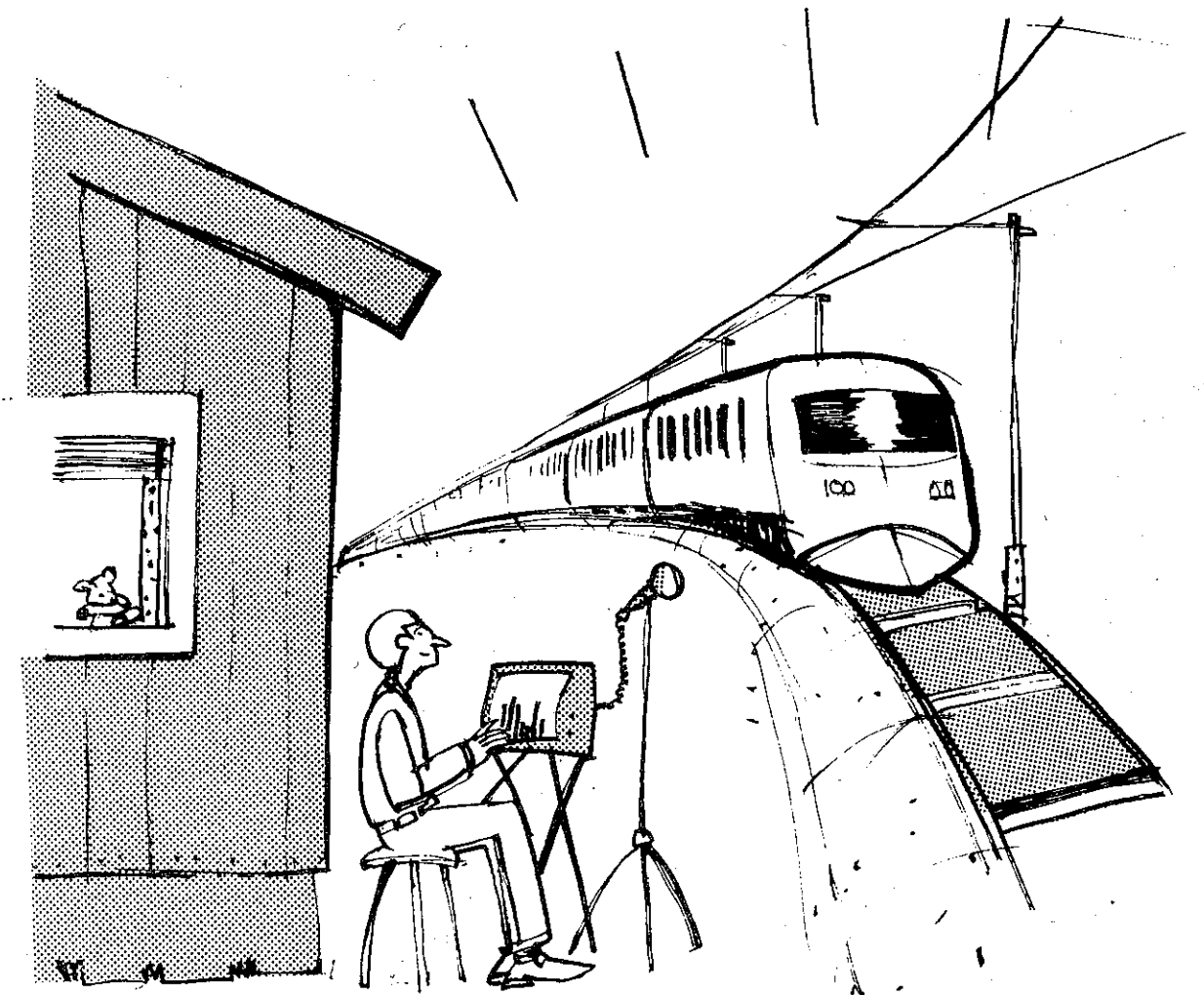


Clara Göransson

MAG 07259

# Buller från spårburen trafik- förslag till mätmetod



MAG  
07259

Biblioteket

Clara Göransson

# Buller från spårburen trafik- förslag till mätmetod



SP  
Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut  
Akustik  
SP RAPPORT 1995:40



## Abstract

### Noise from railbound vehicles - proposal for a measuring method

In chapter 7 there is a proposal for a Nordtest method for measurement of noise immission from railbound vehicles.

The method specifies how to carry out immission measurements of A-weighted sound pressure levels from railway traffic inside and outside buildings and in open terrain. The maximum sound pressure level and the sound exposure level (SEL) are determined for each train passage. The method includes manually operated measurements only (and not long time automatic measurements). Noise from freight terminals is not included in the method.

