiologisk studie som tyder på att det buller som genereras av vindkraftsanläggningar kan vara en riskfaktor för effekter på människors hälsa, särskilt sömnstörningar. I denna studie angående sömnstörningar orsakade av infraljud, fann man att vindkraftverkets ljudnivå mätt i det lägre frekvensområdet ligger under människans sensoriska tröskel.

Enligt Ishitake, rapporterade 63% att de hade sömnstörningar och effekten minskade med ökat avstånd mellan källan och mottagaren [43].

Pohl, Gabriel och Hübner [44] genomförde en studie som kombinerade stressmetodik psykologi med bullermätning. De genomförde intervjuer med boende som bodde nära en vindkraftsanläggning och bedömde deras uppfattning av buller från vindkraftsanläggningen och vägtrafiken vid två olika tidpunkter, först 2012 och senare 2014. Invånarna klagade över fysiska och psykiska symtom på grund av trafikbuller (16 %) och buller från vindkraftverk (10 % och 7 % 2012 och 2014, respektive). I studien utvärderades 12 symtom orsakade av exponering för buller. Den konstaterade att deltagarna rapporterade fler symtom 2012 än 2014 och att de kraftigast irriterade deltagarna ansåg att deras allmänna hälsa under 2014 var förbättrad. De utvärderade sömnstörningarna minskade från 2012 till 2014. Distractionen minskade också något från 2012 till 2014 för de mest irriterade invånare, samtidigt som de var relativt låga och/eller oförändrade i de andra grupperna. Dock endast få deltagare visade tecken på buller från lågfrekventa vindkraftverk 2012.

6 av 27

3.3. Obehag från, känslighet för och irritation av buller

Obehag, känslighet för buller och irritabilitet är andra effekter på människors hälsa på grund av exponering av lågfrekvent buller.

Huang, Pan, Liu, Hou och Yang [48] analyserade akustisk komfort och utvecklade en bulleranalysmodell för en skyskrapa genom att mäta yttre buller, främst från vägtrafik.

Suzuki, Suzuki, Onishi och Penido [49] utförde audiometriska bedömningar på patienter med ihållande tinnitus, genom deras uppfattning av ljud från naturen och vardagen och deras jämförelse med en ren ton eller buller (vitt brus, smalbandig lågfrekvent och smalbandig högfrekvens).

De bedömningar som övervägdes hos patienterna var otorhinolaryngologiska, audiologiska, Pitch Matching och Loudness, Visual Analog Scale, Tinnitus Handicap Inventory, and Minimal Masking Level [49].

Lee et al. [50] fastställde effekterna av exponering för transportbuller och etablerade ett samband med blodtrycket hos boende i bostadshus. De fastställde bullerexponeringsnivåer (Lden, Lday och Lnight) genom justerad linjär regressionsanalys och etablerade sambandet med blodtryck [50]. De genomförde också ett frågeformulär relaterat till irritationen orsakad av internt buller, buller-känslighet och sociodemografiska variabler [50].

Tao, Wang, Zou, Li och Luo [51] bedömde irritationen från buller i en tunnelbanedepå och påverkan av buller i intilliggande bostadshus. De genomförde en enkät med människor som arbetade på tunnelbanestationen och gjorde fältmätningar, både på tunnelbanestationen och i intilliggande bostadshus [51].

Moradi et al. [52] studerade effekterna av buller på universitetsstudenters selektiva uppmärksamhet. De genomförde frågeformulär för att fastställa elevernas personlighetsdrag; det vill säga de bedömde om de var **extroverta eller introverta** och analyserade deras stabilitet eller instabilitet [52]. Dessutom bedömde de också nivån av känslighet för buller med hjälp av Weinsteins känslighetsskalan och nivån för selektiv uppmärksamhet med hjälp av DUAF-testet från Vienna Test System [52].

