

Støy og søvnforstyrrelser

Helsefaglig utredning som grunnlag
for begrensning av støynivå om natten

Divisjon for miljømedisin
Avdeling for luftforurensning og støy
April 2003

Rapport 2003:6
Nasjonalt folkehelseinstitutt

Tittel:
Støy og søvnforstyrrelser
Helsefaglig utredning som grunnlag for begrensning av støynivå om natten.

Utgiver:
Nasjonalt folkehelseinstitutt
Postboks 4404 Nydalen
NO-0403 Oslo

Telefon: 22042200
Telefaks: 22353605

E-post: folkehelseinstituttet@fhi.no

www.fhi.no

Design omslag:
Per Kristian Svendsen

Trykk:
Nordberg Aksidenstrykkeri

Opplag:
200

ISSN: 1503-1403
ISBN: 82-8082-034-5
IN-0000-2054-1

Bakgrunn	6
Søvn og støyinduserte søvnforstyrrelser	7
Faglig grunnlag for fastsettelse av støygrenser	8
Ulike ambisjonsnivåer med hensyn til at søvn skal være uforstyrret av støy	8
Hvilken støyindikator har best prediksjonverdi for støyinduserte søvnproblemer?	8
Effekter av støy fra ulike transportkilder på søvn	9
<i>Flystøy</i>	10
<i>Vegtrafikkstøy</i>	10
<i>Jernbanestøy</i>	11
<i>Sammenligning av effekter på søvn fra ulike støykilder</i>	11
Anbefalte støy nivåer for å hindre støyinduserte søvnforstyrrelser	12
Oppsummering, anbefalinger og behov for videre forskning/utredning	13
Referanser	14

I forbindelse med SFTs prosjekt "Nytt støyregelverk" har Folkehelseinstituttet gjort en utredning med hensyn til betydningen av støy for søvnforstyrrelser, med fokus på helsefaglige problemstillinger. Ved gjennomgang av dagens støyregelverk skal det utarbeides ny felles planretningslinje for støy og forslag til revisjon av grenseverdiforskriften. For sistnevnte skal det vurderes skjerpede krav, spesielt i forhold til støy på nattestid. Grenseverdiforskriften setter kun krav til innendørs døgnequivaleent støynivå. Både erfaringer med dette regelverk og forskningsbasert kunnskap tyder på at et krav til ekvivalent støynivå ikke i tilstrekkelig grad ivaretar hensynet til uforstyrret søvn. I denne utredningen er det lagt vekt på å diskutere mulige støyindikatorers egnethet til å beskrive virkninger på søvn og nivå på disse. Utredningen vil være

en del av en vurdering av å innføre skjerpede støykrav om natten.

Som grunnlag for denne utredningen er det gjort søk i tidsskriftsdatabaser og i spesielle støytidsskrifter som *Journal of Sound and Vibration* og *Journal of Acoustical Society of America*. I mindre grad er det også tatt med tilgjengelige presentasjoner (*proceedings*) fra internasjonale støykonferanser (Internoise/Noise effects m.fl.) samt rapporter. Utredningen begrenser seg til transportstøy, dvs. vegtrafikk-, jernbane- og flystøy, da forskningen knyttet til støy og søvnforstyrrelser hovedsakelig er gjort for disse kildene. Kunnskap om effekter av andre støykilder, som bygg- og anleggsstøy og industristøy på søvn, er etter vår kjennskap mangelfull.

Støy kan virke som en uspesifikk stressfaktor både på dagtid og om natten, og effekter er avhengige av så vel akustiske faktorer som forhold ved situasjonen og personen som opplever støyen. Søvnforstyrrelser anses som en av de mest alvorlige helseeffektene av støy. Ifølge Statistisk sentralbyrås levekårsundersøkelse fra 1997 får ca. 200 000 mennesker i Norge søvnen sin forstyrret på grunn av støy.

En rekke studier med ulike metoder, både for søvn- og støyregistrering, har vist at støy om natten kan interferere med søvn. Søvn er en integrert del av vår fysiologi og karakteriseres ved at hjernens elektriske aktivitet er endret i forhold til våken tilstand. På bakgrunn av denne aktiviteten kan man skille mellom 5 søvnstadier, stadium 1-4 og REM (Rapid Eye Movement) -søvn. De fleste drømmer forekommer i REM-fasen. Fra stadium 1 til 4 blir søvnen gradvis dypere og rytmen i hjernens elektriske aktivitet gradvis langsommere. Stadium 3 og 4 slås ofte sammen og kalles dyp søvn. Et typisk søvnmønster for en frisk person består av ca. 5 søvnsykluser som varer i 90-100 minutter, hver bestående av søvnstadiene nevnt over.

Søvn kan måles på flere måter, men grovt sett kan man skille mellom søvn målt subjektivt og fysiologisk/objektivt. Subjektiv søvnkvalitet måles ved hjelp av spørreskjema om søvn, for eksempel søvndagbok. I tillegg kan man måle vekkinger ved at personen blir bedt om å trykke på en registreringsknapp hver gang han/hun våkner. Denne metoden, som kalles "adferdsvekking" (*behavioral awakening*), er blant annet benyttet i flere studier av effekter av flystøy på større grupper av mennesker. En type objektiv søvnmåling gjennomføres med et aktimeter, et lite instrument som festes rundt håndledd eller ankel og registrerer kroppsbevegelser under søvn. Mange bevegelser skal da indikere lett søvn eller våkenhet, mens få bevegelser indikerer søvn. Resultater fra slike målinger kan imidlertid feiltolkes, da enkelte som i sin søvn lig-

ger svært urolig vil anses som våkne, mens de som i våken tilstand ligger svært rolig vil betraktes som sovende. Den mest presise metoden for søvnregistrering, er å måle hjerneaktiviteten direkte under søvn ved hjelp av EEG (*electroencephalogram*). Sammen med registrering av muskeltonus (EMG) og øyebevegelser (EOG) danner disse registreringene (også kalt polysomnografi) det mest presise grunnlaget for å skille mellom de ulike fysiologiske søvnstadiene.