Different guidelines are given in the method, for instance concerning the number of trains to be included in the measurement series and the weather conditions during the measurements. At least 3 different train passages for each of the dominating train types shall be measured. In addition, the total length of the three (or more) train passages shall exceed 500 meter.

During the measurements the ground shall not be frozen or covered with snow. The mean value of the wind speed (during the train passage) shall not exceed 8 m/s at the microphone position. The wind shall have the direction from the track towards the microphone ( $\pm 60^\circ$ ). Avoid measuring in rainy weather.

The measurement uncertainty is expected to be 2 dB for the equivalent sound pressure level and 5 dB for the maximum sound pressure level.

Key words: External train noise, measuring method, immission measurement

SP  
SP Rapport 1995:40  
ISBN 91-7848-568-1  
ISSN 0284-5172  
Borås 1995

Swedish National Testing and  
Research Institute  
SP Report 1995:40

Postal address:  
Box 857, S-501 15 BORÅS,  
Sweden  
Telephone +46 33 16 50 00  
Telex 36252 Testing S  
Telefax +46 33 13 55 02

## Innehållsförteckning

Abstract	2
Innehållsförteckning	3
Förord	4
Sammanfattning	5
<b>1 Introduktion</b>	<b>7</b>
1.1 Bakgrund	7
1.2 Syfte	7
1.3 Avgränsningar	7
<b>2 Resultat</b>	<b>8</b>
2.1 Slutsatser	8
2.2 Onoggrannhet	9
<b>3 Mätpraxis i de nordiska länderna</b>	<b>11</b>
3.1 Danmark	11
3.2 Finland	11
3.3 Norge	11
3.4 Sverige	12
3.5 Vem är den tänkte användaren av metoden?	13
3.6 Beräknade eller mätta värden ?	13
<b>4 Projektgruppens överväganden</b>	<b>14</b>
4.1 Viktiga parametrar vid mätning	14
4.1.1 Antal tåg i mätserien	14
4.1.2 Väderlek	15
4.1.3 Mikrofonhöjd	15
4.1.4 Inomhusmätningar	16
4.1.5 Mikrofontyp	16
4.1.6 Utvärdering	16
4.2 Utrustning, kalibrering och verifiering	17
<b>5 Jämförande mätningar</b>	<b>18</b>
5.1 Resultat	18
5.2 Onoggrannhet	19
5.3 Beskrivning av mätplatsen	20
5.4 Genomförande av de jämförande mätningarna	20
<b>6 Referenser</b>	<b>21</b>
<b>7 Förslag till mätmetod - engelsk version</b>	<b>22</b>
<b>8 Förslag till mätmetod - svensk version</b>	<b>35</b>
<b>Bilaga</b>	<b>48</b>
1. Sammanställning av samtliga enskilda tågpassager	
2. Mät rapport från VTT	
3. Mät rapport från SP	
4. Mät rapport från Kilde Akustikk A/S	
5. Mät rapport från DSB	

## Förord

Detta projekt har finansierats av Kommunikationsforskningsberedningen (Dnr 93-90-63), Nordtest (projekt nr 1150-94) och Statens Naturvårdsverk (Dnr 144-5352-93 Sf).

Projektet har genomförts av en grupp bestående av:

Jørgen Tornhøj Christensen  
DSB Måleteknikk, Danmark

Juhani Parmanen  
Raimo Eurasto  
VTT, Finland

Matias Ringheim  
Frode Eikeland  
Kilde Akustikk A/S, Norge

Clara Göransson  
Tomas Ström  
SP, Sverige

SP har varit projektledare för gruppen.

## Sammanfattning

I kapitel 7 och 8 finns ett förslag till en nordisk mätmetod för tågbullerimmission. Mätmetoden beskriver hur man utför bemannade mätningar för att bestämma A-vägd ekvivalent (under en valfri tidsperiod) och maximal ljudtrycksnivå. Några av de viktigaste punkterna i mätmetoden beskrivs här.

Före mätningen påbörjas bör man bestämma vilken tågtyp som dominerar ekvivalent och/eller maximal ljudtrycksnivå (beroende på vad som skall mätas). Mätningarna bör förläggas till en tidpunkt på dygnet då dessa tågtyper är så väl representerade som möjligt.

Under mätserien skall man registrera maximalnivå och SEL (Sound exposure level) för varje enskild tågpassage. Vid tågpassagen skall man dessutom bestämma tågets längd och hastighet samt notera tågtyp. Minst 3 stycken tåg (av den eller de "dominerande" typerna) skall ingå i mätserien och den sammanlagda tåglängden skall vara större än 500 meter.

