TEKNISK NOTAT

Måle- og integrationstider for kortvarige lavfrekvente støjhændelser.
Del 1: Litteraturstudie

Udført for Miljøstyrelsen

Sagsnr.: 120-34128

TC-101630

Hørsholm, 15. april 2021

Akustik, støj og vibrationer

Kvalitetssikret af Per Finne

Udfærdiget af Michelle Herlufsen & Morten Bording Hansen

Per Finne
2021-04-16
Digitally signed by Per Finne
pfi@force.dk
Senior Specialist

Morten Bording Hansen
2021-04-15
Digitally signed by Morten Bording Hansen
mbh@force.dk
Specialist

OVERSIGT

Titel	Måle- og integrationstider for kortvarige lavfrekvente støjhændelser
Sagsnr.	120-34128
TC-nr.	TC-101630
Kunde	Miljøstyrelsen Tolderlundsvej 5 5000 Odense C Tlf.: 72544000
Kontaktperson	Frank Pedersen E-mail: frape@mst.dk
Revisioner	Originalrapport
Testlokation	Venlighedsvej 4, 2970 Hørsholm
Vores ref.	MBH/MCHE/PFi/ilk

Rapporten må kun gengives i sin helhed.

Gengivelse i uddrag kræver skriftlig accept fra FORCE Technology.

Rapporten er kun gyldig med to digitale signaturer fra FORCE Technology. Rapporten forefindes som original i FORCE Technologys database og sendes som elektronisk duplikat til kunden. Den hos FORCE Technology lagrede original har forrang som dokumentation for rapportens indhold og gyldighed.

INDHOLDSFORTEGNELSE

1 Indledning 4

1.1 Baggrund 4

1.2 Formål 5

2 Metode 5

3 Litteratur 6

3.1 Regler, guidelines og støjgrænser 6

3.1.1 Sverige 6

3.1.2 Norge 7

3.1.3 Storbritannien 7

3.1.4 Tyskland 8

3.1.5 Australien 8

3.1.6 WHO 9

3.1.7 Sammenfattende tabel med støjgrænser for forskellige lande 10

3.2 Genevirkning 11

4 Sammenfatning og konklusion 15

5 Referencer 17

Bilag 1 Begreber 18

Bilag 2 Vurdering af spesielt forstyrrende lydkomponenter i 1/1-oktavbånd 19

1 Indledning

Denne undersøgelse udgør første del af et projekt med i alt 4 delprojekter, som alle hører under overskriften "Måle- og integrationstider for kortvarige, lavfrekvente støjhændelser" og skal ses som et indledende litteraturstudie.

Det samlede projekt omfatter følgende delprojekter:

Del 1: Litteraturstudie, som omfatter regler i andre lande og litteratur om genevirkningen af kortvarige, lavfrekvente hændelser. Litteraturstudiet sammenfattes i et notat med angivelse af de fundne referencer.

Del 2: Der foreslås en eller flere mulige målemetoder, som omfatter analyse af lavfrekvente impulser, og der gives forslag til grænseværdier for fx maksimalniveauer (inkl. integrationstider) eller andre metrikker, som måtte vise sig relevante. De foreslåede målemetoder beskrives i et notat.

Del 3: Sammenhængen mellem mulige alternative målemetoder og genevirkningen belyses ud fra lyttetest. Resultaterne analyseres og konkluderes i et notat med anbefaling af den bedst egnede metode.

Del 4: Undersøgelse af lydudbredelse af lavfrekvente impulser (strukturlyd, luftlyd), så der allerede i planlægningssituationer kan blive en bedre forståelse for, hvornår lavfrekvente impulser kan blive et problem. Desuden ses på muligheder for støjdæmpning af lavfrekvente impulser.

1.1 Baggrund

Miljøstyrelsen udgav i 1997 retningslinjer for måling og vurdering af lavfrekvent støj, infralyd og vibrationer i eksternt miljø, jf. [1]. For lavfrekvent støj introduceredes et referencetidsrum på 10 minutter og en indikator bestemt som et ækvivalentniveau $L_{pA,LF}$ (10 min.) i frekvensområdet 10-160 Hz. Hvis der er tydeligt hørbare impulser i støjen, skærpes de foreslåede grænser med 5 dB. De foreslåede grænseværdier for lavfrekvent støj er gældende indendørs og er mere restriktive om aftenen og natten end om dagen.

Der har på det seneste vist sig situationer i praksis, som tyder på, at et 10 min. ækvivalentniveau ikke er repræsentativt for den gene, støjen giver anledning til. Støjproblemerne er relateret til kortvarige hændelser som fx vibrationsgenereret støj fra forbikørsler med metrotog i tunneler eller støj fra fitnesscentre, hvor der sker hyppige kast eller tab af vægte. Der er formentlig andre lignende eksempler som fx støj fra pæleramning og skrotvirksomhed, som giver tilsvarende problemer. På baggrund af mere end 20 års erfaringer og indførelsen af blandt andet metroen under store dele af København er det erfaret, at der fremkommer mange borgerreaktioner, selvom grænseværdien for lavfrekvent støj i boliger om aftenen på 20 dB ikke overskrides. Noget tyder på, at målestørrelsen $L_{pA,LF}$ (10 min.) ikke tilgodeser alle typer af kilder, som kortvarigt udsender lavfrekvent støj til nabobygninger.

Et eksempel på lavfrekvent støj hos en nabo, hvor støjkilden er kast med vægte i et fitnesscenter, viser, at en hændelse med et L_{AE}-niveau (A-vægtet SEL) på ca. 32 dB og en $L_{pAmax,FAST}$-værdi for hændelsen på ca. 38 dB kan ske ca. 33 gange indenfor 10 min., uden at støjgrænsen på $L_{pA,LF}$ = 20 dB er overskredet. Det svarer til en hændelse hvert 18. sekund, hvor L_{pAmax}-niveauet overstiger baggrundsstøjen med mere end 15 dB, hvilket gør, at impulsen er tydeligt hørbar.

I situationer, hvor støjen ikke er kontinuert, men består af kortvarige hændelser, er genen ikke nødvendigvis bestemt af et 10 min. ækvivalentniveau, men måske mere relateret til maksimalniveauer, energiniveauet i hændelsen, varigheden af hændelsen og ikke mindst antallet af hændelser. Det nuværende tillæg for impulser på 5 dB er måske ikke tilstrækkeligt nuanceret og beskyttende, og erfaringsmæssigt er det ikke særlig relevant ved forbikørsler med metrotog, hvor stejlheden i lydtrykniveauet ved hændelsens opståen og henfald ikke er speciel høj, men hvor hændelsen alligevel er hørbar og generende, hvis baggrundsstøjniveauet er tilpas lavt.

Processen med analyse af kortvarige lavfrekvente hændelser eller impulser er heller ikke veldefineret i Orienteringen, jf. [1], hvilket kan give anledning til forskellige analysetilgange afhængigt af den person, som udfører analyserne.

For den lavfrekvente støj gælder generelt, at den både kan hidrøre fra den almindelige, lufttransmitterede støj og fra strukturtransmitteret støj, altså fra vibrationer der er transmitteret gennem jorden til en bygning. Her kan bygningskonstruktionens svingninger få indvendige flader til at vibrere og i nogle situationer udsende hørbar lavfrekvent støj til rummet.

