

Miljøstyrelsen
Frank Pedersen & Jesper Mogensen
Strandgade 29
1401 København K

DELTA
Venlighedsvej 4
2970 Hørsholm
Telefon: +45 72 19 40 00
reflab@delta.dk
www.referencelaboratoriet.dk

12. februar 2014
PFI/CB/THP/ilk
J. nr.: RL 1/14 Rev. 1
Revideret 12. juni 2014

Bestemmelse af jernbanevibrationer

I forbindelse med Banedanmarks etablering af en beregningsmetode til bestemmelse af vibrationsniveauer fra jernbaner blev der afholdt et møde mellem Banedanmark og Miljøstyrelsen den 30. januar 2014, hvor der blev drøftet grænseværdibetragtninger for vibrationer fra jernbaner.

Miljøstyrelsen har efter mødet bedt Referencelaboratoriet, som deltog i mødet, udarbejde et oplæg om bestemmelse af vibrationer fra jernbaner - for eventuelt at præcisere de eksisterende vejledninger og orienteringer om emnet.

Grænseværdier for vibrationer fra jernbaner er behandlet i:

- Orientering fra Miljøstyrelsen 9/1997: "Lavfrekvent støj, infralyd og vibrationer i eksterne miljø" der er den seneste officielle orientering/vejledning fra Miljøstyrelsen om vibrationer.
- Referencelaboratoriets Orientering nr. 10/1989: "Vibrationer fra jernbaner".
- Nyt fra Miljøstyrelsen NFM 2/1983: "Retningslinier for måling og vurdering af vibrationer i det eksterne miljø".

Herudover gælder Miljøstyrelsens vejledning 1/1997: "Støj og vibrationer fra jernbaner" samt tillæg hertil fra 2007, men denne henviser hovedsageligt til NFM 2/1983, når det drejer sig om vibrationer.

Referencelaboratoriets overvejelser om grænseværdier for jernbanevibrationer omfatter i denne sammenhæng ikke beregningsmetoden, men alene hvilke målestørrelser der indgår ved bestemmelse af vibrationsniveauerne.

Miljøstyrelsens grænseværdi er en maksimalværdi af L_{aw} - det KB-vægtede accelerationsniveau med tidsvægtning Slow. Den højeste værdi af L_{aw} betegnes $L_{aw,max}$.

I mange situationer og ved mange anvendelser kan det være mest relevant direkte at benytte definitionen fra Orientering 9/1997, afsnit 4.4, hvor det fastslås, at "Miljøstyrelsen finder det sandsynliggjort, at der foreligger en væsentlig ulempe fra vibrationer, såfremt en konkret måleværdi overskrider den pågældende grænseværdi...". Det vil sige: hvis blot én måleværdi er over grænseværdien, er det at betragte som en væsentlig ulempe.

For jernbanegenererede vibrationer har der været lidt varierende tolkninger af kravet til antal registrerede togpassager for korrekt bestemmelse af $L_{aw,max}$.

En medvirkende årsag til de forskellige tolkninger er utvivlsomt, at målestørrelsen $L_{aw,max}$ i sig selv er en maksimalværdi, så når der refereres til "maksimalværdier", kan der være tvivl, om der refereres til målestørrelsen $L_{aw,max}$ eller de maksimale forekomster af denne.

Af Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 9/1997, s. 36 fremgår:

"Hvor vibrationer forekommer tilfældigt eller som adskilte impulser, angives et tilstrækkeligt antal maksimalværdier (og den tilsvarende driftstilstand) til, at der kan fastlægges et ofte forekommende, højeste maksimalniveau. For fx vibrationer fra jernbaner benyttes det gennemsnitlige maksimalniveau (aritmetisk middelværdi) fra 5 passager af den togtype, som giver anledning til det højeste niveau".

For vibrationer, der ikke stammer fra tog, skal der altså måles et tilstrækkeligt antal $L_{aw,max}$ (der benævnes ”maksimalniveauer”) til, at der kan fastlægges et ”ofte forekommende højeste maksimalniveau”. Dvs. det måleresultat, der skal sammenlignes med grænseværdien, er altså ofte forekommande højeste værdier af $L_{aw,max}$. Man må derfor antage, at ”maksimalniveauer” i denne tekst er synonymt med $L_{aw,max}$.