7 av 27

Alves, Silva och Remoaldo [53] analyserade effekterna på befolkningens välbefinnande vid exponering för lågfrekvent buller, som emitteras av stolpar och kraftledningar. Baserat på en studie gjord på "exponerade" och "oexponerade" befolkningar i två bostadsområden. Dessutom utfördes anpassade audiometritester för att komplettera analysen och bestämma hörbarhetsströklarna för "exponerad" och "oexponerad" volontärer. För att utveckla forskningen använde Alves, Silva och Remoaldo [53] ljudnivåmätningar och ljudupptagningar (inspelningar gjorda på ett avstånd av 5 m från källan), samt det anpassade audiometriska prestandatestet [53]. Det observerades att, på grund av mark- och ljudutbredning och de olika frekvenskomponenterna ökade inte ljudkomforten på de högsta våningarna. De drog slutsatsen att lågfrekvent buller har stor potential för irritation och obehag för de boende i byggnaden.

Suzuki et al. [49] identifierade 181 tinnitusbesvär där tinnitus av **ren ton** observerades i 93 (51 %) av svaren (4 låga och 89 höga) och från buller i 88 (49 %) svar (15 lågfrekventa och 73 högfrekventa). Angående tinnitus med en lågfrekvent känsla, konstaterades 19 svar, medan för en högfrekvent upplevelse hittades 162 svar.

De fastställde ett medelvärde för visuell analog skala på 5,47 för tinnitus liknande ren ton och 6,66 för buller. Ett högre värde för buller. Den genomsnittliga ljudstyrkan vid tinnitus liknar ren ton (12,31 dBNS?), och den som liknar buller var (10,54 dBNS?). I studien beaktades Tinnitus Handicap Inventory och minimimaskeringsnivån. De patienter som deltog i studien delades upp i tre grupper **med tinnitus, ren ton, buller och multipel tinnitus, med medelvärdet av det största tinnitus-handikappet Inventering i gruppen med multipel tinnitus är 61,38. För minimimaskeringsnivån, användes maskerat ljud av typen vitt brus och smalband [49].**

Lee et al. [50] drog slutsatsen att allmänt buller (väg- och järnvägstrafik) och vägtrafik visade högre samband med systoliskt blodtryck (SBP) än med diastoliskt blodtryck (DBP), medan järnvägsbuller hade liknande associationer med SBP och DBP. De observerade också att de närmaste sambanden mellan exponering för buller och blodtryck uppskattades för deltagare som rapporterade högre klassning irritation och känslighet för buller. Detta tyder på att irritationen från internt buller och känslighet för buller utvecklas oberoende av exponeringsnivån för externt buller.

De fann också att personer som var **känsliga för buller och deltagare som var mest irriterade** på grund av internt buller hade betydligt **högre SBP och DBP** än resten. Dessutom ökade regressions-koefficienter mellan bullerexponering och blodtryck något i en undergrupp som exkluderade deltagare utsatta för högt järnvägsbuller [50].

Resultat fastställda av Lee et al. [50] stödjer hypotesen att långvarig exponering för transportljud är associerad med högre blodtryck hos vuxna som bor i flervåningshus.

Tao et al. [51] drog slutsatsen att 96 % av de tillfrågade känner sig störda av buller och 31 % av dem känner att påverkan av buller är allvarlig. De noterade att stängning av dörrar i byggnader kan vara en lösning, men bara om det lågfrekvent ljud kan minskas i frekvensområdet 63 - 125. De fann att det finns problem vid störning av lågfrekvent buller. De utvärderade att ljudnivån orsakas av att **fläktarna minskar med höjden på golven**. Ventilationsljud är en av de dominerande bullerkällorna för intilliggande byggnader, och därför fann de att desto kortare är avståndet mellan byggnadens fläktar och ventilation, desto allvarligare påverkas av bullret. Det drog de också slutsatsen buller- dämpningsgraden ökar med en ökning av avståndet till bullerkällan [51].

Moradi et al. [52] drog slutsatsen att det inte fanns några signifikanta skillnader i den genomsnittliga tiden som spenderades på korrekta svar före och efter exponering för buller mellan extroverta och introverta deltagare; dock fanns det en signifikant skillnad bland extroverta i den genomsnittliga tiden som spenderades på korrekt svar före och efter exponering för buller. **Resultaten visade att introverta deltagare är fler känslig för buller än extroverta.** De mest ljudkänsliga deltagarna visade större stimulans vid exponering för buller, vilket ledde till ökning av felaktiga svar och en minskning av mentala prestanda. Moradi et al. [52] fann att deltagarnas personliga egenskaper är relaterade till deras irritation på grund av buller.