En rekke studier har vist at støyeksponering under søvn kan føre til innsovningsproblemer, søvnstadiumendringer og oppvåkninger (1-3). Disse endringene kan føre til redusert total søvntid, redusert REM-søvn og dyp søvn (4-6). Støyinduserte virkninger på søvnen må ikke nødvendigvis gå på bekostning av total søvntid, men gi forstyrrelser i det naturlige søvnmønsteret. Andre akutte forbigående fysiologiske effekter av støy under søvn er blant annet økt hjertefrekvens, forhøyet blodtrykk, respirasjonsendringer og kardiologiske arrytmier (7-9). Sekundære effekter av støyindusert forstyrrelse av søvn vil være nedsatt subjektiv søvnkvalitet (10;11), økt tretthet og nedsatt yteevne dagen etter støyeksponering (11). Dette kan igjen føre til nedsatt aktpågivenhet og øket ulykkesfrekvens (12). En fullstendig tilvenning til støy om natten forekommer ikke. Med hensyn til oppvåkninger skjer trolig en viss tilvenning, men i mindre grad med hensyn til subjektiv søvnkvalitet, søvnstadiumendringer og andre akutte fysiologiske responser (3;13). Søvnmangel er en belastning for organismen og kan bidra til utvikling og forverring av sykdomstilstander. Økning av epileptiske anfall ved søvnmangel er vel kjent. Helsemessige konsekvenser utover dette er lite studert og dokumentert, men nyere forskningsresultater antyder at forstyrrelser av søvnen selv hos friske mennesker kan gi økt risiko for blant annet type 2 diabetes og hjerte-karsykdommer (14).

Et av virkemidlene for å beskytte folk mot støyinduserte søvnforstyrrelser kan være å sette krav til støy for en definert nattperiode. Følgende forutsetninger bør settes til et hensiktsmessig krav til støynivå på natt med hensyn til valg av støyindikator. Denne bør:

- ha god prediksjonsverdi; dvs. det bør være en god sammenheng mellom indikatoren og den effekten man ønsker å predikere.
- "fange opp" eventuelle forskjeller i effekter av støy fra ulike kilder.
- være klart definert.

Ulike ambisjonsnivåer med hensyn til at søvn skal være uforstyrret av støy

Støyinduserte virkninger som problemer med innsovning, oppvåkninger og lengre våkeperioder vil personen selv kunne være klar over, mens andre virkninger på søvn, som søvnstadiumendringer og kortere vekkinger, vil personen selv ikke merke. De støyinduserte søvnproblemene som folk selv er bevisste, vil kunne fanges opp i spørsmål om støyplage (natt) og subjektiv søvnkvalitet, mens de "ubeviste" effektene kun kan måles ved hjelp av objektiv søvnregistrering (polysomnografi, aktimetri). Ut i fra dette har man muligheter til å sette ulike ambisjonsnivåer for fravær av støyforstyrret søvn, ved å ta hensyn til ulike effektparametre:

Subjektivt målte effekter av støy:

- innsovningsproblemer
- oppvåkninger
- redusert subjektiv søvnkvalitet

Objektivt målte effekter av støy:

- økt innsovningstid
- oppvåkninger
- søvnstadiumendringer
- generell innvirkning på søvnmønsteret
- flere kroppsbevegelser (målt med aktimeter)

Andre sekundære virkninger som tretthet, redusert velvære, nedsatt sinnsstemning og yteevne samt mulige andre helseeffekter av støyforstyrret søvn kunne i teorien også velges som effektparametre. Det er imidlertid rimelig å anta at en indikator som ivaretar hensynet til mer direkte effekter på søvnkvalitet og subjektiv oppfattelse av egen søvnkvalitet, også vil beskytte mot negative sekundære virkninger av støyinduserte søvnforstyrrelser.

Hvilken støyindikator har best prediksjonsverdi for støyinduserte søvnproblemer?

Når man studerer helseeffekter av støy, er det ønskelig å utvikle og benytte en støyindikator som best kan forutsi den effekten man ønsker å beskrive. En slik målestørrelse for støyeksponering kan beskrives samlet over et helt døgn, deler av døgnet (f. eks. natt) eller for enkelthendelser. I tillegg benyttes enkle frekvensveiekurver som er basert på hørselens følsomhet. A-veiting har vært vanligst for beskrivelse av søvneffekter. Vanlige målestørrelser for beskrivelse av en enkelthendelse er det maksimale lydnivå for hendelsen (f. eks. A-veiet maksimalt lydnivå, L_{Amax}) og den totale lydenergien for hendelsen midlet over 1 sekund (A-veiet lydeksponeringsnivå, ASEL, ofte betegnet bare SEL¹). For å karakterisere støyen for grupper av hendelser eller for en hel natt eller døgn, benyttes ofte en målestørrelse basert på den gjennomsnittlige lydenergien over tidsperioden (f. eks. ekvivalent A-veiet lydnivå, L_{Aekv}). Andre målestørrelser som er foreslått i litteratur som omhandler støy og søvnforstyrrelser, er antall hendelser som overstiger et visst lydnivå, forskjell mellom maksimalt lydnivå og bakgrunnslydnivå og statistiske lydnivåer i en kumulativ fordeling som L_1 (lydnivå som overskrides i 1 % av måletiden) og L_{10} (lydnivå som overskrides i 10 % av måletiden) og en kombinasjon av maksimalt lydnivå og antall hendelser. I daglig tale og ofte i litteratur om virkninger av støy, brukes betegnelsen "støynivå", mens det egentlig er lydnivå man beskriver; ingen lyd målere kan skille mellom støy (definert som uønsket lyd) og vellyd.