Den sidste sætning fra det citerede afsnit, som vedrører jernbaner, kan skrives som følger:

For fx vibrationer fra jernbanetrafik benyttes den aritmetiske middelværdi af $L_{aw,max}$ for den togtype, som giver anledning til det højeste niveau.

Hvis der holdes fast i systematikken i tolkningen af sidste sætning i afsnit 2 i Referencelaboratoriets Orientering nr. 10/1989: ”I forbindelse med fluktuerende vibrationer, som f.eks. fra jernbaner, anvendes grænseværdierne på den gennemsnitlige maksimalværdi for den type tog, der forekommer jævnlige og giver anledning til de kraftigste vibrationer (middel af 3-5 forekomster)”, betyder dette:

I forbindelse med fluktuerende vibrationer, som f.eks. fra jernbaner, anvendes grænseværdierne på den gennemsnitlige $L_{aw,max}$ for den type tog, der forekommer jævnlige og giver anledning til de kraftigste vibrationer (middel af 3-5 forekomster).

Det antages således, at når der ikke bruges udtrykket ”højeste maksimalniveau”, men bare ”maksimalværdier” er det ikke hensigten, at man både skal måle på den togtype med de højeste $L_{aw,max}$ -værdier og derefter finde de 3-5 højeste af disse. Det bemærkes, at rent måleteknisk er gennemsnittet af 3-5 forekomster af $L_{aw,max}$ for den type tog, der forekommer jævnlige og giver anledning til de kraftigste vibrationer, også mest attraktivt, fordi gennemsnittet er et såkaldt centralt estimat på middelværdien af $L_{aw,max}$ for den givne togtype, og derfor statistisk set en mere robust og veldefineret størrelse end de 3-5 højeste værdier af $L_{aw,max}$.

Referencelaboratoriet finder derfor:

1. Det er den togtype, som giver anledning til det højeste vibrationsniveau, der er bestemmende for vibrationsgenererne. I en konkret situation skal det beskrives, hvilken togtype der giver anledning til det højeste vibrationsniveau, og der bør som minimum foreligge beregninger, målinger eller vurderinger som dokumentation for vibrationerne for hver af de væsentligste togtyper på strækningen. Målinger af kildestyrker (i jorden tæt ved banen) eller vibrationer (indendørs) udføres med den højest mulige hastighed for den pågældende togtype, da vibrationernes styrke almindeligvis øges med toghastigheden. Det er ofte godstog, som giver anledning til de højeste vibrationer, men med en fremtidig øget hastighed for persontog er det muligt, at vibrationerne bliver bestemt af hurtigkørende persontog.
2. Den værdi, der skal sammenlignes med grænseværdien, bestemmes som et estimat på middelværdien af $L_{aw,max}$ for den togtype, som giver anledning til de kraftigste vibrationer. Antallet af det nødvendige antal togpassager afgøres ud fra måleresultaterne og formålet med målingerne. I relation til hyppighed og regelmæssighed vurderes det, at forbikørende arbejdsredskaber, skinslibningstog mv. ikke er regelmæssige, men at godstog, som ”kun” forekommer en gang i døgnnet eller nogle gange om ugen og er køreplanlagt (fx det tidligere ugentlige tog fra Stålvalseværket), kan betragtes som regelmæssige. På strækninger med få tog kan det derfor være nødvendigt at måle over lang tid for at opnå det nødvendige antal passager, der gør resultaterne pålidelige. Det taler også for det gavnlige i at have en nøjagtig og fyldestgørende beregningsmetode, som kan håndtere mange varierende togtyper, udbredelsesforhold og bygningstyper.

Der er en høj grad af analogi til målinger og beregninger af *ekstern støj*, hvor er der opstillet klare regler for bestemmelse af måle- og beregningsubestemtheden og hvordan disse benyttes i forbindelse med vurdering af, om et støjvilkår er overholdt eller ikke overholdt. Det er beskrevet i Referencelaboratoriets Orientering nr. 16 og nr. 36. Et resumé er givet i Bilag 1.