8 av 27

Moradi et al. [52] drog slutsatsen att stress på grund av buller förbättrar selektiv uppmärksamhet i extroverta individer. Slutligen, Alves et al. [53] drog slutsatsen att det "exponerade" området har högre ljudnivåer och, följaktligen fler problem med välbefinnande och hälsa än den "oexponerade" befolkningen.

Audiometriska tester visade också att den "exponerade" befolkningen verkar vara mindre känslig för låga frekvenser än den "oexponerade" befolkningen; det vill säga den "exponerade" gruppen behöver en högre ljudintensitet för att uppfatta buller, speciellt vid lägre frekvenser. **Den "exponerade" gruppen har en större antal svarande med hälsoproblem (t.ex. hjärt-kärlsjukdom, sömnlöshet och depression),** som kan orsakas av exponering för lågfrekvent buller som avges av kraftstolpar och ledningar.

Å andra sidan tenderar den "oexponerade" gruppen att uppfatta buller med en något lägre ljudintensitet, p.g.a. till det faktum att detta bostadsområde ligger långt ifrån utsläppskällan [53].

3.4. Irritation

Irritation är en annan effekt på människors hälsa på grund av exponering för lågfrekvent buller.

Boyle et al. [54] bedömde hur de A-vägda exponeringsnivåerna skiljde sig inomhus och utomhus i bostäder i närheten av en naturgaskompressorstation, där lågfrekvent buller hittades.

De utförde mätningar av ljudnivåerna definierade i den A-vägda skalan för att filtrera det mesta lågfrekventa bullret och i den C-vägda skalan för att identifiera impulsbuller (buller uppmätt i mindre än en sekund med toppnivåer 15 dB högre än bakgrundsljudet) [54].

Van Kamp, Breugelmans, Van Poll, Baliatsas och Van Kempen [40] och Lee et al. [50] presenterar frågeformulär för att bedöma frågor som rör störningar på grund av buller. Van Kamp et al. [40] har undersökt klagomål på grund av lågfrekvent buller med hjälp av befintliga data och med hjälp av ett frågeformulär som fastställde deltagarnas irritation på grund av buller från väg-, järnvägs- och flygtrafikkällor, lågfrekvent buller, konstruktionsljud och bruskänslighet; bostadsnöjdhetsindexet; och en kartläggning av åtgärder som tillämpas i bostaden för att undvika buller.

När det gäller studien av Lee et al. [50], och de metoder som antagits hänvisas till i avsnitt 3.3.

De metoder som antagits av Blair et al. [46] och Pohl, Gabriel och Hübner [44] refereras i avsnitt 3.2 Men enligt [46] kan ljudnivåer över 50 eller 60 dBA orsaka störningar.

Ishitake [43] bedömde nivån av irritation avseende källan till lågfrekvent brus som genereras genom vindkraft och vägtrafikbuller, genom att genomföra en enkät för att få fram dessa uppfattningar.

Enligt Hansen et al. [55], resulterar **förekomsten av amplitudmodulering i vindkraftsbuller i ökad irritation och eventuella sömnstörningar**. Den utvecklade studien undersökte prevalensen av denna egenskap i bostäder nära vindkraftsparken [55]. I artikeln av Hansen et al., beaktades flera viktiga variabler, nämligen avståndet mellan mottagare och källa, meteorologiska förhållanden, och närhet till bland annat reflekterande ytor.

Moradi et al. [52] bedömde nivån av selektiv uppmärksamhet genom DUAFA-testet (test av selektiv uppmärksamhet, prestationskapacitet och allmän prestation) och nivån av irritation baserat på ISO15666 (International Organization for Standardization, 2003), i det refererade studieexemplet i avsnitt 3.3.