Flere studier har vist at en målestørrelse basert på energimidling av lydenergien er relativt godt egnet til å forutsi gjennomsnittlig støyplagerespons i en populasjon. Med hensyn til effekter av støy på søvn, er det imidlertid varierende hvilke støyindikatorer som samsvarer best. I en spørreundersøkelse ble det funnet at andel søvnforstyrrede korrelerte best med L_{10} i tidsrommet 22.00 til 06.00 (15). Enkelte spørreundersøkelser har funnet en korrelasjon mellom (natt)ekvivalent støynivå og subjektiv søvnkvalitet (7). Det er også antydning at nattekvivalent støynivå for vegtrafikkstøy kan være en god indikator for virkninger på det fysiologiske søvnmønsteret dersom støyen er relativt jevn og ikke varierer sterkt med tiden. Ekvivalent støynivå er vurdert som en passende indikator

¹ Den standardiserte målestørrelsen for A-veiet lydeksponeringsnivå betegnes L_{AE} , men ASEL og SEL er svært ofte brukt i rapporter og artikler, også i litteratur som omhandler støyinduserte søvnforstyrrelser. I denne rapporten er det derfor valgt å omtale lydeksponeringsnivå som ASEL og SEL.

for søvnforstyrrelser så lenge ikke forskjellen mellom maksimalt støynivå og ekvivalent støynivå er mer enn 8-10 dB (16). Ved større forskjeller enn dette, er det antydning at andre målestørrelser bør ta over. Fra svenske undersøkelser av vegtrafikkstøy gjennomført i laboratoriet, kan det konkluderes med at støy som varierer mye med tiden, også kalt intermitterende støy, gir mer søvnforstyrrelser enn mer jevn støy ved samme ekvivalentnivå. Subjektiv søvnkvalitet avtar med økende maksimalnivåer og økende antall hendelser. Problemer med innsovning øker med antall støyhendelser, og er mer relatert til antall hendelser enn til maksimalt støynivå (11).

I forhold til effekter på objektive/fysiologiske søvnparametre er det i en rekke studier vist at et mål for ekvivalent støynivå er lite hensiktsmessig, spesielt dersom støyen varierer sterkt med tiden (4). En indikator som i større grad tar hensyn til maksimalt støynivå forutsier virkninger på søvn bedre. Dette er også rimelig ut ifra hvordan kroppen reagerer fysiologisk; under søvn så vel som i våken tilstand reagerer vi kraftigere på endringer i lydnivå enn på en kontinuerlig lydeksponering ved samme nivå. Selv om det totale ekvivalente støynivå er lavt, vil et lite antall støyhendelser med høye maksimalnivåer kunne påvirke søvnen.

A-veiet lydeksponeringsnivå (ASEL) og maks støynivå ($L_{A_{maks}}$) er ofte benyttet som målestørrelser i søvnundersøkelser. I motsetning til $L_{A_{maks}}$ tar lydeksponeringsnivået hensyn til varigheten på lyden. To lydhendelser med samme maksimalnivå har således ulike SEL-verdier avhengig av varigheten på lyden. Det er ingen enkel relasjon mellom SEL og $L_{A_{maks}}$. Folkehelseinstituttet har i en tidligere utredning sett på sammenhengen mellom A-veiet SEL og $L_{A_{maks}}$ ("Slow" tidskonstant) for måledata for flystøy fått av Oslo kommune og funnet en høy korrelasjon ($r=0,9$). En lineær regresjon ga følgende sammenheng:

$$ASEL = 1,15L_{A_{maks}} - 3,4$$

I en større gjennomgang av Pearsons m.fl. i 1995 (3) ble det på bakgrunn av en rekke tidligere undersøkelser funnet at ASEL var en bedre indikator enn $L_{A_{maks}}$ for vekking/oppvåkninger, mens med hensyn til søvnstadiumendringer var $L_{A_{maks}}$ en bedre indikator enn ASEL. Det er også antydning i tidligere studier at sannsynligheten for vekking øker med varigheten på lydhendelsen, slik at en indikator som tar hensyn til lydets varighet er best egnet til å forutsi vekking (17). Siden enkelte undersøkelser har benyttet ASEL, mens andre har brukt $L_{A_{maks}}$ for å beskrive støyhendelser, var det i analysene til Pearsons m.fl. (3) nødvendig med en konvertering mellom de to parametre. I konvertering mellom ASEL og $L_{A_{maks}}$ kan det oppstå store feil, spesielt for lave støynivåer ved terskelverdier for vekking. Med tanke på usikkerheten i denne konvertering, samt noe manglende beskrivelse av grunnlaget for beregningene, kan det stilles spørsmål ved disse resultatene.

ASEL har ikke vært en vanlig målestørrelse til bruk i forvaltningen. Anbefalinger i regelverket om maksimalt lydnivå er gitt i byggeforskriftene (lydkravene er gitt i NS 8175) og i flere av støyretningslinjene (vei, fly, skytebaner, industri). I alle disse dokumentene brukes forskjellige målestørrelser for å beskrive maksimalt lydnivå. I byggeforskriftene settes det krav til maksimalt A-veiet lydnivå målt med tidskonstanten "Fast". Denne integrasjonstiden er i god overensstemmelse med hørselssystemets integrasjonstid. Så langt vi kjenner til finnes ingen internasjonal standard for $L_{A_{maks}}$ til bruk i forbindelse med studier av effekter på søvn.