I mange andre lande vil grænseværdierne for metroer, sporvogne og letbaner typisk være lokalt reguleret. Det vil sige, at det er den lokale myndighed (bystyret), som stiller krav til et anlæg. Det kan derfor meget vel være, at der ingen nationale grænseværdier eksisterer. Omvendt kan det også betyde, at fx metroer i forskellige byer i samme land ikke er underlagt samme grænseværdier – i særdeleshed ikke, hvis metroerne er anlagt på forskellige tidspunkter.

Måleparametrene i rapporten er angivet, som de typisk vil blive benævnt i Danmark. Men i litteraturen både fra Miljøstyrelsen og fra udlandet kan der forekomme afvigende notationer. I Bilag 1 er der udformet en liste over begreber med notation og forklaring.

1.2 Formål

Formålet med projektets del 1 er at gennemføre et indledende litteraturstudie, som omfatter regler i andre (sammenlignelige) lande og litteratur om genevirkning af kortvarige lavfrekvente hændelser.

Fokus i forhold til "regler i andre lande" har været på reglerne for metro- og togstøj og på reglerne for lavfrekvent industristøj med specielt fokus på kortvarige hændelser og impulser.

Projektets del 1 er grundlag for del 2, 3 og 4, hvor formålet med del 2 er at foreslå én eller flere mulige målemetoder, som omfatter analyse af kortvarige lavfrekvente hændelser. Formålet med del 3 er at undersøge sammenhængen mellem målemetoder og genevirkningen belyst ud fra lyttetests og komme med forslag til grænseværdier for kortvarige lavfrekvente hændelser. I del 4 ses på lydudbredelse og muligheder for at forudsige problemer med kortvarige lavfrekvente hændelser.

2 Metode

Der er søgt efter litteratur i databaser med søgeord som: "low frequency noise", "noise annoyance", "pass-by", "underground", "railway noise", "short term", "fast changing", "noise event annoyance", "judgement of loudness", "sleep disturbance", "noise from fitness centres", "intermittent", "transient", "regulation", "limits", "indoor". De anvendte databaser og tidsskrifter, brugt som søgemaskiner er følgende:

- FORCE's litteraturdatabase indeholdende ca. 1525 referencer om støj, støjgener og helbredseffekter, som er etableret og vedligeholdt siden 2016.
- Mendeleys litteratursøgning. Mendeley er kendt for sin funktion som reference manager, men har også en søgefunktion til at finde akademisk litteratur.
- DTU's søgemaskine, DTU Findit. DTU Findit er en søgemaskine udviklet af DTU og er især benyttet af DTU-studerende og -ansatte.
- ResearchGates søgemaskine. ResearchGate er et socialt netværk for forskere over hele verden til at dele artikler, stille faglige spørgsmål og finde evt. samarbejdspartnere.
- Tidskriftet "The Journal of the Acoustical Society of America" (JASA).

Der er gennemgået artikler fra følgende relevante konferencer:

- ICBEN år 2014 og 2017 (International Commission on Biological Effects of Noise)
- Low Frequency Noise år 2012
- Inter-Noise konferencer år 2013-2017
- Euronoise konferencer år 2012 og 2018.

3 Litteratur

3.1 Regler, guidelines og støjgrænser

I dette afsnit gennemgås regler og grænseværdier i nogle udvalgte lande.

3.1.1 Sverige

I Sverige findes der ikke nationalt vedtagne regler for strukturtransmitteret støj fra "jernbanetrafik". Trafikforvaltningsmål for strukturtransmitteret støj er baseret på en tidligere lokalbestemmelse fra Stockholm (Miljöprogram 2000), jf. [2]. For strukturtransmitteret støj i eksisterende miljø er vurderingen af forstyrrelser i beboelsesrum, at $L_{pAmax,SLOW}$ 30 dB som udgangspunkt ikke bør overskrides. Ved nye anlæg skal det ved støjberegninger tilstræbes at ligge 3-5 dB(A) under grænseværdien. Målinger af strukturtransmitteret støj gennemføres ved at beregne den energimæssige middelværdi over de målte passager af det maksimale lydniveau med tidsvægtningen SLOW. Målingerne skal så vidt muligt dokumenteres med de tilhørende hastigheder på de enkelte passager. Retningslinjer indeholder også regler for skoler og plejefaciliteter, og hvor meget støj der er tilladt i parker, udendørs områder og vigtige fuglebeskyttelsesområder samt retningslinjer for vibrationer.

Trafikverket arbejder ud fra en guide/retningslinje om "Støj og vibrationer fra trafik på veje og jernbaner" [3], som er baseret på de retningslinjer for støj, som Rigsdagen har besluttet for nybyggede boliger eller for væsentligt ombygget infrastruktur. For ny infrastruktur er der opsat en vejledende grænse for tunneler på 32 dB for strukturtransmitteret støj om natten (22-06) (L_{maxF}). Denne må overskrides op til fem gange pr. nat.

For almindelig støj gælder om natten (kl. 22-06), at 45 dB (L_{maxF}) indendørs maksimalt må overskrides op til fem gange pr. nat. Støjniveauet 50 dB(A) må dog ikke overskrides regelmæssigt om natten.

Konklusion: Grænseværdi $L_{pAmax,SLOW}$ = 30 dB for eksisterende anlæg i beboelsesrum.
Grænseværdi (tilstræbt værdi) $L_{pAmax,SLOW}$ = 25-27 dB for nye anlæg i beboelsesrum.
Den anvendte indikator er ikke frekvensbegrænset, men gælder hele frekvensområdet.
Trafikverket tilstræber L_{maxF} = 45 dB overholdt om natten (alm. støj) og 32 dB for strukturtransmitteret støj.

Den svenske **Socialstyrelse** har udgivet en vejledning om støj indendørs, jf. [4], med anbefalinger til vurdering om støjen under forskellige betingelser, som kan forårsage sundhedsskadelige virkninger. Vejledningen er baseret på en kriteriekurve i frekvensområdet 31,5 Hz til 200 Hz og på uvægtede ækvivalentniveauer. Støjen må ikke overskride kriteriekurven i ét eller flere frekvensbånd. Der er ingen bemærkninger om tillæg for impulser eller kortvarige hændelser.

3.1.2 Norge

I Norge er standarden NS 8175, jf. [5], om lydklassifikation af boliger central. Strukturstøj fra tunneller defineres i Norge som værende støj fra tekniske installationer – hvilket anvendes i den normale lovgivning.

Bygninger inddeles i Norge (og Danmark) i 4 klasser opdelt på følgende måde:

Klasse A – svarer lydmæssigt til: Specielt gode lydforhold der berører personer, som kun undtagelsesvist bliver forstyrret af lyd og støj

Klasse B – svarer lydmæssigt til: Meget gode lydforhold, men berørte personer kan blive forstyrret af lyd og støj i en vis grad.

Klasse C – svarer lydmæssigt til: Tilfredsstillende lydforhold for en stor andel berørte personer.

Klasse D – svarer lydmæssigt til: Lydforhold, hvor en stor andel af berørte personer kan forventes at blive forstyrret af lyd og støj.

Konklusion: Specifikt angives, at grænseværdi for "kulverter" (underføring eller nedgravede tunneler) og tunneler under sove- og opholdsrum svarer til Klasse C, dvs. $L_{pAmax,FAST}$ = 32 dB(A). Det bemærkes, at for klasse B er tilsvarende grænseværdi skærpet 5 dB, dvs. $L_{pAmax,FAST}$ = 27 dB(A). Indikatoren er ikke frekvensmæssigt begrænset til lave frekvenser, men omfatter hele frekvensområdet.