Ubestemtheden (eller den udvidede usikkerhed) er halvdelen af et 90 % konfidensinterval. Måle- eller beregningsværdien er et centralt estimat på middelværdien (den "sande" værdi) af støjbelastningen. Ved støjmålinger og -beregninger angiver måle- eller beregningsværdien i sammenhæng med ubestemtheden, at den "sande" værdi med 90 % sandsynlighed vil ligge i intervallet mellem måleværdien \pm ubestemtheden. En typisk ubestemthed ved støjmålinger og -beregninger er 2-3 dB.

I en **kontrolsituation** (fx kontrol af støjvilkår i miljøgodkendelser) kan man altså vurdere, om en grænseværdi er signifikant overholdt eller overskredet, se Bilag 1.

Ved beregninger til **planlægningsbrug** forholder det sig lidt anderledes. Her sammenlignes den beregnede støjbelastning direkte med grænseværdien, når det skal vurderes, om en støjgrænse kan forventes overholdt eller ej. Ubestemtheden indgår ikke direkte i sammenligningen, men den indeholder væsentlig information om beregningens kvalitet og skal altid bedømmes og angives.

I praksis betyder det, at tilsynsmyndigheden i forbindelse med eksisterende anlæg ikke griber ind ved "overskridelser" mindre end ubestemtheden. I planlægningssituationer accepteres det ikke, at den beregnede støjbelastning overskrider grænseværdien.

Referencelaboratoriet foreslår, at Miljøstyrelsen grundlæggende anlægger samme overvejelser og ræsonnementer for vibrationsområdet som for ekstern støj. Estimatet på middelværdien af $L_{aw,max}$ bliver bedre, jo flere målinger der indgår med den bestemmende togtype - altså vil antallet af målinger indgå i ubestemthedens størrelse. Der kan angives et minimumsantal af passager, som i fx den tilsvarende norske metode, men som udgangspunkt er det Referencelaboratoriets opfattelse, at der for nuværende ikke er præcedens for og ikke er erfaringer nok med sådanne beregninger, så et specifikt antal kan gives. Derfor anbefales det, at der skal foretages "tilpas" mange målinger til, at middelværdibestemmelsen bliver passende til formålet - beskrevet ved en passende ubestemthed, som kan beregnes ud fra den statistiske spredning og antallet af målinger.

Sammenfattende foreslår Referencelaboratoriet, at metodikken fra støjadministrationen overføres til vibrationer fra jernbaner, så længe det ikke strider mod eksisterende vejledninger og praksis. Det bemærkes, at det hidtil ikke har været praksis at inddrage ubestemtheden i kontrolsituationer, hvor det afgøres om en vibrationsgrænse er overholdt eller overskredet. For jernbanevibrationer betyder dette:

- 1) Resultater angives som et estimat på middelværdien samt en ubestemthed (halvdelen af et 90 % konfidensinterval).
- 2) Antal målinger af togpassager tilpasses det aktuelle formål, så ubestemtheden bliver af en størrelsesorden, som passer til formålet – om muligt 3 dB eller mindre.
- 3) I kontrolsituationer og i planlægningssituationer sammenlignes den målte/beregnete middelværdi direkte med grænseværdien. Ubestemtheden angives som en væsentlig supplerende parameter (kvalitetsmål).

Ubestemtheden er naturligvis en meget vigtig størrelse, og det er ikke meningen, at der skal kunne "spekuleres" i at have stor usikkerhed alene begrundet i få togpassager, hvormed det måske kan udmønte i et mere "lempeligt" gennemsnitligt vibrationsniveau. Der bør således stilles krav til ubestemtheden afhængigt af formålet. En nærmere redegørelse for dette ligger uden for rammerne af denne tekst.

I Bilag 1 er gengivet, hvordan den udvidede usikkerhed (ubestemtheden) benyttes til vurderinger af, om en grænseværdi er overholdt, overskredet eller ingen af delene. Det bemærkes, at ubestemtheden som definerer et 90 % konfidensinterval (ved tosidet test) giver signifikansniveau 95 % ved ensidet test. Det vil sige, hvis man benytter ubestemtheden til at vurdere, om en grænse er overholdt eller overskredet, opnås der 95 % signifikans.