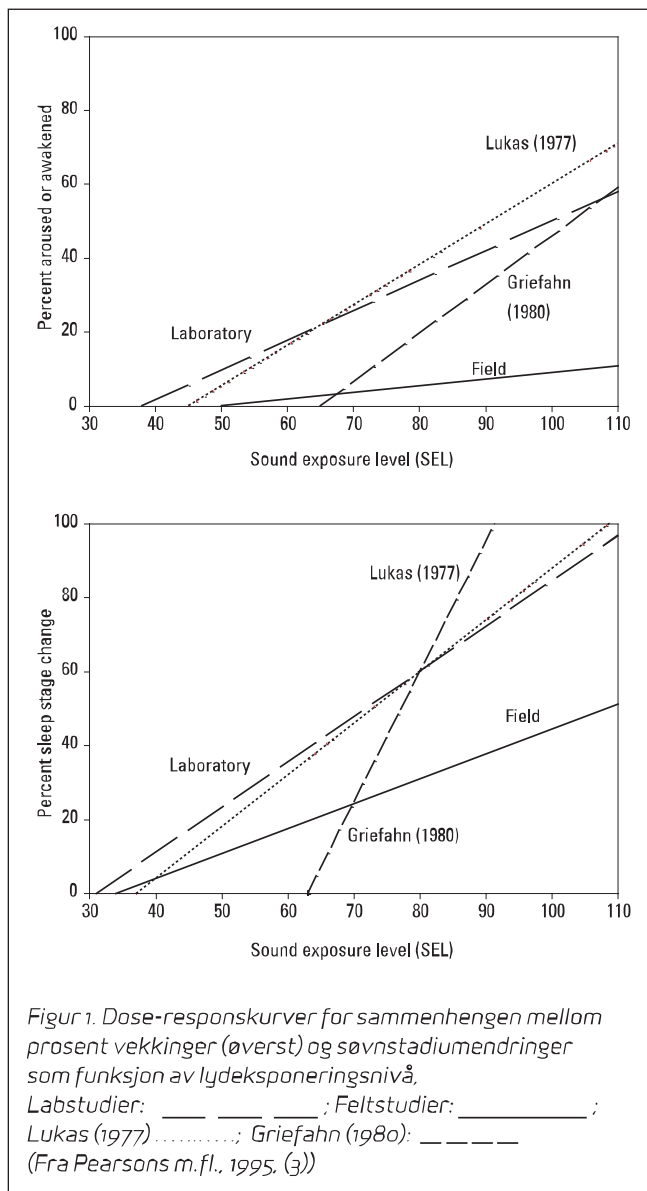
Gjennom EUs rammedirektiv for støy er det foreslått utendørs nattekvivalent lydnivå (L_{night})² som indikator for å vurdere støyinduserte søvnforstyrrelser. Denne er trolig en bedre indikator enn et ekvivalent lydnivå midlet over hele døgnet, men mangler vitenskapelig støtte, spesielt for de fysiologiske søvnevirkningene. Folkehelseinstituttet kjenner ikke til forskning som systematisk har undersøkt og funnet en sammenheng mellom L_{night} for ulike kilder og virkninger på søvn. Dose-respons-sammenhenger for risiko for vekking som funksjon av støy er kun etablert for enkeltstøyhendelser. På bakgrunn av kunnskap om sammenheng mellom innendørs ASEL og vekkesannsynlighet er det riktignok gjort en omregning til et grovt estimat på forventet maksimalt antall vekkinger per år, for en voksen tilvakt populasjon, som funksjon av utendørs $L_{A_{eq,night,23-07h}}$ (18). Sistnevnte målestørrelse er beregnet ut ifra et antall enkelthendelser i løpet av natten og deres lydeksponeringsnivåer. Dose-responskurven viser inntil 100 støyinduserte oppvåkninger per år opptil $L_{A_{eq,night,23-07h}} = 50$ dB og stiger til det tredoble ved 55 dB.

Effekter av støy fra ulike transportkilder på søvn

Ulike metoder for måling av både søvnforstyrrelser og støyeksponering har gjort det vanskelig å sammenligne resultater fra forskjellige studier. De fleste (tidlige) studier er gjort i en laboratoriesituasjon, hvor opptak av lyder er presentert for forsøkspersoner under søvn. De senere år er det også gjort feltstudier, hvor man har målt søvn hjemme hos personer som bor i støyende områder. Det er svært varierende hvordan støyen er målt og beskrevet i disse undersøkelsene. I 1995 gjorde Pearsons m.fl. en gjennomgang av tidligere studier, og det ble funnet forskjeller i resultater mellom felt- og laboratoriestudier (3). Sannsynlighet for vekking, og i mindre grad sannsynlighet for søvnstadiumendringer, ble funnet å være høyere i laboratoriet enn i en feltsituasjon (fig. 1). Dette kan skyldes at befolkningen til en viss grad venner seg til støy over tid i sine hjem. I tillegg kan forskjellene gjenspeile dårlig

² Årsmiddelverdi av A-veiet lydnivå som definert i ISO-1996-2:1987 fastsatt for nattperiode på 8 timer.

kontroll med faktiske støynivåer, og at resultater fra studier som så på effekt fra ulike kilder var slått sammen. I figur 1 er det også presentert data fra Lukas' gjennomgang av 26 studier (under eksperimentelle betingelser, ikke i en hjemmesituasjon) fra 1977 og Griefahns gjennomgang fra 1980 av 10 studier, mange av de samme som i Lukas' studie. At dose-responskurvene presentert av Griefahn avviker fra resultatene til Lukas og Pearsons kan trolig delvis skyldes konvertering fra $L_{A_{maks}}$ til ASEL.



Nedenfor gjennomgås relevant litteratur med hensyn til støy og søvnforstyrrelser. De fleste studier, særlig feltstudiene, har undersøkt effekter av en støykilde isolert. Til slutt er det gjort en gjennomgang av undersøkelser som har sammenlignet effekter fra to eller flere ulike støytyper.