For udendørs kilder, som ikke hører ind under tekniske installationer f.eks. anden trafik eller industri, er grænseværdierne indendørs (Klasse C) $L_{p,A,,24h}$ ≤ 30 dB(A) og i soverum om natten (kl. 23-07) $L_{pAmax,FAST}$ ≤ 45 dB. Kravet anses for overskredet, når der er *ti hændelser eller flere med et lydtrykniveau over grænseværdien*. Hvis varigheden af en begivenhed er lang, eller der er et særligt højt støjniveau fra en begivenhed, men antallet af hændelser er færre end ti, skal man stadig overveje, om støjforholdene er tilfredsstillende. I tillæg findes der grænser for lavfrekvent støj. Tillægget indeholder en tabel for, hvor grænseværdien for det A-vægtede, tidsmidlede lydtrykniveau $L_{p,A,t}$ aflæses i tabellen (uden at korrigere for impulslyde eller tonalitet). Ud for denne kan der aflæses maksimalværdier for 1/1-oktavbåndene 31,5 Hz, 63 Hz og 125 Hz. For en grænseværdi på 30 dB(A) er grænserne for de tre 1/1-oktavbånd hhv. L_{oct} 59, 46 og 41 dB. Tabellen er gengivet i Bilag 2.

Konklusion: For udendørs støjkilder (ikke tunneler mv.) er der for klasse C-boliger grænseværdier for støjens ækvivalentniveau på 30 dB om natten. For maksimalniveauer i soverum om natten er grænsen på $L_{pAmax,FAST}$=45 dB (hvis ti hændelser eller flere overskrider denne).

3.1.3 Storbritannien

I Storbritannien er der ikke fundet lovgivning, som definerer grænseværdier for vibrationsbåren støj. Dog er der anbefalinger til nye anlæg.

London Underground Limited (LUL) anvender den tilgængelige erfaring med klager fra eksisterende undergrunds- og jernbaner ved konstruktion af nye, underjordiske jernbaner.

Støjen fra nedgravede eller underjordiske jernbaner bør ikke anses for at være betydelig, hvis støjen transmitteret via undergrunden målt i en bolig ikke giver anledning til et gennemsnitligt maksimalt støjniveau, der overstiger $L_{pAmax,FAST}$ = 40 dB. Dette er baseret på en vurdering af mindst ti tog for den jernbanelinje, der vurderes. Metrolinjers to retninger (rør) bedømmes separat.

I erkendelsen af, at menneskers følsomhed over for støj kan variere markant, skal der under **planlægningen** gøres rimelige anstrengelser for at imødekomme et strengere krav på $L_{pAmax,FAST}$ = 35 dB. Støjniveauet refererer til den maksimale støj under køretøjets passage. Ved nybygning oven på tunneler skal konstruktionen udføres, så vibrationsstøjen minimeres. I planlægningsfasen skal der tilføjes en margin på 3-5 dB(A). jf. [6].

For distriktet London Borough of Richmond upon Thames er udgivet et "Supplementary Planning Document – Development Control for Noise Generating and Noise Sensitive Development", jf. [7]. Dokumentet er et supplerende dokument til lokalplanen og til den nationale politik indenfor støj- og vibrationsområdet. Det anbefales, at vibrationer fra metro- og jernbanelinjer samt andre kilder ikke giver anledning til strukturtransmitteret støj med niveauer indendørs, som overstiger $L_{pAmax,SLOW}$ på 35 dB(A).

Konklusion: Støjgrænse (LUL) $L_{pAmax,FAST}$ = 40 dB (mindst ti togpassager).

Projektering (LUL): $L_{pAmax,FAST}$ = 35 dB.

Lokal støjgrænse for London Borough of Richmond upon Thames: $L_{pAmax,SLOW}$ = 35 dB.

3.1.4 Tyskland

I Tyskland findes ikke nationale støj- eller vibrationsgrænser for metro- eller togstøj. Grænserne fastsættes i stedet enten per delstat, kommune eller by.

Regler for støj indendørs, fra *industri og kommercielle kilder* er beskrevet i [8]. Følgende grænseværdier L_r er defineret:

	Grænseværdi	Referencetidsrum
Dag (kl. 06-22):	35 dB(A)	16 timer
Nat (kl. 22-06):	25 dB(A)	1 time

Grænseværdier er angivet som L_r, dvs. et L_{Aeq} + tillæg for eventuelle toner eller impulser. Impulstillægget K_I kan være mellem 3 og 6 dB, jf. [8].

Kortvarige maksimalværdier må ikke overskride ovennævnte med mere end 10 dB(A).

Grænseværdierne er relateret til hele frekvensspektret og er ikke kun koncentreret om lavfrekvent støj. I forhold til lavfrekvent støj henvises til DIN 45680:1997, jf. [9]. I denne er støjen defineret som lavfrekvent støj, når det C-vægtede niveau er mindst 20 dB højere end det A-vægtede niveau baseret enten på ævkivalent- eller maksimalniveauer. Hvis støjen evalueres som lavfrekvent, analyseres der i 1/3-oktaver fra 10 Hz-80 Hz (i specielle tilfælde 8 Hz-100 Hz). Dette gennemføres både som et ækvivalentniveau og et maksimalniveau med tidsvægtning FAST for hvert 1/3-oktavbånd. Er der overskridelse af en kriteriekurve (baseret på loudnesskurver) i ét eller flere frekvensbånd, er det noteret i [8][9], at passende afværgeforanstaltninger skal undersøges.

Konklusion: Støjgrænse for kommercielle kilder: L_r = 35 dB/25 dB (dag, nat), +10 dB for maksimalværdier.
Tillæg for impulser og toner.
Der er kriterier for lavfrekvent støj (C-vægtet – A-vægtet værdi > 20 dB).

3.1.5 Australien

I Australien er der ingen nationale grænseværdier. Dog er der anbefalinger til støjniveauer i forbindelse med planlægning.

Fra en guideline udgivet af "State of New South Wales – EPA" om "Rail Infrastructure Noise Guideline", jf. [10], er følgende frit oversat fra engelsk.

Guiden tager udgangspunkt i vanskeligheden ved at reducere særlig strukturtransmitteret støj fra eksisterende anlæg. Der påpeges vigtigheden af at sikre, at der anvendes et passende niveau af dæmpning under design og konstruktion af underjordiske jernbaneprojekter.

Der er begrænset forskning for virkningerne af strukturtransmitteret støj, og information om praksis anvendt i udlandet er også mangelfuld. De faktorer, der kan påvirke reaktionen på strukturtransmitteret støj, inkluderer:

- Støjniveauet
- Hyppighed af passager
- Om området allerede er udsat for jernbanestøj
- Om området har lav baggrundsstøj.

Det konkluderes, at strukturtransmitteret støj ved eller under 30 dB(A) L_{Amax} ikke vil resultere i klager, selv når støjkilden er ny og forekommer i områder med lave støjniveauer i omgivelserne.

Niveauer på 35-40 dB(A) L_{Amax} anvendes mere typisk og er sandsynligvis tilstrækkelige til de fleste bymæssige bebyggelser selv ved et stort antal togpassager.

I praksis kan højere niveauer af strukturtransmitteret støj end grænseværdien til vurdering af påvirkninger være passende for byområder, hvor baggrundsstøjniveauet er relativt højt.