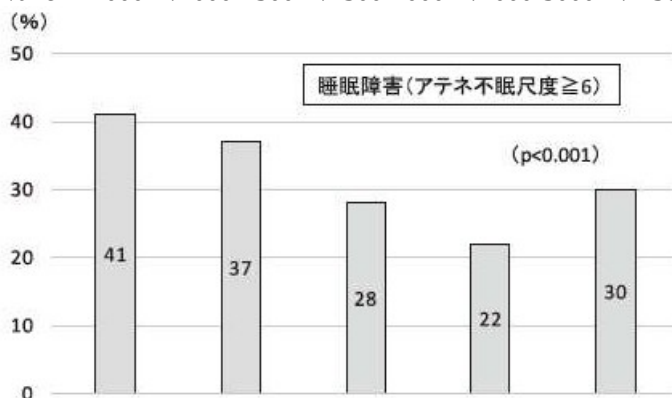
När det gäller resultaten har Boyle et al. [54] fanns att hus som ligger nära en kompressorstation har högre genomsnittliga ljudnivåer, både inomhus och utomhus, än hus som ligger på ett avstånd större än 300 m. Författarna fann också att ljudnivåerna under dagen var högre än de som registrerades vid natt för boende som utsattes för lågfrekvent buller i bostäder mindre än 300 m från stationen. I denna studie fastställde de sambandet mellan resultaten och dagtid och nattliga ljudnivåer som rekommenderas för att förhindra hörselnedsättning och störningar, fastställda av WHO [56,57] och fann att de genomsnittliga bullernivåerna som bestämdes översteg dessa riktlinjer [54].

Van Kamp et al. [40] utforskade bestämningsfaktorerna för irritation på grund av tinnitus, det vill säga lågfrekvent ljud. Den här artikeln undersökte förhållandet mellan kontextuella, situationella och personliga egenskaper med nivån av störning på grund av lågfrekvent buller, baserat på sekundär analys av befintliga data.

De erhållna resultaten visade signifikanta skillnader mellan städer och stadsdelar, en signifikant samband mellan bakgrunds-ljudsnivåer under dagen och en omvänd effekt på natten. Nivån av bakgrundsljud, känslighet för buller och missnöje med bostadssituationen var starkt förknippas med högre nivåer av irritation. Baserat på sambandet med nattliga bakgrunds-nivåer, fann man att ju lägre nivåer desto större irritation på grund av tinnitus [40].

Huvudresultaten av studierna av Blair et al. [46] och Pohl, Gabriel och Hübner [44] har redan beskrivits i avsnitt 3.2. Blair et al. (2018) fann att de genomsnittliga ljudnivåerna under konstruktion och borrhning av en olje- och gaskällor överskred nivåerna förknippade med hälsobesvär; det vill säga de var över 50 dBA eller 60 dBC [46]. Pohl, Gabriel och Hübner [44] fann att upplevd irritation var mycket låg och att symtom på yrsel inte observerades i denna studie.

Ishitake [43] genomförde en studie angående irritation på grund av vindenergi, med ett frågeformulär genomfördes för analysen. I denna undersökning observerades att 81 % svarade att de inte känner sig irriterade på grund av genereringen av vindenergi, medan 8 % svarade att de kände sig väldigt eller något irriterad [43]. (Kommentar: Studien visade följande andel sömnstörda inom intervallen <1000 m/1000-1500 m/1500-2000 m/2000-5000 m/ >5000 m/. Notera ökning >5 km.



Resultaten relaterade till bullerstörningar fastställda av Moradi et al. [52] och Lee et al. [50] har redan behandlats i avsnitt 3.3. Emellertid, förutom vad som nämnts tidigare, Lee et al. [50] drog slutsatsen att de närmaste **sambanden mellan bullerexponering och blodtryck uppskattades för deltagare som rapporterade högre klassificeringar av irritation, irritation och känslighet för buller**. Detta indikerar att störningen från internt buller och känsligheten för buller utvecklas oavsett nivå exponering för externt buller. Författarna fann också att personer som var känsliga för buller och deltagare som var mest