Det viktigaste kravet på väderleken under mätningen är att det skall blåsa medvind (det vill säga: från spåret och mot mikrofonpositionen) inom  $\pm 60^\circ$ , dock ej så höga vindhastigheter att bakgrundsnivån påverkar mätresultaten.

Metoden beskriver också hur man från uppmätta ljudtrycksnivåer beräknar ekvivalentnivån för en valfri del av dygnet. Detta sker genom att man normaliserar längden för de tåg som ingått i mätserien mot längden av de tåg som passerar under den tid som ekvivalentnivån skall gälla för. Det finns också anvisningar i metoden för hur man bestämmer maximalnivån.

I annex 1 finns några förslag till hur man kan utvidga metoden på några få punkter. Det gäller främst väderleken, där det kan finnas behov av att kunna utöka antalet tillgängliga mät dagar.

Metodens onoggrannhet, för de flesta situationer, uppskattas till 2 dB för ekvivalentnivån och 5 dB för maximalnivån.

# **1 Introduktion**

## **1.1 Bakgrund**

Det saknas en dokumenterad mätmetod för tågbullerimmission. I dagsläget sker mätning av tågbuller såväl i Sverige som i några av de andra nordiska länderna på olika sätt beroende på vem som utför mätningen. Det kan t ex gälla hur många tågpassager som ingår i mätserien, väderleken under mätningen, mikrofonplacering mm. För de myndigheter som skall fatta beslut grundade på dessa mätningar är det många gånger svårt att bedöma mätresultatens pålitlighet eftersom man inte har någon officiell mätmetod att referera till.

## **1.2 Syfte**

Syftet med den föreslagna mätmetoden är att vi i framtiden skall säkerställa en jämnare kvalitet på immissionsmätningar av tågbuller i Norden.

## **1.3 Avgränsningar**

Den föreslagna mätmetoden omfattar endast bemannade mätningar. Automatiska långtidsmätningar ingår ej. Metoden behandlar endast immissionsmätning av ekvivalent och maximal A-vägd ljudtrycksnivå, inom- och utomhus. Mätning av bulleremission (nära tågen) och fasadisolering beskrivs i andra dokument, [7] och [8].

## 2 Resultat

### 2.1 Slutsatser

I kapitel 7 och 8 finns ett förslag till en gemensam nordisk mätmetod för tågbullerimmission. Mätmetoden beskriver hur man utför bemannade mätningar för att bestämma A-vägd ekvivalent (under en valfri tidsperiod) och maximal ljudtrycksnivå.

Innan man påbörjar mätningen bör man ta reda på vilken tågtyp som har störst inverkan på det resultat man är intresserad av. Det är inte ovanligt att det är olika tågtyper som har störst inverkan på ekvivalent och maximal ljudtrycksnivå. För att ta reda på detta kan man gå till väga på olika sätt. Man kan utföra en beräkning med t ex den nordiska beräkningsmodellen eller en mindre mätserie på den aktuella platsen. Fördelen med att på förhand ta reda på vilken eller vilka tågtyper som är viktigast att registrera är att se till att mätningen utförs vid en tidpunkt på dygnet då dessa tågtyper är så väl representerade som möjligt.

Under mätserien skall man registrera maximalnivå och SEL (Sound exposure level) för varje enskild tågpassage. Vid tågpassagen skall man dessutom bestämma tågets längd och hastighet samt notera tågtypen och klockslaget för passagen.

Det finns ett flertal bullerkällor på tåg. I mätmetoden har vi valt att karaktärisera tågen med tågtyp och längd. Tågtypen används för att beskriva vilka "fasta bullerkällor" som finns: t ex motorer, växellådor, fläktar och andra fasta installationer. Tåglängden används egentligen för att beskriva antalet boggier eller hjul och därmed hjul/räl-bullret. Antalet tåg som skall mätas är, tillsammans med väderförhållanden under mätningen, en av de allra viktigaste sakerna att fastställa i en mätmetod. I den föreslagna mätmetoden anges att det skall ingå minst 3 stycken tåg (av var och en av de dominerande tågtyperna) i mätserien. Som ett tilläggskrav skall dessutom den sammanlagda tåglängden vara större än 500 meter. Både kravet på minsta antal tåg och sammanlagd total längd skall vara uppfyllt.