De anbefalede grænseværdier er givet ved et statistisk niveau ($L_{pAmax,SLOW}$), som ikke bør overskrides i 95 % af referencetiden målt med integrationstid SLOW:

Dag (kl. 07-22): $L_{A,95\%}$ (SLOW) = 40 dB(A)

Nat (kl. 22-07): $L_{A,95\%}$ (SLOW) = 35 dB(A)

For *industristøj* i New South Wales arbejdes der med et "Intrusive noise level", jf. [11]. Det er defineret som $L_{Aeq,15min}$ = Rating background noise level + 5 dB, hvor $L_{Aeq,15min}$ er det ævkivalente, kontinuerte (energimidlede) A-vægtede lydtryk fra kilden over 15 minutter, og Rating background noise level er baggrundsstøjniveauet uden kilden, bestemt ud fra L_{A90}-niveauer enten for langtidsmåling eller korttidsmåling på 15 minutter. Der er indført en korrektion for støj med generende karakterer såsom tonalitet, lavfrekvent støj og intermitterende støj. For lavfrekvent støj kan der være en korrektion på 2 dB (dag) eller 5 dB (nat). For intermitterende støj defineret som støj, der ved immissionspunktet varier mere end 5 dB(A), og lyden af støjen er tydeligt intermitterende, er tillægget på 5 dB og kun i natperioden. Det samlede tillæg kan ikke overstige 10 dB(A).

3.1.6 WHO

WHO anbefaler grænseværdier indendørs i boliger baseret på søvnforstyrrelser, gene og taleforstyrrelse. De anbefalede grænseværdier er for soveværelser 30 dB(A) L_{Aeq} for kontinuert støj og 45 dB(A) $L_{pAmax,FAST}$ for enkeltstående hændelser, jf. [12]. WHO noterer også, at L_{Aeq}-værdier ikke altid er tilstrækkelige til at karakterisere støjen eller til at vurdere de helbredsmæssige følger deraf. Det er lige så vigtigt at måle maksimalværdierne og antallet af støjhændelser, når støjgrænseværdier skal findes. Hvis støjen indeholder lavfrekvent energi, er endnu lavere grænseværdier nødvendige, fordi gene- og helbredseffekterne er større, når der er signifikant energi i det lavfrekvente frekvensområde i støjen. WHO giver en anbefaling til vurdering af, om der er tale om lavfrekvent støj baseret på forskellen mellem det C-vægtede eller lineært vægtede niveau og det A-vægtede niveau. Hvis forskellen overstiger 10 dB, vurderes det, at støjen indeholder signifikant lavfrekvent energi. WHO skriver desuden, at anvendelse af A-vægtning ved måling af lavfrekvent støj er uegnet.

3.1.7 Sammenfattende tabel med støjgrænser for forskellige lande

Værdierne i nedenstående tabel er en opsummering af de værdier, der er fundet i ovenstående gennemgang af andre landes regler og guidelines. Der er suppleret med værdier hentet fra [13].

	Indikator: A-vægtet lydtrykniveau i dB re 20 µPa						
Land	**$L_{pA,LF}$ [dB]**	**L_{Aeq} [dB]**	**$L_{pAmax,SLOW}$ [dB]**	**$L_{pAmax,FAST}$ [dB]**	**$L_{A5\%}$ [dB]**	**Relativt til baggrunds-støj (BG)**	**Kriteriekurve**
Danmark	25/20[1]						
Norge Lydklasse C		30[2]		32 45[3]	32[4]		Ja 31-125 Hz
Sverige		30	30	45/32[5]			Ja 31-200 Hz
Storbritannien			35[6]	35/40[6]			
Tyskland		25/30[7]		45/35[8]			Ja 10-80 (100) Hz
Australien			40/35[9]			BG+5dB[9]	
Belgien		28[10]					
Finland		30[11]					
Holland		25/35[12]					
WHO		30[13]		45[14]			

Tabel 1 *(1) 10 min. ækvivalentniveau i henholdsvis dagperioden kl. 07-18 og aften-/natperioden kl. 18-07. Impuls giver anledning til skærpelse af grænserne med 5 dB.*
(2) $L_{Aeq,24h}$. (3) Natværdi, kl. 23-07. (4) jf. [14]. (5) 45 dB for alm. støj om natten, 32 dB for strukturtransmitteret støj om natten (kun ny infrastruktur). (6) Henholdsvis ved projektering og for eksisterende anlæg. SLOW-værdi henviser til lokal anbefaling for London Borough of Richmont upon Thames. (7) Dag- og natværdier. De generelle regler for strukturtransmitteret støj inde i bygninger, hvis støjkilden er industri og kommerciel. Værdier må ikke overskrides med 10 dB. Se (8). Der gives tillæg for impulser K_I på 3-6 dB. (8) Dag- og natværdier. (9) $L_{A95\%}$ for dag- og natværdier (10) "Intrusive noise Level" relativt til baggrundsstøjniveau (11) Natværdier kl. 22-07. (12) Med tilstrækkelig ventilation; 25 er den foretrukne grænse, men op til 35 kan tillades. (13) $L_{Aeq,8h}$-værdi. (14) Baseret på søvnforstyrrelser [12].

3.2 Genevirkning

I dette afsnit vil de mest relevante artikler fundet i dette projekt opsummeres med et resume af hver artikel. De relevante observationer (relateret til kortvarige lavfrekvente støjhændelser) i artiklen vil også vil blive nævnt. Afsnittet afsluttes med en konklusion baseret på de videnskabelige artikler i dette afsnit.

"Proposed criteria for the assessment of low frequency noise disturbance", jf. [15]

I et studie fra University of Salford Manchester "Proposed criteria for the assessment of low frequency noise disturbance" er målet at anbefale en metode til at vurdere lavfrekvent støj til brug for miljømedarbejdere i Storbritannien. Studiet indeholder laboratorietests med 18 forsøgspersoner, hvor der blev fundet en tærskelgrænse ("threshold of acceptability") baseret på, at forsøgspersonerne skulle indstille lydniveauet af en lavfrekvent lyd til at acceptabelt niveau ("just-acceptable level) for dag- og natsituationer. Konklusionen og anbefalingen i studiet er en kriteriekurve baseret på ISO 226:2003 minus 5 dB, se Tabel 2.

Hz	**10**	**12,5**	**16**	**20**	**25**	**31,5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**
dB, L_{eq}	92	87	83	74	64	56	49	43	42	40	38	36	34

Tabel 2 *Kriteriekurve baseret på ISO 226:2003 minus 5 dB, jf. [15].*

I forhold til fluktuerende lyde blev det konkluderet, at for lyde, der fluktuerer mere end 4 dB (defineret som forskellen på L_{10}-L_{90}), og hvor den positive hældning for L_{pAF} i et 1/3-oktavbånd overstiger 10 dB/s, vil en straf på 5 dB være passende. Hvad der er uklart i undersøgelsen er, om de 5 dB skal fratrækkes kriteriekurven, eller om de 5 dB skal lægges til støjniveauet. Deres konklusion er dog, at det virker rimeligt, at kriteriekurven fastholdes, men at kriteriekurven hæves med 5 dB for stabile kontinuerte niveauer. Det vil sige, at for fluktuerende impulsagtige lyde er kriteriekurven ISO 226 (2003) minus 5 dB.

For de danske grænser på $L_{pA,LF,10min}$ på 20 dB(A) nat og 25 dB(A) dag, og 15 dB(A) nat og 20 dB(A) dag for lyde med impulskarakter omsat til en kriteriekurve ud fra den reciprokke A-vægtningskurve + grænseværdien vil kurven være jf. Tabel 3.