irriterade på grund av internt buller hade signifikant högre SBP och DBP (blodtryck) än andra [50]. Slutligen, fastställde Hansen et al. [55] en inomhus hörbar lågfrekvent amplitudmodulerad ton i frekvensområdet för rotorbladets tornpassage, under 20 % av tiden upp till ett avstånd av 2,4 km. Modelleringen av den hörbara amplituden ägde rum under en liknande andel av tiden under anläggningens procentuella kraftkapacitet på 40 % och 85 %. Modelleringen av den hörbara amplituden inträffade fortfarande inomhus under 16 % av tiden på ett avstånd av 3,5 km. På avstånden 7,6 och 8,8 km, upptäcktes hörbar amplitudmodellering endast vid ett tillfälle. Under natten, uppfattades hörbar amplitud modulering i bostäder belägna 3,5 km från vindkraftsparken upp till 22 % av tiden. Detta innebar viktiga slutsatser om eventuella sömnstörningar och irritation på grund av hörbar amplitudmodellering från vindkraftsanläggningar, särskilt som omgivande ljudnivåer på landsbygden i södra Australien kan vara så låga som 15 och 5 dBA, utomhus respektive i slutna miljöer [55]. Även om den geometriska dimensionen av rummet inte beaktades i studien av Hansen et al. [55] är det en viktig variabel för denna typ av studie.

3.5. Hörselnedsättning

Även om hörselnedsättning rapporteras som en effekt på människors hälsa på grund av exponering för buller, visar de analyserade studierna inte var helt avgörande angående hörselnedsättning på grund av lågfrekvent buller. Selander et al. [58] bedömde försämringen av barns hörsel vid yrkesmässigt buller exponering inträffade under graviditeten. De genomförde en prospektiv skärningsstudie och fastställde fall av hörselnedsättning hos barn baserat på journaler och intervjuer gjorda av prenatal enhetsteam, i ett urval av födselar mellan 1986 och 2008 [58]. Med den information som samlats in har de etablerade riskmodeller för att uppskatta data relaterade till nedsatt hörsel hos barn när de exponeras för buller med en stark lågfrekvent komponent under graviditeten [58]. Wang et al. [59] utvärderade exponeringen för buller från trafik och gjorde en jämförelse angående den potentiella risken för hörselnedsättning för boende. Ohgami, Oshino, Ninomiya, Li och Kato [60] och Venet et al. [61] behandlade experimentella studier hos råttor och bedömning av hörselnedsättning när de utsätts för lågfrekvent buller. 20 av 27 Ohgami et al. [60] fastställde att en ljudstimulus på 375 Hz, en frekvens under den hörbara gränsen för råttor, orsakar hörselnedsättning hos vildtypsråttor, medan det hos råttor med onormalt otolytikum morfologi observerades ingen hörselnedsättning. Venet et al. [61] observerade att exponering på grund av enbart buller efter perioden av kontakt med buller orsakade en hörselnedsättning i ett frekvensområde som varierade mellan 3,6 och 6 kHz. Den skadade området var ungefär en oktav (6 kHz) över den högsta frekvensen av exponeringen (2,8 kHz). Eftersom den maximala hörselkänsligheten ligger vid cirka 8 kHz hos råttor, exponering för lågfrekvent buller kan påverka de cochlea-områden som upptäcker mellanfrekvenser. Exponering för CS2 (250 ppm eller mer) och buller ökade omfattningen av det skadade frekvensfönstret, som en betydande minskning av hörseln mättes vid 9,6 kHz under dessa förhållanden, med en ökning av CS2-koncentrationer [61]. Slutligen bestämde Zhou och Fu [62] att totala serumbilirubinnivåer var associerade med någon subtyp av högfrekvent sensorineural hörselnedsättning (SNHL). De observerade dock den summan serumbilirubinnivåer var inte signifikant associerade med någon lågfrekvent SNHL (bilateral eller ensidig; LPTA större eller mindre) [62]

3.6. Kardiovaskulär sjukdom/puls

Hjärt- och kärlsjukdomar (variationer i hjärtfrekvens) är en annan effekt på människors hälsa p.g.a. exponering för lågfrekvent buller.