Det viktigaste kravet på väderleken under mätningen är att det skall finnas en "medvindskomponent" (det vill säga: det skall blåsa från spåret och mot mikrofonpositionen) inom  $\pm 60^\circ$ , dock ej så höga vindhastigheter att bakgrundsnivån påverkar mätresultatet. Ordet medvindskomponent används eftersom det i verkligheten sällan blåser i en enda riktning under en mätperiod. Ofta sker en större eller mindre kontinuerlig vridning av vinden och det viktiga är att vinden större delen av tiden (och i synnerhet vid tågpassagerna) håller sig inom det givna intervallet.

Metoden beskriver också hur man från uppmätta ljudtrycksnivåer beräknar ekvivalentnivån för en valfri del av dygnet. Detta sker genom att man normaliserar längden av tågen (antal meter) som ingått i mätserien mot längden av de tåg som passerar under den tid som ekvivalentnivån skall gälla för. Det finns också anvisningar i metoden för hur man bestämmer maximalnivån.

I metodens annex 1 finns några förslag till hur man kan utvidga metoden på några få punkter. Det gäller främst väderleken, där det kan finnas behov av att kunna utöka antalet tillgängliga mättdagar.

## 2.2 Onoggrannhet

Metodens onoggrannhet har kontrollerats genom jämförande mätningar utförda under några dagar i april och maj 1995. Hur de jämförande mätningarna genomförts beskrivs i kapitel 5 samt i bilagorna med rapporter från mätlagen.

Metodens onoggrannhet bedöms vara  $\pm 2$  dB för ekvivalentnivån och  $\pm 5$  dB för maximalnivån. De angivna värdena på metodens onoggrannhet är framtagna från de genomförda mätserierna och projektgruppens tidigare erfarenhet. Förutom resultatet av den jämförande mätningen har vi bl a tagit hänsyn till att det finns många platser med betydligt mera komplicerad terräng än i Hoberg (där det är plan mark och fri skikt) samt att vi "endast" mätt på avståndet 100 meter från spåret. För gynsamma mätsituationer kan man i vissa fall räkna med en onoggrannhet på  $\pm 1$  dB för ekvivalentnivån och  $\pm 3$  dB för maximalnivån. Med gynsamma situationer menas mätavstånd upp till ca 100 meter från spåret, plan mark och väderförhållande enligt vad som anges i metoden. Det krävs också att man registrerar åtminstone dubbelt så många tågpassager (och tåglängd) som metodens minimikrav anger.

I tabellerna 1 och 2 nedan sammanfattas resultatet av den jämförande mätningen med medelvärde och standardavvikelse för de fyra mätlagen.

Medelvärdet av de 4 genomförda mätningarna visar att ljudtrycksnivån är ca 1 dB lägre vid mikrofonpositionen 1,5 meter över marken jämfört med 4 meter över marken. Detta gäller både för ekvivalent och maximal ljudtrycksnivå. Det är ett väntat resultat eftersom markdämpningen är större ju närmare marken mikrofonen befinner sig.

För ekvivalentnivån är standardavvikelsen mindre än 1 dB för båda mikrofonhöjderna. För maximalnivån har resultatet i den högre mikrofonpositionen gett en standardavvikelse på 1,7 dB, dubbelt så stor som för den lägre mikrofonpositionen. Att standardavvikelsen är större för maximalnivån än för ekvivalentnivå kan förklaras av att maximalnivån bestäms av färre tågpassager än ekvivalentnivån. Det sker inte heller någon korrigering av tåglängd för maximalnivån utan de högsta registrerade bullernivåerna kommer att få störst betydelse för resultatet. Det har inte gått att finna någon logisk förklaring till varför det är högre standardavvikelse för resultatet i den höga positionen jämfört med den låga. En högre mikrofonposition påverkas i regel mindre av variationer i väderleken än vad en mikrofonposition närmare marken gör. En trolig förklaring kan vara att det "av en slump" blivit ovanligt liten spridning i den låga positionen istället för tvärtom!

$L_{A,eq,24h}$	medelvärde	standardavvikelse
100m/1,5m	62,8 dB	0,96 dB
100m/4,0m	63,8 dB	0,50 dB

Tabell 1. Medelvärde och standardavvikelse för A-vägd dygnsekvivalent ljudtrycksnivå för de fyra mätlagen. Värdena gäller för avståndet 100 meter från spåret och 2 olika mikrofonhöjder 1,5 respektive 4 meter över marken.