Venlig hilsen

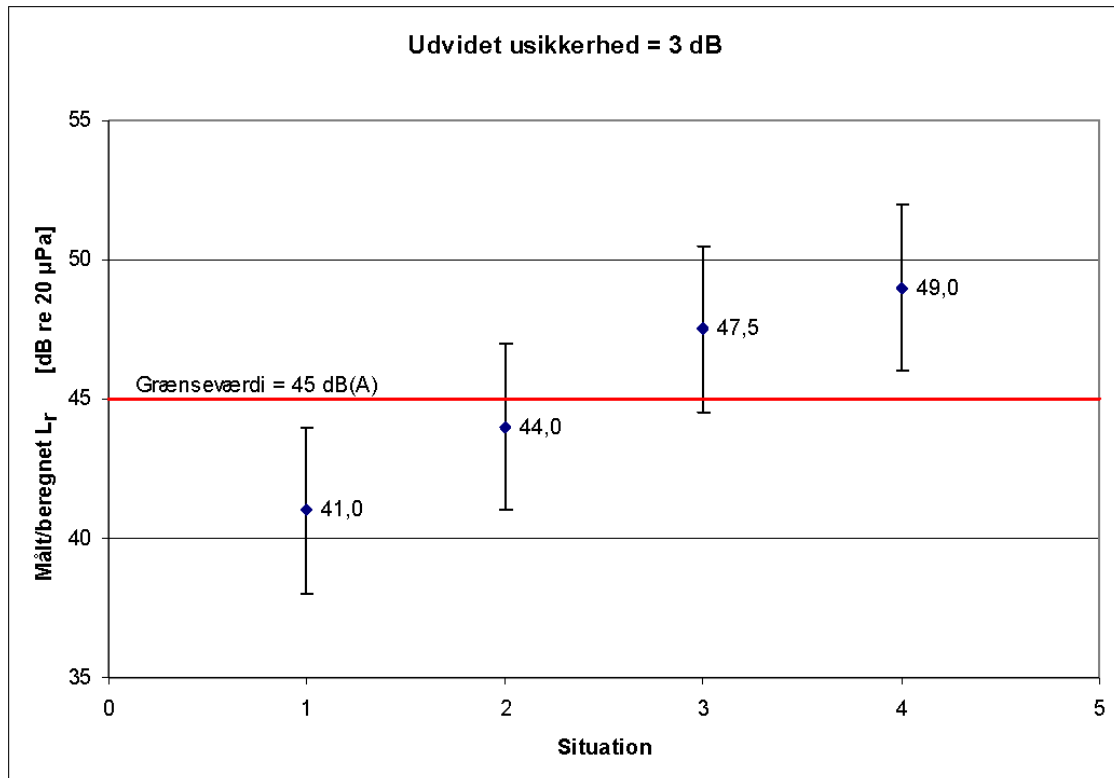
Miljøstyrelsens Referencelaboratorium for Støjmålinger



Per Finne

BILAG 1 - Grænseværdibetragtninger for ekstern støj

”Ubestemthed = Udvidet usikkerhed”



I forbindelse med administrationen af miljøbeskyttelsesloven er det et almindeligt princip, at der fra miljømyndighedernes side kun foretages indgreb over for en eksisterende virksomhed, såfremt det med 95 % sandsynlighed kan dokumenteres, at der er tale om en overskridelse af den fastsatte støjgrænse. En støjgrænse betragtes som overskredet, hvis måleværdien minus udvidede usikkerhed er større end støjgrænsen. Den sande værdi af virksomhedens bidrag til støjbelastningen er da med 95 % sandsynlighed større end støjgrænsen.

Situation 1: Grænseværdien er overholdt.

Da måleresultatet plus den udvidede usikkerhed er mindre end støjgrænsen, kan det med 95 % sandsynlighed dokumenteres, at støjgrænsen er overholdt.

Situation 2-3: Støjgrænsen er ikke med sikkerhed overskredet.

Da måleresultatet afviger mindre end den udvidede usikkerhed fra støjgrænsen, kan ikke med sikkerhed afgøres, om støjgrænsen er overholdt eller overskredet. Dette kan også formuleres som: ”Støjvilkåret er ikke overskredet”.

Situation 4: Grænseværdien er overskredet.

Da måleresultatet minus udvidede usikkerhed er større end støjgrænsen, kan det med 95 % sandsynlighed dokumenteres, at støjgrænsen er overskredet.