21 av 27

Walker et al. [63] och Smith et al. [47] använde elektrokardiogram för att mäta deltagarnas hjärtfrekvenser när de utsattes för lågfrekvent buller. I fallet med [63] utsattes också deltagarna för blodtrycksmätningar och salivprover samlades in före, under och efter exponering för ljud. Baserat på linjära regressionsmodeller, undersöktes skillnaderna mellan de resultat som erhöles före, under och efter bullerexponeringen [63]. I det fall som studerats av Smith et al. [47], mätte författarna deltagarnas hjärtfrekvens när de utsattes för järnvägsbuller. Poulsen et al. [64] bedömde effekten av risken för hjärtinfarkt och stroke vid långvarig exponering för buller från vindkraftverk. Baserat på sjukhus och dödlighetsregister, analyserade de antalet fall av hjärtinfarkt och stroke i hem belägna runt vindkraftverk [64]. Wang et al. [59] utvärderade exponeringen för buller från trafik och gjorde en jämförelse i förhållande till den förebyggande tröskeln som fastställts för hjärt-kärlsjukdomar. Metodiken som antagits av Blair et al. [46] har redan hänvisats till i avsnitt 3.2 Enligt [46] kan ljudnivåer över 50 eller 60 dBA orsaka kardiovaskulära effekter. Rossi et al. [65] mätte förändringarna i kognitiva och fysiologiska parametrar - i synnerhet reaktionstid och hjärtfrekvensen - för deltagare när de utsätts för tonalt buller (tystnad eller multiband stokastiskt /slumpmässigt/ buller), lågfrekvent och lågfrekvent stokastiskt brus och lågfrekvent stationärt brus med regelbunden amplitudmodulering. Walker et al. [63] drog slutsatsen att bullerexponering minskade hjärtfrekvensvariationen (HRV) med 19 % med lågfrekvent effekt och 9,1 % enligt medelkvadraten skillnad mellan intervallen för närliggande normala hjärtslag (RMSSD). Å andra

sidan, orsakade exponering för lågfrekvent ljud minskningar i HRV med 32 % vid högfrekvent effekt, 34 % vid lågfrekvent effekt och 16 % enligt standardavvikelsen för intilliggande normala hjärtslagsintervaller (SDNN). Slutligen var minskningen av HRV 21 % vid lågfrekvent effekt under exponering för lågfrekvent buller, jämfört med exponering för allmänt ljud. Som en allmän slutsats [63] fastställdes att exponering för buller - och i synnerhet lågfrekvent buller - negativt påverkar hjärtats hastighets-variation, vilket påverkar hälsan när det gäller hjärtkärlsjukdomar [63].

En del av resultaten som observerats av [47] och [46] har redan beskrivits i avsnitt 3.2. Angående kardiovaskulära sjukdomar, [47] observerade också att brusspektrumet med amplitudfrekvenser större än 100 Hz ledde till ökning av hjärtfrekvensen för ljudnivåer lika med eller större än 35 dB och ökande sannolikheten för excitation vid en ljudnivå på 45 dB. Under tiden [46] drog slutsatsen att kontinuerligt viktat buller över 50 dBA-tröskeln kan orsaka hälsoeffekter, såsom ökad risk för hjärt-kärlsjukdom och högt blodtryck [46].

Wang et al. [59] drog slutsatsen att de genomsnittliga årliga ekvivalenta bullernivåerna (Leq, 24 h) var $66,4 \pm 4,7$ dBA, vilket översteg det tröskelvärde som fastställdes för förebyggande av hjärt- kärl-sjukdomar.

Rossi et al. [65] drog slutsatsen att deltagarna i genomsnitt minskade sina reaktionstider vid buller-exponering jämfört med tysta förhållanden; det vill säga det fanns bevis på ökande stress, enligt excitationsteorin. I denna studie observerade de att deltagarnas exponering för lågfrekvent ljud 1 och 2 (LFN1 respektive LFN2) producerade kognitiv stress jämförbar med stokastisk multitonalt bredbandsljud (BBN). Genom att dela in deltagarna i extroverta och introverta demonstrerade de att LFN1 och LFN2 gav högre stresseffekter hos introverta deltagare än BBN-ljud på kognitiv prestation, men hade ingen effekt på extroverta. Dessutom ökade hjärtfrekvensen avsevärt hos de introverta under testerna, jämfört med de i tystnads-tillstånd före starten av Stroop-effekt, medan extroverta inte visade några förändringar [65].