Flystøy

Studier av effekter av flystøy på søvn er for en stor del gjennomført i USA og England, og det er hovedsakelig gjort feltstudier med grove målinger av søvn, henholds-

vis adferdsvekking (personen trykker på knapp hver gang han/hun våkner) og aktimetri (registrering av kroppsbevegelser under søvn). Resultater fra studier i England (2;19) har vist at utendørs støyhendelser under SEL 90 dB utendørs ($L_{A_{maks}}$ ca. 80 dB) i liten grad påvirker kroppsbevegelser, vekking (estimert ut fra kroppsbevegelser) og subjektiv søvnkvalitet, selv om det er store individuelle variasjoner. Ved høyere lydeksponeringsnivåer, mellom 90 og 100 dB, er sjansen for en gjennomsnittsperson 1 på 75 for å våkne av en flystøyhendelse. Lignende resultater er funnet i de amerikanske studiene (20), selv om det er påpekt enkelte forskjeller i sammenheng mellom dose og respons, spesielt opptil SEL 65 dB innendørs (21) (se også dose-responskurve fig. 2, som med unntak av to studier, er basert på flystøydata).

Vegtrafikkstøy

Mange av de tidlige studiene av effekter av vegtrafikk på søvn ble gjennomført i laboratoriet. De senere årene er det også gjennomført enkelte studier i felt. Søvnparametre som er benyttet er både fysiologiske registreringer (EEG/EKG/EMG og aktimetri) og subjektiv søvnkvalitet.

I en laboratoriestudie av Eberhardt m.fl. (1987) ble forsøkspersonene eksponert for vegtrafikkstøy av ulik karakter, med eller uten lastebilpasseringer. Virkningene på søvn av de ulike betingelsene ble sammenlignet innbyrdes og i forhold til en stille referansenatt ($L_{A_{ekv}} = 27$ dB). Lastebilpasseringer med $L_{A_{maks}}$ 45 dB og 55 dB førte til henholdsvis overgang til lettere søvn (virket på stadium 3 og 4) og vekking. En signifikant økning i antall søvnstadiumendringer ble funnet når $L_{A_{maks}}$ ble økt til 55 dB i forhold til en situasjon med samme antall støyhendelser (50 lastebilpasseringer) med $L_{A_{maks}}$ 45 dB. Ekvivalent støynivå (for måleperioden) var her henholdsvis 36 dB og 29 dB. Jevnt støynivå med $L_{A_{ekv}}$ 36 dB viste ingen effekter på søvn i studien til Eberhardt (4). Derimot førte jevnt vegtrafikkstøy med $L_{A_{ekv}}$ 45 til redusert andel REM-søvn. Det samme er funnet i en studie av Griefahn ved $L_{A_{ekv}}$ 44 dB (16). Etter netter med redusert REM-søvn var også den subjektive søvnkvaliteten vurdert som dårligere, og sinnsstemning var påvirket i negativ retning (4). Det så videre ut til at forskjellen i støynivå mellom støyhendelsene og bakgrunnstøynivået var viktigere enn absolutt støynivå med hensyn til virkninger på søvn. Resultater fra en annen svensk laboratoriestudie viste at subjektiv søvnkvalitet ble redusert som funksjon av antall støyhendelser (opptil 64/natt) fra tungtrafikk ved $L_{A_{maks}}$ 60 dB; ved 16 hendelser per natt var søvnkvaliteten signifikant redusert (10). Det ble ikke funnet noen sammenheng mellom subjektiv søvnkvalitet og antall støyhendelser med $L_{A_{maks}}$ 50 dB.

Studier i felt har generelt ikke vist effekter med hensyn til vekking og søvnstadiumendring ved nivåer lavere enn henholdsvis $L_{A_{maks}}$ 52 dB og 45 dB innendørs (22). Resultater fra en spørreundersøkelse viste at for

$L_{10} \leq 35$ dB (innendørs) var tilsynelatende ingen plaget av trafikkstøy på natt (15). Generelt har feltstudier vist liten sammenheng mellom søvnkvalitet og støynivå (L_{Aekv} , L_{Amax}) målt utendørs.

Jernbanestøy

Effekter av støy på søvn er i mindre grad undersøkt for jernbanestøy enn fra fly- og vegtrafikkstøy. I undersøkelser av søvnforstyrrelser som følge av jernbanestøy, er det ofte sammenlignet med effekter av vegtrafikkstøy. I en feltstudie ble det funnet en signifikant korrelasjon mellom nullrespons (ingen effekt på søvn målt fysiologisk) og maksimalt støynivå. Ut fra dose-responskurvene fant man ingen responser opptil ca. 40 dB (L_{Amax}). Over L_{Amax} 40 dB synker antall nullresponser, og ved L_{Amax} ca. 70 dB er andel nullresponser sunket til 75 %. Med hensyn til vekkinger var terskel for nullrespons ca. 52 dB L_{Amax} for togstøy (22;23).

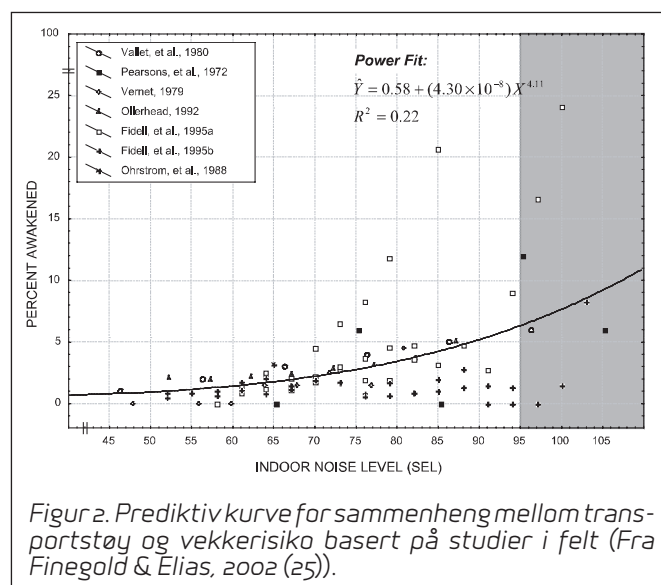
Sammenligning av effekter på søvn fra ulike støykilder