Grænse-værdi	**Hz**	**10**	**12,5**	**16**	**20**	**25**	**31,5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**
15 dB(A)	dB, L_{eq}	85,4	78,4	71,7	65,5	59,7	54,4	49,6	45,2	41,2	37,5	34,1	31,1	28,4
20 dB(A)	dB, L_{eq}	90,4	83,4	76,7	70,5	64,7	59,4	54,6	50,2	46,2	42,5	39,1	36,1	33,4
25 dB(A)	dB, L_{eq}	95,4	88,4	81,7	75,5	69,7	64,4	59,6	55,2	51,2	47,5	44,1	41,1	38,4

Tabel 3 *Omsætning af de danske grænseværdier til en kriteriekurve.*

”Laboratory Evaluation of Annoyance of Low Frequency Noise”, jf. [16]

Dette projekt er udformet af Institut for Akustisk Teknologi på DTU og Miljøstyrelsen i år 2000 [16]. Projektets formål var at undersøge genevirkningen af en række eksempler på lavfrekvent støj. Det er baseret på lytteforsøg, hvor forsøgspersoner vurderede en række eksempler på lavfrekvent støj med hensyn til lydstyrke og oplevet gene. Forsøgsgruppen bestod af 18 unge mennesker, der blev udsat for 8 forskellige støjeksempler, hvoraf 1 af eksemplerne vurderes som værende intermitterende (en forbisejlende færge) og 2 af eksemplerne som impulsagtig (smedehammer, hvor lyden var strukturtransmitteret gennem jorden, samt diskoteksmusik med impulsagtige trommer, også strukturtransmitteret gennem en bygning). Genevirkningen blev sammenholdt med 7 vurderingsmetoder til brug for lavfrekvent støj. Udover den danske vurderingsmetode, jf. [1], blev en svenske metode og den tyske metode DIN 45680, jf. [9], benyttet tillige med en polsk og to hollandske vurderingsmetoder. Endelig blev støjens C-vægtede lydtrykniveau brugt som parameter. Den danske metode giver den bedste sammenhæng med den subjektive vurdering, og det tyder på, at en vigtig egenskab ved metoden er, at grænseværdien skærpes med 5 dB, når der er tale om impulsagtig, lavfrekvent støj. Udpluk fra rapporten viser, at ved en genevurdering på en skala fra 0 (ikke generende) til 10 (stærkt generende), så er genen af fx kontinuert trafikstøj med et niveau på 35 dB vurderet til 5,2, hvor støjen bestående af impulser fra en smedehammer med et niveau på 27,5 dB (dvs. 7,5 dB lavere) er vurderet til 5,9; altså mere generende end trafikstøj, men med et lavere niveau. Smedehammeren er desuden vurderet som den type støj, der har den højeste genevurdering med 6,9 ved 35 dB. For den strukturtransmitterede diskoteksmusik med impulsagtige trommer er genevurderingen ved 27,5 dB på 5,4. Dvs. 0,2 højere end den vurderede gene af kontinuert trafikstøj ved 35 dB (7,5 dB højere). For den intermitterende støj (forbisejling af en færge) er den vurderede gene mere lig med de kontinuerte kilder.

Undersøgelsen indikerer altså, at der er god grund til at skærpe de lavfrekvente grænseværdier med 5 dB, når der er tale om impulser, men også at det bør undersøges yderligere, om en 5 dB-skærpelse er nok, når støjen består af eller indeholder lavfrekvente impulser. For korte lavfrekvente hændelser, som ikke kvalificeres som impulser, er det mere usikkert, om en skærpelse af grænseværdierne er relevant.

“The relation between psychoacoustical factors and annoyance under different noise reduction conditions for railway noise”, jf. [17]

Det østrigske studie omhandler to psykoakustiske eksperimenter, hvor forholdet mellem støjgene og togpassager (både fra gods- og passagertog), det A-vægtede lydtrykniveau angivet som $L_{Aeq,3sek}$ og peak hørestyrkeniveauet (loudness) som L_{N5} undersøges. Det første eksperiment undersøger støjgenen som funktion af $L_{Aeq,3sek}$. Her ses en klar lineær sammenhæng mellem gene og $L_{Aeq,3sec}$-værdier. Studiet viser, at genebedømmelserne fordobles for hver 14 dB af $L_{Aeq,3sek}$ uafhængigt af togtype. Derudover viser data, at genebedømmelserne er større, når den højfrekvente del af støjen er filtreret fra, dvs. de optagelser, som har et mere lavfrekvent indhold, bedømmes relativt mere generende. Genebedømmelserne er efterfølgende også blevet analyseret som en funktion af peak hørestyrkeniveau L_{N5}. L_{N5} viser sig at være en bedre deskriptor end $L_{Aeq,3sek}$ til at forudsige genen.

I det andet eksperiment blev genetærsklen for togpassagerne undersøgt. Genetærsklen er den ændring, der skal til, før en person oplever en mærkbar ændring i genen. Genetærsklen blev som i eksperiment 1 både undersøgt med parameteren $L_{Aeq,3sec}$ og L_{N5}. Genetærsklen ændrer sig ikke signifikant for de to akustiske parametre.

Studiet viser ikke, om korte, lavfrekvente hændelser er mere generende end kontinuert lavfrekvent støj. Det der kan konkluderes er, at L_{N5} er en metode, der bør undersøges ift. at bedømme gene af togpassager, samt at genen er højere ved samme lydtrykniveau, når støjen primært er lavfrekvent.

"Railway noise annoyance modeling: accounting for noise sensitivity and different acoustical features", jf. [18]

Dette franske studie er baseret på 23 togpassager optaget udendørs, men afspillet for 22 deltagere i et lytterum med niveauet mellem 42,5 dB(A) – 73,5 dB(A) L_{Aeq} med instruktioner til deltagerne om, at de skulle forestille sig at være hjemme. Det er ikke specificeret, om det er hjemme udendørs eller indendørs. Studiet kommer frem til, at en metode baseret på L_{Aeq} + en korrektion for amplitudefluktuationer i støjen baseret på 2 parametre, hvor støjens varighed hhv. indgår eller ikke indgår.

Relevante fund i denne artikel er bl.a., at længden af togpassagerne ikke havde signifikant betydning for støjgenebedømmelsen. Dog viste det sig, at længden af amplitudefluktuationerne havde en indflydelse på vurderet gene, og indekser, som udtrykte graden af amplitudefluktuationer, viste sig alene at være korreleret med genen. Derudover var både det energiækvivalente støjniveau L_{Aeq} og hørestyrken N stærkt korreleret med genebedømmelserne. L_{AE} (angivet som Single event noise exposure L_{AX} i artiklen) viste sig ikke at være korreleret med støjgenen. Afstanden fra jernbaneskinnerne til modtager viste sig heller ikke at have en betydende effekt på støjgenen (spænd på 3-64 m i byområdet).

"Short-term noise annoyance assessment in passenger compartments of high-speed trains under sudden variation", jf. [19]

Kun enkelte brugbare fund i dette studie fra Korea. For ikke stationære lyde (som fx togpassager) var støjgenen højere end for stationære lyde på trods af samme energiækvivalente lydtrykniveau.