$L_{A,max}$	medelvärde	standard- avvikelse
100m/1,5m	86,0 dB	0,82 dB
100m/4,0m	87,3 dB	1,71 dB

**Tabell 2.** Medelvärde och standardavvikelse för A-vägd maximal ljudtrycksnivå för de fyra mätlagen. Värdena gäller för avståndet 100 meter från spåret och 2 olika mikrofonhöjder 1,5 respektive 4 meter över marken.

Vi har också försökt att uppskatta hur stor onoggrannhet man kan räkna med utgående från att man av en händelse registrerat de tre minst respektive mest bullriga tågtyperna i en mätserie. Resultatet för de tre mest bullriga tågen är också giltigt för det resultat man kan förvänta sig om man normaliserar den verkliga hastigheten till den största tillåtna. Resultatet visar att det i medeltal skiljer cirka 1,5 dB för ekvivalentnivån då beräkningen utförs för de 3 bullrigaste alternativt de 3 tystaste tågen. För maximalnivån är motsvarande skillnad större ca 4,4 dB.

Beräkningsfall	A-vägd ekvivalentnivå		A-vägd maximalnivå	
	medel- värde	standard- avvikelse	medel- värde	standard- avvikelse
3 bullrigaste tågen 1,5 m	63,7 dB	1,15 dB	87,7 dB	1,15 dB
3 tystaste tågen 1,5 m	62,3 dB	0,58 dB	83,3 dB	0,58 dB

**Tabell 3.** Medelvärde och standardavvikelse för A-vägd dygnsekvivalent och maximal ljudtrycksnivå då man utför beräkningen från de 3 bullrigaste alternativt de 3 tystaste tågen i en mätserie.

Det sker ingen dramatisk försämring av onoggrannheten då endast tre tåg ligger till grund för beräkning av ekvivalent- och maximal ljudtrycksnivå jämfört med då hela mätserien inkluderas. De i tabell 3 redovisade beräkningarna som grundar sig på de tre tystaste respektive de tre bullrigaste tågen. Även om det får anses osannolikt att man vid en mätning råkar ut för dessa extremfall, så påverkar det slutresultatet för ekvivalentnivån ganska måttligt dock påverkas maximalnivån något mera.

### 3 Mätpraxis i de nordiska länderna

För att få en samlad bild av de erfarenheter som fanns i de nordiska länderna angående mätning av tågbuller, inleddes hela projektet med att varje representant redogjorde för läget i sitt land. Nedan beskrivs detta kortfattat. Riktvärden i de nordiska länderna behandlas också eftersom de i praktiken ofta är avgörande för vad som är intressant att mäta eller beräkna.

#### 3.1 Danmark

I Danmark är det nästan uteslutande DSB Måleteknikk som utför mätningar på tågbuller. Detta medför att kvalitén på mätningarna är relativt jämn då mätningarna blir lika utförda från gång till gång. Mätproceduren som DSB använder innebär en kombination av bemannad och automatisk mätning. Tågbuller mäts i tre mikrofonpositioner: en referensposition mellan spåren, en position i "fritt fält" t ex i trädgården samt en position på fasaden (+6 dB-position som räknas om till frifältsnivå). DSB har utvecklat en egen mätpraxis vilket säkerställer att så länge DSB mäter sker det på samma sätt.

I Danmark tillämpas följande riktvärden:  $L_{Aeq,24h} \leq 65$  dB för befintliga sträckor och 60 dB för nya sträckor. Som komplement till detta finns ett önskemål från Miljøstyrelsen om den maximala bullernivån  $L_{Amax,S} \leq 85$  dB och att inomhusvärdet  $L_{Aeq,inne} \leq 30$  dB vid nyetablering. Miljøstyrelsen använder i princip enbart mätta värden när det gäller att bedöma klagomål från grannarna.

#### 3.2 Finland

Fram till idag har mätningarna gått till på många olika sätt, VTT har precis avslutat en finsk version av "anvisningar för bullerimmissionsmätningar på tåg" som i framtiden skall säkra en jämnare kvalitet på mätningarna. Ett annat finskt dokument av intresse är "Anvisningar om buller" som beskriver bullermätningar i olika sammanhang.

I Finland har man ett riktvärde för dag och kväll (kl 07-22),  $L_{Aeq,15h} \leq 55$  dB och ett för natt (kl 22-07)  $L_{Aeq,9h} \leq 45$  dB. Riktvärdet är i princip inte ett frifältsvärde utan skall jämföras med mätningar i trädgården eller på gården i aktuell fastighet. Mätvärdet kan alltså vara olika mycket påverkat av reflexer i olika sammanhang. Det finns inget riktvärde för maximal bullernivå. I Finland är det vanligare med mätningar än med beräkningar. VTT anser att avståndskorrektion och markdämpning blir riktigare om man mäter det, medan korrektion för tåglängd, hastighet och tågtyp utförs bäst enligt beräkningsmodellen.