På bakgrunn av etablert kunnskap om at ulike transportkilder gir forskjellig støyplassgrad ved samme L_{Aekv} , er det stilt spørsmål ved om dette også vil gjenspeile seg i ulike effekter på søvn. Flere studier har også vist at intermitterende støy i løpet av natten er mer forstyrrende på søvn enn kontinuerlig støy ved samme ekvivalente støynivå. En nyere tysk feltstudie har sammenlignet effekter av vegtrafikkstøy og togstøy (24). Ingen statistisk signifikante sammenhenger ble funnet verken mellom beregnede kildepesifikke støynivåer (blant annet $L_{Aekv,natt}$, L_1 , L_5) eller antall støyhendelser og søvnparametre (antall kroppsbevegelser og subjektiv vurdering av innsøvn og oppvåkninger). Det ble heller ikke funnet en signifikant effekt av type støykilde. Den eneste signifikante forskjellen som ble funnet var at de som var utsatt for vegtrafikkstøy hadde en større tendens til å sove med soveromsvinduet lukket enn de som hovedsakelig var utsatt for støy fra tog. Hvorvidt dette skyldes støy eller annen forurensning ble det imidlertid ikke innhentet data på. Sannsynligheten for å sove med lukket soveromsvindu ble funnet å være signifikant relatert til beregnet $L_{Aekv,natt}(ute)$.

I feltstudier gjennomført i Frankrike (22;23) var forsøkspersonene i et område utsatt for støy fra tog og veg med samme ekvivalente støynivå. Antall støyhendelser var imidlertid 3-4 ganger større for vegtrafikk enn togtrafikk og det var en jevn fordeling av hendelser gjennom hele natten. Tunge lastebiler utgjorde 60 % av vegtrafikken. Ved utendørs ekvivalent støynivå på 69 dB var antall fysiologiske responser på støy under søvn 3 ganger høyere for de som var eksponert for vegtrafikkstøy, sammenlignet med de som var utsatt for togstøy ved samme ekvivalente støynivå. Mens det var mange flere bil- enn togpasseringer, var likevel andel responser på støyhendelser lignende, 15 % for veg og 18 prosent for tog. Det ble også gjort studier i områder hvor maksimale støyni-

våer var like for veg- og togstøy. Ingen signifikante forskjeller mellom veg- og togstøy ble observert med hensyn til terskelverdi for effekt på fysiologiske søvnparametre; L_{Amax} under 52 dB og 45 dB ga ingen effekter på henholdsvis vekking og søvnstadiumendring. Korrelasjon mellom søvnstadiumendring og maksimalt støynivå var signifikant med en korrelasjonskoeffisient på 0,46 for tog- og 0,73 for vegtrafikkstøy. Ingen korrelasjon ble funnet mellom fysiologiske responser og varigheten på lydhendelsen for verken tog- eller vegtrafikkstøy. Disse resultatene viser at effekter på søvn av veg- og togstøy ikke kan sammenlignes ut ifra et ekvivalent støynivå alene, og at antall hendelser og nivåer på disse i større grad predikerer effekter på søvn.

Vi kjenner ikke til feltstudier hvor det i en og samme studie er undersøkt effekter på søvn fra fly-, tog- og vegtrafikkstøy. Det er imidlertid laget modeller basert på enkeltstudier slått sammen. På bakgrunn av feltstudier som har sett på effekter av enkeltstøyhendelser på adferdsvekking, er det laget en prediktiv modell for støyinduserte vekkinger som funksjon av innendørs SEL (25). I denne modellen er det tatt med studier av både veg-, tog- og flystøy, men de fleste er gjort på effekter av flystøy. Det ble funnet at en eksponensiell funksjon (fig. 2) ga en bedre beskrivelse av forholdet mellom oppvåkninger (adferdsvekking) og innendørs SEL enn en lineær regresjonsmodell som er prøvd av andre. Den eksponensielle kurvetilpasningen ga signifikant bedre R^2 (andel forklart varians) enn en lineær tilpasning. Det er anbefalt å ikke bruke kurven for lavere støynivåer enn SEL 45 dB eller høyere enn SEL 105 dB, da det er få datapunkter utenfor dette intervallet. Innendørs støymålinger blir anbefalt både i feltstudier og som utgangspunkt for å lage grenseverdier, da dette er den faktiske støyeksponeringen folk blir utsatt for i soverommet. Vi understreker at denne kurven er begrenset til en grov måling av søvnforstyrrelser, og at andre viktige effekter på søvn ikke tas hensyn til i denne modellen.



I laboratoriestudier av vegtrafikk er det funnet målbare effekter på søvn fra ca. 30 L_{Aekv} , og dette er det tatt hensyn til i et dokument skrevet for WHO (26) hvor det gis anbefalinger at L_{Aekv} på natt ikke bør overskride 30 dB i soverom (med relativt jevn/kontinuerlig støy). Det foreslås videre at, i retningslinjer for å beskytte mot støyinduserte søvnforstyrrelser, også bør settes krav til maksimalt støynivå og antall hendelser. Det er anbefalt for intermitterende støy at man unngår hendelser som overstiger L_{Amaks} 45 dB i soverommet, spesielt der hvor bakgrunnsstøynivå er lavt. Videre er det anbefalt at utendørs støynivå ikke overstiger L_{Aekv} 45 dB for at man skal kunne sove med soveromsvinduet åpent, på bakgrunn av en antagelse om en 15 dB demping når vinduet er åpent. Andre anbefalinger er gitt av *Health Council of the Netherlands* rapportert av *Comitee on Noise and Health* (27). Disse anbefalingene er gitt i form av ASEL og L_{Aekv} , natt avhengig av type effekt (tab. 1).