Slutligen [64] drogs slutsatsen att för utomhus nattljud vid långtidsexponering från vindkraftverk större än 42 dBA och lågfrekvent buller inomhus större än 15 dBA, var riskerna något högre för hjärtinfarkt än för exponeringar mindre än 24 och 5 dBA respektive, men antalet fall var lågt i grupperna med högst exponering.

När det gäller stroke, alla lågfrekventa ljudnivåer inomhus från vindkraftverk var förknippade med justerad incidensvärden nära 1,0, medan för utomhusbuller från vindkraftverk var de justerade incidensfrekvenserna högre

22 av 27

än 1,0 för grupperna med intermediär exponering och lägre än enheten för grupperna med större exponering. Hög långtids-exponering för vindkraftsbuller var förknippad med något förhöjd punkt uppskattningar för hjärtinfarkt, för både exponering för utomhusljud från vindkraftverk och exponering för potentiellt mer biologiskt relevant buller från vindkraftverk inomhus [64].

4. Sammanfattningar

I den aktuella rapporten, har ingående analys gjorts av 39 artiklar som behandlar exponering för lågfrekvent buller och dess effekter på människors hälsa. Artiklarna var indelade i kategorier enligt källan till bullret och effekterna på människors hälsa. Angående utsläppskällan, det fanns ett större antal artiklar som behandlade frågor relaterade till omgivningsbuller och vindkraftverk.

När det gäller effekterna på människors hälsa fanns det ett större antal artiklar som hänvisade till effekter på sömnstörningar, obehag, känslighet för och irritabilitet från buller, irritation, hörselnedsättning och hjärtkärlsjukdomar. Och dessa effekter analyserades mer i detalj i den här artikeln.

När det gäller påverkan och sömnstörningar observerades ett beroende av avståndet till bullerkällan; det vill säga ju större närheten till källan är, desto större blir effekterna på sömnen, som fastställdes av [41,43]. Vid långvarig bullerexponering är ljudkänsligheten lägre, vilket minskar effekterna på sömnstörningar, som bestäms av [44]. Exponering för buller på natten stör sömnen och orsakar mer frekventa uppvaknanden, mindre djup och icke-kontinuerlig sömn och morgontrötthet hos deltagarna,

som diskuterats av [42,47].

Med stigande ålder, särskilt för personer över 65 år, orsakar exponering för buller sömnstörningar, vilket ökar efterfrågan på sömntabletter och antidepressiva medel, enligt [45].

Enligt [46] översteg de genomsnittliga bullernivåerna de fastställda nivåerna för sömnstörningar för människors hälsa. Obehag, irritabilitet och känslighet för buller var effekter som analyserades. Obehag p.g.a. buller beror på människors närhet till den emitterande källan, vilket gör deras känslighet för buller annorlunda. Tao et al. [51] visade att med ökat avstånd från bullerkällan, bullerdämpningen hastighetsökningar, på grund av att de känner sig obekväma och störda av det lågfrekventa bruset.

Alves et al. [53] observerade att konstant exponering för buller gör människor mindre känsliga för uppfattningen av brus jämfört med människor som är längre bort från den emitterande källan, vilket kräver större ljudintensitet för uppfattningen av lågfrekvent brus. Denna känslighet hos människor för buller leder till en minskning i deras mentala prestation, som fastställdes av [52], och en ökning av blodtrycket, särskilt när människor är mer irriterade, som noterats av [50]. Huang et al. [48] observerade att bekvämligheten med ljud ökar inte med avståndet från marken för byggnader av hög höjd, såsom skyskrapor, och att exponering för detta buller påverkar invånarnas irritation och obehag.

Emellertid har Suzuki et al. [49] noterat att det var en låg andel människor som var obekväma med närvaron av lågfrekvent brus jämfört med närvaron av högfrekvent brus.

Bakgrundsljudnivåer och känslighet för buller är förknippade med högre nivåer av störning;

det vill säga de överskrider de tröskelvärden som fastställdes för denna hälsoeffekt, vilket anges av [40,46,54].