"Self-reported sleep disturbances due to railway noise: Exposure-response relationships for nighttime equivalent and maximum noise levels", jf. [20]

Formålet med dette norske studie er at undersøge selv-rapporteret søvnforstyrrelse grundet jernbanestøj. Støjen er udtrykt som det ækvivalente lydtrykniveau målt om natten $L_{p,A,eq,night}$ ($L_{Aeq,\ night}$)og det maksimale lydtrykniveau $L_{p,A,max,FAST}$ ($L_{Amax,Fast}$). Undersøgelsen er baseret på 1349 mennesker omkring Oslo, som er udsat for jernbanestøj, hvor både søvnforstyrrelser, søvnproblemer grundet støj og personlige karaktertræk inklusive støjfølsomhed blev studeret i en tværgående undersøgelse. Støjen er bestemt tre steder: for hvert soveværelse uden for facaden, for hver facade som var mest udsat for støjen i boligen samt indenfor hos respondenten i soveværelset. Dosis-responsforholdet er kontrolleret for evt. mulige influerende faktorer, bl.a. antal togpassager.

Relevant i denne artikel er bl.a., at der ved indendørs niveauer observeres signifikant flere rapporteringer af vækninger om natten, når $L_{p,A,eq,night} \geq$ 25-29 dB og $L_{p,A,max,FAST} \geq$ 50-54 dB sammenlignet med referenceværdierne på henholdsvis $L_{p,A,eq,night} <$ 10 dB og $L_{p,A,max} <$ 30 dB. Disse værdier skal ikke ses som tærskler for, hvornår folk bliver vækket af togstøj, men hvornår støjniveauer giver en signifikant stigning i sandsynligheden for rapportering af støjforårsagede søvnproblemer sammenlignet med referenceværdierne (det laveste kategoriseret støjniveau fra tog). Dette studie fandt en høj korrelation mellem de to værdier, $L_{p,A,eq,night}$ og $L_{p,A,max}$, og ved en stigning af begge værdier ses en stigning af antallet af rapporterede søvnproblemer og -forstyrrelser. Både støjfølsomhed, vinduestype i soveværelset og frekvensen af togpassagerne var signifikante faktorer, som havde indflydelse på støjforårsagede søvnproblemer udover støjniveauet i sig selv.

"A field study of effects of road traffic and railway noise on polysomnographic sleep parameters", jf. [21]

Dette norske studie har undersøgt effekten på søvn fra vej- og jernbanetrafik om natten. 40 sunde mennesker blev udvalgt til at være med i undersøgelsen, hvori polysomnografi (PSG[1]) er blevet udført for hver testperson to dage i træk i deres eget soveværelse. Støjmålinger blev udført udenfor facaden såvel som indenfor i hver af deltagernes soveværelse. Forskellige støjparametre blev beregnet ($L_{Aeq,night}$, $L_{pA,max,FAST,night}$ og $L_{pAF5,night}$) og analyseret i relation til forskellige nattesøvnsparametre. Nat(night)angivelsen er referencetidsrummet og bestemt som den periode, personen har ligget i sengen om natten. Gruppen, som var eksponeret for jernbanestøj, havde signifikant mindre Rapid Eye Movement (REM)-søvn end gruppen, som var eksponeret for vejtrafikstøj. En signifikant sammenhæng mellem $L_{pAFmax,night}$ af jernbanestøj og tid brugt i REM-søvn blev fundet. REM-søvn var signifikant kortere, når det maksimale lydniveau $L_{pAFmax,night}$ fra jernbanen var over 50 dB inde i soveværelset sammenlignet med, når $L_{pAFmax,night}$ var under 50 dB. Denne undersøgelse er understøttet af tidligere laboratorieundersøgelser, hvori det også blev fundet, at jernbanestøj har en større indflydelse end vejtrafikstøj på fysiologiske parametre under søvn. Det maksimale lydtryk $L_{pAmax,FAST,night}$ er en vigtig forudsigende parameter af støjeffekter på søvn bedømt ud fra PSG, i hvert fald for jernbanestøj. Antallet af støjhændelser fra togene viste dog kun at have en svag sammenhæng med søvnparametrene. Artiklen påpeger, at dette modsiger andre artikler, da de netop har fundet frem til, at togpassagefrekvensen har signifikant betydning for søvnen, jf. [22], [23].

"Annoyance and self-reported sleep disturbance due to night-time railway noise examined in the field", jf. [24]

Formålet med dette tyske studie var at finde dosis-responsforholdet mellem jernbanestøj om natten og genevirkningen samt at få viden om subjektive søvnforstyrrelser. Undersøgelsen er et feltstudie med 33 personer, der alle boede i nærheden af en jernbane i Køln/Bonn-området, hvor der kører en stor andel godstog – de fleste eldrevne. Støjgenen er evalueret på en 5-punktsskala, og støjgenerne skyldtes hovedsageligt godstog, som havde større varighed, maksimalniveau og lavfrekvent støj end passagertog. Forfatterne fremhæver ud fra resultaterne, at for søvnforstyrrelser er antallet af forstyrrelser/begivenheder (togpassager) en bedre støjindikator end middelstøjniveauet (L_{Aeq}), hvilket begrundes med de basale egenskaber ved menneskets hørelse, som påvirkes af hurtige forandringer i omgivelserne snarere end langtidspåvirkninger (L_{Aeq}).

Det indikerer altså, at for kortvarige hændelser om natten (og i ovenstående situation hvor passagen af godstog også indeholder meget lavfrekvent energi) har antallet af hændelser/forstyrrelser større betydning for søvnforstyrrelser end det energiækvivalente niveau over tid.

"A survey on exposure-response relationships for road, rail, and aircraft noise annoyance: Differences between continuous and intermittent noise", jf. [25]

Formålet med dette schweiziske studie var at etablere dosis-responskurver, som reflekterer procentdelen af stærkt generet (%HA) som funktion af vej-, jernbane- og flystøj (transportstøj), målt som L_{den} (sammenvejning af støj i tidsperioderne dag, aften og nat) og ydermere belyse, i hvilken grad den akustiske indikator Intermittency Ratio (IR), som reflekterer, hvor hændelsesrig lyden er, forudsiger støjgene. Kort fortalt er IR en procentsats, som indikerer, hvor meget af energien i den totale dosis, der består af forbikørselshændelser, altså en kortvarig hændelse (dog uden fokus på frekvensindholdet).

[1] Ved polysomnografi registreres søvnen ved hjælp af en bærbar optager, som optager den elektriske aktivitet i hjernen (EEG), øjenbevægelser, muskelaktivitet, vejrtrækning, iltindholdet i blodet samt hjerterytmen.

Der blev udført en undersøgelse med en repræsentativ population i en stratificeret tilfældig stikprøve af 5592 beboer, som var eksponeret for transportstøj i Schweiz. Studiet er altså baseret på spørgeskemaundersøgelser og ikke lyttetests. Kildebestemt støj var beregnet for hver etage og hver facade baseret på omfattende trafikdata. Støjgene var målt ved brug af ICBEN 11-pointsskala. Undersøgelsen blev udført i fire omgange på forskellige tidspunkter af året. Det blev antaget, at udover L_{den} ville en effekt på støjgene være bedre forklaret, når man også tog intensiteten af kortvarige variationer af støjniveauet over tid i betragtning.

Derfor blev den akustiske indikator IR inkluderet i den statistiske model. For alle tre slags støjkilder viste resultaterne, at der var signifikant sammenhæng mellem L_{den} og %HA efter kontrol af andre faktorer, såsom alder, køn etc. (confounders) og selvstændige indikatorer såsom IR (målt over 24 timer), effekt af andre kilder til transportstøj, køn og alder, sprog, uddannelsesniveau, temperatur, adgang til stille side af boliger m.m.