Folkehelseinstituttets anbefalinger er gitt i *Anbefalte faglige normer for inneklime* (29) og er i tråd med de anbefalinger som er gitt i dokumentet skrevet for WHO som nevnt over. For å opprettholde god søvn er det foreslått at hendelser med støynivåer rundt L_{Amaks} 45 dB ikke bør forekomme mer enn 10-15 ganger per natt (30).

De langt fleste studier som ligger til grunn for anbefalte støynivåer på natt, er gjort på friske unge, voksne mennesker. Hos sensitive grupper som eldre, syke, de med andre søvnforstyrrelser/sykdommer, vil man kunne finne effekter ved lavere nivåer. Barn er generelt mindre følsomme for støy under søvn, og i en studie ble det funnet at terskler for vekking og søvnstadiumendringer var henholdsvis ca. 10 dB og 20 dB (L_{Amaks}) høyere enn hos voksne (28).

Tabell 1. Anbefalinger gitt av *Health Council of the Netherlands* rapportert av *Comitee on Noise and Health*, 1994.

Effekt	Støyindikator (dB)
Subjektiv søvnkvalitet	$L_{Aekv, natt}$ 40 (ute)
Vekking (adferdsvekking)	ASEL 55 (inne)
Søvnstadiumendringer	ASEL 35 (inne)
Hjertefrekvens (eksponering under søvn)	ASEL 40 (inne)
Sinnsstemning (neste dag)	$L_{Aekv, natt}$ < 60 (ute)

Litteraturen som omhandler effekter av støy på søvn er svært varierende med hensyn til metode, både når det gjelder måling av søvn og måling og beskrivelse av støyeksponeringen.

Derfor er det også varierende resultater med hensyn til terskler for virkning på søvn. Det er imidlertid klart ut fra de undersøkelsene som er gjort at en støyindikator som beskriver støytopper for enkelthendelser ($L_{A_{maks}}$ eller ASEL) gir en bedre prediksjonsverdi enn $L_{A_{ekv}}$ for effekt på flere av søvnparametrene, spesielt søvnstadiumendringer og oppvåkninger. Dette gjelder for samtlige transportkilder, men spesielt der trafikken kan sies å være intermitterende. Samme ekvivalentnivå for veg og tog, men også innenfor en og samme type transportstøy, har vist å gi svært ulike effekter på søvn. Dette ser ut til i stor grad å skyldes antall støyhendelser og variasjon i maksimalt støynivå. Tiden det tar for innsovning har imidlertid vist å være mer relatert til antall hendelser enn til maksimalt støynivå.

Forutsetninger til en god indikator, at den i rimelig grad predikerer effekt og tar hensyn til forskjell mellom kilder, synes derfor best oppfylt for $L_{A_{maks}}$ og ASEL. Så langt vi kjenner til, har ikke ASEL vært i forvaltningsmessig bruk, mens $L_{A_{maks}}$ er benyttet i nasjonale normer, forskrifter og retningslinjer hvor det gis anbefalinger med hensyn til støynivå på natt ved bygging av nye boliger/virksomhet. I publiserte artikler og rapporter som beskriver sammenheng mellom støy og søvnforstyrrelser er $L_{A_{maks}}$ ofte dårlig beskrevet og definert, slik at det er vanskelig å sammenligne resultater fra ulike studier. For en videre vurdering av krav til $L_{A_{maks}}$, må denne klart defineres med hensyn til hvilken tidskonstant som skal benyttes og hvorvidt det skal benyttes et statistisk maksimalnivå. Definisjonen av $L_{A_{maks}}$ ved bruk i ulike krav og anbefa-

linger for å minimere søvnforstyrrelser av transportstøy, bør være lik dersom ikke andre hensyn tilsier dette. I tillegg bør det gjøres en vurdering av krav til antall hendelser per natt, spesielt for kjøretøyer som gir høye maksimalnivåer. Det er et klart behov for å innhente mer kunnskap med hensyn til antall støyhendelser ved ulike støynivåer og effekt på søvnkvalitet. Det må også defineres en hensiktsmessig nattperiode. I denne sammenheng mener vi det er viktig med hensynet til innsovningsperioden, da dette kanskje er blant de mest sårbare periodene, spesielt med tanke på subjektiv søvnkvalitet og støyplage om natten. For å oppnå et ellers tilfredsstillende innemiljø i soverom, mener vi det også er viktig å ta hensyn til behovet for å sove med soveromsvinduet åpent. Et mer bindende krav til støynivå om natten uten-dørs, basert på en gitt ute til innendørs demping med vindu åpent, bør derfor vurderes.

Folkehelseinstituttet mener det er viktig å sikre uforstyrret søvn fordi god søvn har avgjørende betydning for psykisk og fysisk helse. Selv om risiko for vekking bør vektlegges, bør det også tas hensyn til de andre virkningene på søvn. Fra et helsemessig perspektiv er det derfor rimelig å stille krav både til ekvivalent støynivå og til maksimalt støynivå på natt, og at disse i størst mulig grad hindrer både direkte og indirekte negative effekter av støy på søvn. Vi er også av den oppfatning at det er behov for å innhente data for effekter av ulike transportkilder på søvn for norske forhold og har tatt konsekvensen av dette gjennom forskningsprosjektet "Transportstøy og søvnforstyrrelser". Resultater fra dette prosjektet vil kunne bidra med ytterligere grunnlag for fastsettelse av helsebaserte støykrav på natt, men vil tidligst være tilgjengelige i løpet av 2003.