Sammanfattningsvis sätter man, i Finland, större tilltro till mätta värden än till beräknade.

#### 3.3 Norge

I Norge utför man huvudsakligen beräkningar för att kontrollera bullerimmission. Det är utfört ett antal mera eller mindre systematiska kontrollmätningar av beräknade värden. NSB har utfört några kontrollmätningar på bullerskärmar. Det finns ingen officiell mätmetod för tågbullerimmission. Då mätningar utförs idag utgår man från mätmetoden för vägtrafik- och industribuller och tillämpar det man kan av dessa.

För bostäder finns följande riktvärden för tågbuller i Norge, så kallade +3 dB-värden, vid nyetablering är det föreslagit  $L_{Aeq, 24h} \leq 55-60$  dB och  $L_{A,max,S} \leq 70-85$  dB. Om man inte kan uppfylla utomhuskravet för ekvivalentnivån skall man "åtminstone" uppfylla  $L_{Aeq, 24h, inne} \leq 30-35$  dB.

### 3.4 Sverige

I Sverige finns ingen nationell mätmetod. En del konsultfirmor har "företagsinterna mätmetoder" som bl a grundar sig på tillämpliga delar av vägtrafikmätmetoden. Kvaliteten på dagens mätningar vet vi lite om men vi kan befara att det är stor variation. Naturvårdsverket har sedan länge haft inställningen att riktvärden i första hand skall jämföras med beräknade värden.

Den 28 februari 1995 gav Naturvårdsverket ut ett "Förslag till långsiktiga miljö kvalitetsmål, riktvärden, för buller från spårburen trafik" [3]. Dokumentet presenterar ett förslag till riktvärden som i princip medför att ingen (0 %) är mycket störda av tågbuller (i många sammanhang är det vanligt att bullerriktvärden ligger på en nivå där ca 10 % av befolkningen är störda). Förslaget är en redovisning av ett regeringsuppdrag med anledning av "Handlingsplan mot Buller" [4].

Permanentbostäder	Inomhus	Utomhus
$L_{Aeq, per dygn}$	30 dB	55 dB (avser uteplats) 60 dB (avser bostads- området i övrigt)
$L_{Amax}$	45 dB <sup>1)</sup> (avser utrymme för sömn och vila)	70 dB (avser uteplats)
Vårdlokaler, fritidsbostäder	Inomhus	Utomhus
$L_{Aeq, per dygn}$	30 dB	55 dB (avser uteplats) 60 dB (avser närområdet i övrigt)
$L_{Amax}$	45 dB <sup>1)</sup> (avser utrymme för sömn och vila)	70 dB (avser uteplats)
Undervisningslokaler	Inomhus	Utomhus
$L_{Amax}$	45 dB (under lektionstid)	-
Arbetslokaler	Inomhus	Utomhus
$L_{Amax}$	60 dB	-
Rekreatiomsområden i tätbebyggelse	Inomhus	Utomhus
$L_{Aeq, per dygn}$	-	55 dB
Friluftsområden	Inomhus	Utomhus
$L_{Aeq, per dygn}$	-	40 dB (avser områden där tystnaden är en väsentlig del av upplevelsen)

Anm. Samtliga riktvärden avser frifältsvärden utanför fönster/fasad eller till frifältsförhållanden korrigerade värden och angivna värden för maximal ljudnivå avser tidsvägning F.

1) För att begränsa konsekvenserna skall riktvärdet åtminstone innehållas nattetid (kl 22.00-06.00).

Tabell 4. Förslag till riktvärden för tågbuller enligt [3].

Riktvärdena i tabellen ovan gäller under förutsättning att vibrationerna i området inte överstiger 0,7 mm/s (rms-värde). I de fall högre vibrationsnivåer förekommer bör man i sådana områden i första hand vidta åtgärder för att minska vibrationerna innan man avgör behovet av bullerskyddsåtgärder.

### 3.5 Vem är den tänkte användaren av metoden?

Projektgruppen har diskuterat vem vi vänder oss till med mätmetoden och därmed hur den skall utformas. Efter genomgång av hur tågbuller hanteras i våra nordiska länder visade det sig att detta sker på ganska olika sätt. I Sverige kan det vara aktuellt för i stort sett vilken kommun som helst, som äger eller har tillgång till en bullermätare, att utföra en mätning, medan det i Danmark nästan uteslutande är DSB som mäter. I Norge utför man huvudsakligen beräkningar, men behov av att mäta finns också. I Finland talar man om mätta värden som de "verkliga", till skillnad från teoretiskt beräknade. Även i Sverige har vi t ex i "Handlingsplan mot buller" fått en diskussion om verkliga ( härmed avses mätta) värden kontra beräknade.