Resultaterne viste, at støj fra fly scorede markant højere støjgene (%HA) end støj forbundet med jernbane og vejtrafik for samme L_{den}-niveau. Jernbanestøj frembragte en smule højere %HA end vejtrafik. Resultaterne viste også, at for vejtrafikstøj har IR en effekt på %HA, og at en lav IR kan forklare en stigning i dosisresponskurven på op til 6 dB for vejtrafik med hhv. lav og høj IR. Høj IR kan f.eks. forekomme, når der opstår korte perioder uden trafik på vejen. Dvs.: vejtrafikstøj med konstant trafik er mere generende end vejtrafikstøj med varierende trafik. Indvirkningen af IR-indikatoren på %HA var generelt svagere for scenariet med jernbanestøj og endda slet ikke forbundet med flystøj.

4 Sammenfatning og konklusion

Regler, guidelines og støjgrænser

En gennemgang af forskellige landes **regler og grænseværdier**, som kan anvendes for kortvarige, lavfrekvente hændelser, efterlader et indtryk af, at der ikke er mange fællestræk. Danmark har som et af de eneste lande specifikke foreslåede grænseværdier for lavfrekvent støj målt som A-vægtet energimiddelværdi over 10 min. med 5 dB skærpelse for impulsholdig karakter. I Norge, jf. [5], findes der kriterier for antal hændelser (maksimalt 10) for udendørs aktiviteter (veje, jernbaner, industri) og en særlig kriteriekurve for 1/1-oktavfrekvensbåndene 31,5, 63 og 125 Hz med maksimalværdier for 1/1-oktavbåndene. Disse er knyttet til lavfrekvent støj i boligmiljøet i forbindelse med lydklassedefinitioner. I Sverige har Socialstyrelsen anbefalede kriteriekurver for støjen mellem 31,5 Hz og 200 Hz.

Det er karakteristisk, at de fleste af de undersøgte lande har regler for maksimalværdier svarende til L_{pAmax} bestemt med hhv. tidsvægtning FAST eller SLOW. I Norge er der for en anlægssituation anvendt $L_{A5\%}$, som betegner det støjniveau, der er overskredet i 5 % af tiden, og som også kan betragtes som en middelværdi af de 5 % højeste støjniveauer. Anvendelse af $L_{A5\%}$ har den fordel, at værdien konvergerer, så bestemmelsen kommer tættere og tættere på den sande værdi, mens maksimalværdier ikke nødvendigvis konvergerer, men afhænger af antallet af midlede hændelser og hvornår de forekommer.

I New South Wales i Australien anvendes begrebet "Intrusive Noise Level", hvor grænseværdien er defineret som et niveau over baggrundsstøjniveauet baseret på målinger af $L_{Aeq,15min}$ (baggrundsstøjen kan også bestemmes ud fra målinger af $L_{A90\%}$). Hvis der er tale om lavfrekvent støj korrigeres kildestøjen med 2 dB om dagen og 5 dB om natten.

Sammenfattende kan det siges, at følgende indikatorer og kriterier tilgodeses i de undersøgte lande:

- Maksimalværdien (integrationstid SLOW, FAST eller som statistisk niveau $L_{A5\%}$)
- Kriterieværdier i de enkelte oktaver eller 1/3-oktaver ved de laveste frekvenser
- Tillæg for impulskarakter
- Antallet af hændelser.

Genevirkning

Litteraturstudiet af genevirkning af kortvarige, lavfrekvente hændelser viser, at den danske skærpelse af grænseværdierne med 5 dB i forbindelse med impulser kan retfærdiggøres. Der er dog indikationer i studierne, som gør, at det bør undersøges, hvorvidt en skærpelse på 5 dB er nok.

I forhold til kortvarige, lavfrekvente hændelser, som relaterer sig til forbikørselsstøj (der ikke kan karakteriseres som en impuls), viser artiklerne mere blandede resultater.

En generel konklusion blandt flere af studierne er, at antallet og frekvensen af hændelser har indvirkning på den oplevede gene og også indvirkning på søvn, hvis det er støj om natten. Herudover er det også generelt, at metoder, som tager hensyn til den tidsmæssige variation, viser den bedste korrelation med den oplevede gene. I forhold til søvnforstyrrelser er maksimalniveauer en god metode.

Det kan også konkluderes, at analyser af kortvarige, lavfrekvente hændelser er komplekse. Definitionen er i dette tilfælde bred, og der kan være forskel på, om en metode er anvendelig til analyse af både impulser og forbikørsler som eksempler på to kortvarige, lavfrekvente hændelser, hvor de uafhængige variabler kan være vidt forskellige. Det er heller ikke givet, at en metode korrelerer med både genevirkning i dag-/aftentimer og søvnforstyrrelser om natten.

Eksempler på uafhængige variabler i analysen af kortvarige, lavfrekvente hændelser:

- Repetitionen af hændelser, herunder om frekvensen af hændelser er konstant eller varierende
- Frekvensindhold
- Stejlhed og henfaldstid
- Tydeligheden (relativt til baggrundsstøjen)
- Varighed.

Litteraturstudiet af kortvarige, lavfrekvente hændelser efterlader et indtryk af et sparsomt antal tilgængelige undersøgelser, artikler, rapporter mv., hvilket indikerer, at det er et område, som bør undersøges yderligere.

5 Referencer

[1] Miljøstyrelsen, "Lavfrekvent støj, infralyd og vibrationer i eksternt miljø, vejledning nr. 9/1997." .

[2] Trafikverket, "Riktlinjer Buller och vibrationer," vol. 1, no. 96, 2015.

[3] Trafikverket, "Buller och vibrationer från trafik på väg och järnväg", TDOK 2014:1021.

[4] Socialstyrelsen, *Buller: Höga ljudnivåer och buller inomhus*. 2008.

[5] Norsk Standard, "Lydforhold i bygninger - Lydklasser for ulike bygningstyper".

[6] L. Underground, "Noise and Vibration Asset Design Guidance," no. April, pp. 1–10, 2015.

[7] L. B. of R. upon Thames, "Supplementary Planning Document (SPD) - Development Control for Noise Generating and Noise Sensitive Development," 2018.

[8] D. Bundesregierung, "TA Lärm, "Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm)"," pp. 1–9, 2020.

[9] DIN Deutsches Institut für Normung, "Measurement and evaluation of low-frequency environmental noise," vol. 32, no. 7, pp. 14–21, 1997, doi: 10.2115/fiber.32.7_P243.

[10] State of NSW and Environment Protection Authority, "Rail infrastructure noise Guideline," 2013.

[11] Environment Protection Authority, "Noise Policy for Industry," 2017.

[12] B. Berglund and T. Lindvall, *Community Noise*. 1995 / WHO Guideline for Community Noise 1999.

[13] M. van den Berg *et al.*, "DOSE-EFFECT RELATIONSHIPS FOR NIGHT TIME NOISE," 2004.

[14] Holmestrand kommune, "Detalj- og reguleringsplan Holmestrand- Nykirke - Program for miljøoppfølging i anleggsperioden - Holmestrand kommune," 2011.

[15] A. Moorhouse, D. Waddington, and M. Adams, "Proposed criteria for the assessment of low frequency noise disturbance," Manchester, 2005.

[16] T. Poulsen and F. R. Mortensen, "Laboratory Evaluation of Annoyance of Low Frequency Noise," 2002.

[17] C. H. Kasess, T. Maly, P. Majdak, and H. Waubke, "The relation between psychoacoustical factors and annoyance under different noise reduction conditions for railway noise," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 141, no. 5, pp. 3151–3163, 2017, doi: 10.1121/1.4982878.