Moradi et al. [52] bekräftar också att nivån av störning vid exponering för buller varierar med människors personliga egenskaper, med större känslighet och irritation hos introverta än hos extroverta. Exponering för buller från järnvägstransporter är förknippad med blodtrycket hos utsatta människor, vilket indikerar att personer med större känslighet för buller, större irritation och mer irritabilitet har högre blodtrycksvärden än de som inte har dessa symtom, som studerats av Lee et al. [50].

Således ökar irritationen med exponering för buller, särskilt när människor upplever okonventionellt ljud. Som beskrivs av [81] observeras en större störning på grund av järnvägsbuller i personer som normalt inte utsätts för denna bullerkälla. Hansen et al. [55] noterade att bullernivåer haft konsekvenser för irritation på grund av exponering för vindkraftsparken. Emellertid har både Pohl et al. [44] och Ishitake [43] fastställt att människor inte känner sig irriterade på grund av exponering för buller från vindenergi. Nya metoder för utvärdering av buller från vindkraftverk skulle kunna användas för att tillhanda-hålla nya resultat inom detta område [82].

Exponering för buller orsakar en potentiell risk för hörselnedsättning hos personer som utsätts för det, som studerats av Wang et al. [59] och Venet et al. [61]. Venet et al. [61] fastställde också att exponering för koldisulfid (CS₂) och buller orsakade en minskning av den auditiva nivån när en ökning av CS₂-koncentrationerna var observerad. Exponering för yrkesbuller under graviditeten var också ett ämne som studerades av Selander et al. [58] som bevisade att exponering för denna typ av buller är förknippad med risk för ökad hörselnedsättning hos barn, med större relevans hos mödrar som arbetade heltid och deltid under graviditet.

Genom experiment på råttor, observerade Ohgami et al. [60] en hörselnedsättning i vildtypsråttor, i motsats till hos råttor med en onormal autolytisk morfologi där inte denna hörselnedsättning observerades. Däremot observerades studier där inga effekter associerade med hörselnedsättning hittades med exponering för lågfrekvent brus, vilket konstaterats av Zhou och Fu [62]. Alla studier analyserade i denna domän betraktade låga och höga frekvenser, vilket avslöjade hörselnedsättning i vid exponering för höga frekvenser. Hörselnedsättning på grund av lågfrekvent buller observerades inte helt.

Slutligen observerades det att exponering för buller - i synnerhet lågfrekvent buller - negativt påverkar variationen i hjärtfrekvens, vilket skadar hälsan när det gäller hjärt- och kärlsjukdomar, eftersom det överskrider de nivåer som fastställts för förebyggande av dessa sjukdomar, som diskuterats av Walker et al. [63], Wang et al. [59] och Blair et al. [46].

Enligt Rossi et al. [65], ökar hjärtfrekvensen markant hos introverta jämfört med i en situation av tystnad, medan extroverta inte visar någon förändring i sin puls.

Smith et al. [47] insåg att hjärtfrekvensen hos människor ökade med större exponering för buller.

Hög långvarig exponering för buller från vindkraftverk är förknippad med en ökning av hjärtinfarkt och stroke, som studerats av Poulsen et al. [64].

Den genomförda litteraturgenomgången utgör en nyhet i Portugal, oavsett om det är inom samhällsvetenskap eller de mer exakta, som miljöakustik. Det förväntas att i framtida studier, denna typ av utvärdering kan utforskas under en längre period och fler källor till lågfrekvent bulleremission.

Detta kan också ge viktiga data om lågfrekvent exponering och dess effekter på människors hälsa som viktig information om definitionen av gränser för installation av vindkraftsanläggningar och andra källor till lågfrekvent buller. Medan vissa typer av effekter på hälsan ännu inte har analyserats och fortsätter för att vara ett understuderat område kan de studerade effekterna ge goda råd för planeringsområdet. Således, kan dessa studier peka ut bra sätt att minimera påverkan på människor och kan utgöra ett bra verktyg för planeringens förebyggande dimension.

Tilläggsmaterial: Följande är tillgängligt online på <http://www.mdpi.com/2076-3417/10/15/5205/s1>

En lista med 142 referenser