Projektgruppens slutsats är att målet med mätmetoden bör vara att alla som skall utföra bemannande mätningar av tågbuller skall kunna använda nordtestmetoden. Det skall dock tydligt framgå vilka krav som ställs för att få en given noggrannhet i mätningen. Vi beslutade att utgå ifrån en fullständig mätmetod som, enligt projektgruppen, ger god noggrannhet samtidigt som den är praktiskt tillämpbar för användaren. Eftersom vi vet att man i praktiken ibland kan ha svårt att uppfylla krav på t ex väderleken eller antalet tåg (på glest trafikerade banor) bör det finnas någon form av förslag på vad man kan göra i dessa situationer. Vi beslutade därför att ge anvisningar om på vilka punkter man kan förenkla eller "utvidga" mätmetoden. Det gäller t ex vilken typ av instrument som kan användas, utvidgning av i vilken väderlek som det är "tillåtet" att mäta samt hur man kan göra om det t ex blåser motvind (från mikrofonen och mot spåret) och man ändå är tvungen att genomföra en mätning. Detta beskrivs i ett annex till metoden, där det också påpekas att det är användarens ansvar att bedöma i vilka situationer som man kan tillåta utvidgningar av metoden eftersom det aldrig går att ge en fullständig beskrivning i metoden av alla tänkbara situationer som kan uppstå.

### 3.6 Beräknade eller mätta värden ?

Vi har vid flera tillfällen under projektets gång diskuterat om och i så fall på vilket sätt vi skall sträva efter att beräknade och mätta värden skall stämma överens. Våra olika synsätt grundar sig på att värdena används olika i våra länder.

*Danmark:* Inte helt nödvändigt att beräknade och mätta värden stämmer överens. Planläggningsärende grundar sig på beräknade värden medan huvudparten av ärendena vid klagomål baseras på mätta värden.

*Norge:* Beräknade och mätta värden syftar till att belysa en och samma situation och skall därför vara jämförbara.

*Finland:* Mätta värden gäller före beräknade. Om dessa skall anpassas till varandra så är det beräkningsmodellen som skall anpassas efter de mätta värdena och inte tvärtom.

*Sverige:* I dokumentet från Naturvårdsverket med förslag till riktvärden framgår det klart att riktvärden skall jämföras med beräknade värden (beräknade med av SNV publicerad beräkningsmodell).



## 4 Projektgruppens överväganden

### 4.1 Viktiga parametrar vid mätning

Vid diskussionerna i projektgruppen gick vi igenom de viktigaste parametrarna vid en tågbullermätning.

- Antalet tåg i mätserien av respektive tågtyp
- Väderlek vid mätningen
- Mikrofonhöjd
- Inomhusmätning

#### 4.1.1 Antal tåg i mätserien

För att få ett bra medelvärde av bullerutstrålningen från olika tågtyper skall minst ett par passager av varje tågtyp registreras. Mätmetoden skall klart tala om vilket minsta antal som krävs. Från tidigare mätningar av tågbulleremission har det framkommit att på en och samma sträcka, för en tågtyp i ett hastighetsintervall och ungefär samma tåglängd är variationen typiskt ett par decibel. Här visas ett exempel på en mätning vid Hoberg där följande tågtyper passerar: snabbtåget X2, persontåg med RC-lok och godståg med RC-lok.

Ort	Tåglängd	Hastighet	Avstånd spårmit	Mik.höjd över RÖK	SEL, (dBA)
Hoberg	139 m	193 km/h	30,2 m	3,5 m	94,7
Hoberg	139 m	191 km/h	30,2 m	3,5 m	94,9
Hoberg	139 m	163 km/h	30,2 m	3,5 m	94,1
Hoberg	139 m	175 km/h	30,2 m	3,5 m	95,5
Hoberg	139 m	179 km/h	30,2 m	3,5 m	95,6
Hoberg	139 m	200 km/h	30,2 m	3,5 m	95,2