[18] P.-A. Vallin, C. Marquis-Favre, J. Bleuse, and L.-A. Gille, "Railway noise annoyance modeling: Accounting for noise sensitivity and different acoustical features," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 144, no. 6, pp. 3381–3390, 2018, doi: 10.1121/1.5082296.

[19] B. Park, J. Y. Jeon, S. Choi, and J. Park, "Short-term noise annoyance assessment in passenger compartments of high-speed trains under sudden variation," *Appl. Acoust.*, vol. 97, no. October 2018, pp. 46–53, 2015, doi: 10.1016/j.apacoust.2015.04.007.

[20] G. M. Aasvang, T. Moum, and B. Engdahl, "Self-reported sleep disturbances due to railway noise: Exposure-response relationships for nighttime equivalent and maximum noise levels," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 124, no. 1, pp. 257–268, 2008, doi: 10.1121/1.2932074.

[21] G. M. Aasvang, B. Øverland, R. Ursin, and T. Moum, "A field study of effects of road traffic and railway noise on polysomnographic sleep parameters," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 129, no. 6, pp. 3716–3726, 2011, doi: 10.1121/1.3583547.

[22] M. Vernet, "Comparison between train noise and road noise annoyance during sleep," *J. Sound Vib.*, 1983, doi: 10.1016/0022-460X(83)90571-0.

[23] E. Öhström and R. Rylander, "Sleep disturbance by road traffic noise-A laboratory study on number of noise events," *J. Sound Vib.*, 1990, doi: 10.1016/0022-460X(90)90570-P.

[24] S. Pennig *et al.*, "Annoyance and self-reported sleep disturbance due to night-time railway noise examined in the field," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 132, no. 5, pp. 3109–3117, 2012, doi: 10.1016/j.jtbi.2008.09.025.

[25] M. Brink *et al.*, "A survey on exposure-response relationships for road, rail, and aircraft noise annoyance: Differences between continuous and intermittent noise," *Environ. Int.*, vol. 125, no. January, pp. 277–290, 2019, doi: 10.1016/j.envint.2019.01.043.

Bilag 1 Begreber

$L_{Aeq,t}$: Middelværdien af støjen i tidsperioden t. Midlingstiden er typisk 10, 30 og 60 minutter. For nogle typer støj er midlingstiden 8 timer. Tidligere benyttede man også 24 timer som midlingstid for tog- og vejstøj. Det er underforstået, at målingerne/beregningerne af $L_{Aeq,t}$ foregår med tidsvægtningen FAST. L_{Aeq} dækker det hørbare område fra ca. 20-20.000 Hz. A'et betyder, at støjen er A-vægtet (se afsnittet A-vægtning herunder). Eq betyder, at der er tale om en værdi, der er ækvivalent med middelværdien af støjen i perioden t.

Tidsvægtning FAST og SLOW: Disse begreber beskriver, hvor hurtigt lydtrykmåleren kan registrere ændringer i lydtrykniveauet. FAST har en (effektiv) midlingstid på 250 millisekunder (tidskonstant: 125 ms) og er den mest benyttede i forbindelse med miljøstøj. Tidsvægtning SLOW har en effektiv midlingstid på 2 sekunder (tidskonstant: 1 sek.). Tidligere – og før lydtrykmålere løbende kunne måle og beregne L_{Aeq} – var SLOW-indstillingen en måde at få nålen i viserinstrumentet til at bevæge sig med en hastighed, så lydniveauet lettere kunne aflæses. SLOW benyttes i dag i Danmark til at angive maksimalværdien for togstøj (L_{Amax}) og indenfor vibrationsmåling af helkropsvibrationer som gulves svingninger. Andre tidsvægtninger benyttes indenfor bl.a. skudstøj.

$L_{pAmaxFAST}$ ($L_{pAF,max}$, $L_{Amax,FAST}$): Det maksimale niveau målt med lydtrykmåleren indstillet med tidsvægtning FAST. Denne værdi benyttes for bl.a. industristøj, hvor det normalt er en del af grænseværdierne/vilkårene, at $L_{pAmaxFAST}$ i natperioden i boligkvarterer ikke må overstige grænseværdien for L_{Aeq} med mere end 15 dB. Dette skal sikre naboerne mod at blive vækket af få kortvarige, støjende hændelser, der kun bidrager lidt til L_{Aeq}.

$L_{pA,LF}$: Det A-vægtede støjniveau i det lavfrekvente område 10-160 Hz. I praksis er der tale om L_{Aeq} (middelværdien) i det nævnte lavfrekvente område. Hvis der ikke er (særligt meget) lydenergi uden for dette område, er L_{Aeq} og $L_{pA,LF}$ omtrent ens. Dette er fx gældende for støjen fra metrotogene målt i boligerne over tunnelrørene: Kun lidt lydenergi over ca. 200-300 Hz høres i boligerne. I Danmark er referencetidsrummet for $L_{pA,LF}$ på 10 minutter.

L_r: r står for Rating (level), dvs. L_{Aeq} korrigeret for eventuelle tillæg som følge af støjens karakter, f.eks. indhold af toner og/eller impulser.

$L_{A5\%}$: Det A-vægtede støjniveau L_{pA}, der er overskredet i 5 % af tiden. Benyttes af og til at angive niveauet af en støjhændelse (hvilket også L_{10} benyttes til).

$L_{A95\%}$: Det A-vægtede støjniveau L_{pA}, der er overskredet i 95 % af tiden. Benyttes af og til at angive et estimat af baggrundsstøjniveauet "mellem" støjhændelser.

L_{den}: En sammenvejning af støj i tidsperioderne, dag, aften og nat, hvor der inden sammenvejningen tillægges et "genetillæg" på 5 dB til støjen i aftenperioden og 10 dB til støjen i natperioden.

Bilag 2 Vurdering av spesielt forstyrrende lydkomponenter i 1/1-oktavbånd

NS 8175:2019

Tillegg A
(normativt)

Vurdering av spesielt forstyrrende lydkomponenter i 1/1-oktavbånd

For å bestemme forstyrrende lydkomponenter innendørs fra tekniske installasjoner utføres målinger i 1/1-oktavbånd etter NS-EN ISO 16032, i tillegg til målinger av frekvensveide lydtrykknivåer. Tids- og rommidlede verdier av de enkelte 1/1-oktavbåndnivåer sammenlignes med grenseverdier i Tabell A.1.

Finn gjeldende grenseverdi for $L_{p,A,T}$ i tabellen for den aktuelle bygningstypen som er gitt i dette dokumentet. Velg denne grenseverdien fra venstre kolonne i Tabell A.1 uten å korrigere for impulslyder og tonekarakter. Tilhørende grenseverdier i 1/1-oktavbåndene 31,5 Hz, 63 Hz og 125 Hz er gitt på samme rad. Se også bestemmelser for lydnivå i 5.4.

Tabell A.1 – Verdier for A-veid tidsmidlet lydtrykknivå $L_{p,A,T}$, relatert til høyeste verdier av tidsmidlet lydtrykknivå i 1/1-oktavbånd L_{oct}

Grenseverdi $L_{p,A,T}$ dB	Høyeste tidsmidlede lydtrykknivå i 1/1-oktavbånd L_{oct} dB		
	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz
18	57	41	29
19	58	41	30
20	59	41	31
21	59	41	32
22	59	41	33
23	59	41	34
24	59	41	35
25	59	41	36
26	59	42	37
27	59	43	38
28	59	44	39
29	59	45	40
30	59	46	41
31	59	47	42
32	59	48	43
33	59	49	44
34	59	50	45
35	59	51	46