- (1) Griefahn B, Gros E. Noise and sleep at home, a field study on primary and aftereffects. *J Sound and Vibration* 1986; 105(3):373-383.
- (2) Horne JA, Pankhurst FL, Reyner LA, Hume K, Diamond ID. A field study of sleep disturbance: effects of aircraft noise and other factors on 5,742 nights of actimetrically monitored sleep in a large subject sample. *Sleep* 1994; 17(2):146-159.
- (3) Pearsons KS, Barber DS, Tabachnick B, Fidell S. Predicting noise-induced sleep disturbance. *J Acoust Soc Am* 1995; 97(1):331-338.
- (4) Eberhardt JL, Stråle L-O, Behrlin MH. The influence of continuous and intermittent traffic noise on sleep. *J Sound and Vibration* 1987; 116(3):445-464.
- (5) Terzano MG, Parrino L, Fioriti G, Orofiamma B, Depoortere H. Modifications of sleep structure induced by increasing levels of acoustic perturbation in normal subjects. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1990; 76(1):29-38.
- (6) Kawada T, Suzuki S. Instantaneous change in sleep stage with noise of a passing truck. *Percept Mot Skills* 1995; 80(3 Pt 1):1031-1040.
- (7) Öhrström E. Sleep disturbance, psycho-social and medical symptoms - a pilot survey among persons exposed to high levels of road traffic noise. *J Sound and Vibration* 1989; 133:117-128.
- (8) Carter N, Henderson R, Lal S, Hart M, Booth S, Hunyor S. Cardiovascular and autonomic response to environmental noise during sleep in night shift workers. *Sleep* 2002; 25(4):457-464.
- (9) Carter NL, Hunyor SN. A field study on traffic noise and cardiac arrhythmia during sleep. In *Technical Papers: 4th Western Pacific Regional Acoustic Conference Brisbane, Australia* 1991;165-172.
- (10) Öhrström E, Rylander R. Sleep disturbance by road traffic noise - a laboratory study on number of noise events. *J Sound and Vibration* 1990; 143(1):93-101.
- (11) Öhrström E. Effects of low-levels of road traffic noise during the night: A laboratory study on number of events, maximum noise levels and noise sensitivity. *J Sound and Vibration* 1995; 179:603-615.
- (12) Ursin R. *Søvn - en lærebok om søvnfysiologi og søvnsykdommer*. Oslo: Cappelen Akademisk Forlag, 1996.
- (13) Jürriens AA, Griefahn B, Kumar A, Vallet M, Wilkinson RT. An essay in European research collaboration: Common results from the project on traffic noise and sleep in the home. Rossi G, editor, 1983. Milano, Italia, Fourth International Congress on Noise as a Public Health Problem.
- (14) van Cauter E, Spiegel K. Sleep as a mediator of the relationship between socioeconomic status and health: a hypothesis. *Ann NY Acad Sci* 2001; 896:254-261.
- (15) Langdon FJ, Buller IB. Road traffic noise and disturbance to sleep. *J Sound and Vibration* 1977; 50(1):13-28.
- (16) Griefahn B. A critical load for nocturnal high-density road traffic noise. *Am J Ind Med* 1986; 9(3):261-269.
- (17) Horonjeff RD, Fidell S, Teffeteller SR, Green DM. Behavioral awakening as functions of duration and detectability of noise intrusions in the home. *J Sound and Vibration* 1982; 84(3):327-336.
- (18) Passchier-Vermeer W, Passchier WF. Noise exposure and public health. *Environ Health Perspect* 2000; 108 Suppl 1:123-131.
- (19) Ollerhead JB, Jones CJ. Aircraft noise and sleep disturbance: a UK field study. *Proc Int Cong on Noise as Public Health Problem* (ed Vallet, M), Noise and Man '93, Nice, France 1993; 3:353-358.
- (20) Fidell S, Pearsons K, Tabachnick BG, Howe R. Effects on sleep disturbance of changes in aircraft noise near three airports. *J Acoust Soc Am* 2000; 107(5 Pt 1):2535-2547.
- (21) Porter N, Kershaw A, Ollerhead J. Adverse effect of night-time aircraft noise: review of 1992 UK findings and introduction to new UK work. *Proceedings at The 2000 International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, Nice, France, August 27-30 2000; CD-rom*.
- (22) Vernet M. Effects of train noise on sleep for people living in houses bordering the railway line. *J Sound and Vibration* 1979; 66:483-492.
- (23) Vernet M. Comparison between train noise and road noise annoyance during sleep. *J Sound and Vibration* 1983; 87(2):331-335.
- (24) Griefahn B, Schuemer-Kohrs A, Schuemer R, Moehler U, Mehnert P. Physiological, subjective, and behavioural responses during sleep to noise from rail and road traffic. *Noise & Health* 2000; 3(9):59-71.
- (25) Finegold LS, Elias B. A predictive model of noise induced awakenings from transportation noise sources. *Proc. Internoise 2002, The 2002 International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Dearborn, Michigan Aug 19-21 2002*.

- (26) Berglund B, Lindvall T. Community Noise. Volume 2, Issue 1 ed. Stockholm: Stockholm University and Karolinska Institute, 1995.
- (27) Health Council of the Netherlands. Noise and Health. The Hague, 1994.
- (28) Eberhardt JL. The influence on sleep of noise and vibrations caused by road traffic noise. Thesis from Institute of Environmental Health, Lund University, Sweden, 1987.
- (29) Anbefalte faglige normer for inneklime. Rapport fra Folkehelse, 1998.
- (30) Vallet M, Vernet I. Night aircraft noise index and sleep research results. In A Lawrence (ed.), Inter-noise 91. The Cost of Noise, Poughkeepsie, NY: Noise Control Foundation, Vol I 1991;207-210.