Tabell 5. Snabbtåget X2

Ort	Tåglängd	Hastighet	Avstånd spårmit	Mik.höjd över RÖK	SEL, (dBA)
Hoberg	249 m	149 km/h	30,2 m	3,5 m	97,3
Hoberg	275 m	150 km/h	30,2 m	3,5 m	99,2
Hoberg	249 m	149 km/h	30,2 m	3,5 m	98,4
Hoberg	197 m	140 km/h	30,2 m	3,5 m	97,6
Hoberg	171 m	155 km/h	30,2 m	3,5 m	97,6
Hoberg	275 m	149 km/h	30,2 m	3,5 m	97,6
Hoberg	171 m	146 km/h	30,2 m	3,5 m	96,1
Hoberg	197 m	137 km/h	30,2 m	3,5 m	95,7

Tabell 6. Persontåg med RC-lok

Ort	Tåglängd	Hastighet	Avstånd spårmit	Mik.höjd över RÖK	SEL, (dBA)
Hoberg	95 m	112 km/h	30,2 m	3,5 m	93,3
Hoberg	420 m	99 km/h	30,2 m	3,5 m	100,5
Hoberg	525 m	83 km/h	30,2 m	3,5 m	103,4
Hoberg	480 m	82 km/h	30,2 m	3,5 m	102,8

Tabell 7. Godståg med RC-lok

Förutom tågens skick (t ex hur välslipade hjulen är) påverkar även tågets längd (antalet boggiar) och hastighet bullernivån. I mätmetoden har vi angivit att man i anslutning till varje tågpassage skall registrera tågets längd och hastighet. Genom att man i mätserien håller reda på tågens längd kan man korrigera uppmätt total längd för varje tågtyp mot tåglängden under det tidsintervall som ekvivalentnivån skall avse.

Tågens hastighet vid bullermätningen skall mätas och dokumenteras. Man skall utgå från att tågen håller typisk hastighet om man inte har starka skäl att misstänka något annat. Det föreskrivs därför ingen schablonmässig korrigering av bullernivåerna till t ex största tillåtna hastighet.

Antalet tåg som skall ingå i mätserien blev efter den jämförande mätningen bestämd till minst 3 tågpassager av (var och en av) de dominerande tågtyperna. Ett tilläggskrav är att den sammanlagda tåglängden ej får vara mindre än 500 meter. Båda kraven, minst 3 tågpassager och en sammanlagd tåglängd på minst 500 meter skall vara uppfyllda. Skälet till att det är två krav som skall uppfyllas är att en del tåg är väldigt korta t ex motorvagnar i pendeltrafik, om man enbart skall mäta på tre tåg blir det väldigt få hjulpassager som ingår i mätningen. Å andra sidan finns det en del enskilda tåg som är längre än 500 meter t ex godståg. En mätning bör grunda sig på mera än en enda tågpassage. I annex 1 som ger förslag på vilka punkter man kan "utvidga" metoden, har ingen anvisning om att det överhuvudtaget går att mäta med färre tågpassager än de 3 som metoden anger.

#### 4.1.2 Väderlek

Vid all immissionsmätning är väderleken under mätningen av största betydelse. Ju längre bort från spåret desto viktigare är det att mäta i "rätt väderlek". Omvänt gäller också, på nära avstånd dvs upp till ca 30 meter från spåret kan man tillåta i stort sett vilken väderlek som helst.

Väderleken är ett av de allra största problemen med immissionsmätningar. De "tillåtna" väderlekstyperna kan på vissa platser vara sällsynta, åtminstone upplever man det i regel så när man skall ge sig ut för mätning!

Kraven på väderleken vid mätning av tågbuller skiljer sig inte nämnvärt från vad som krävs vid mätning av vägtrafikbuller. Det viktigaste är att det skall blåsa medvind från tågen mot mikrofonen.

Projektgruppens ambition vid arbetet med mätmetoden har varit att åstadkomma en praktiskt tillämpbar metod. Kraven på väderlek är, ur praktisk synvinkel, svåra att hantera. För att ge information och förslag till lösningar på främst detta problem har vi infört ett annex med förslag till hur metoden kan "utvidgas". Det kan t ex vara då det blåser på "fel" håll. Det är viktigt att komma ihåg att förslagen i annex 1 inte är lämpliga i alla tänkbara situationer utan att det är användarens ansvar att bedöma när det går bra att tillämpa de. Syftet med annex 1 är att visa på förslag till hur man kan möjliggöra mätning under flera mättdagar.

#### 4.1.3 Mikrofonhöjd

Det är väsentligt att mikrofonhöjden vid en bullermätningar är väldefinierad för att få ett entydigt resultat. Det krävs därför att det finns en förordad höjd som skall gälla då inget annat anges. Samtidigt finns det ofta mikrofonhöjder angivna i t ex de nationella riktvärdena och då skall naturligtvis dessa följas. Projektgruppen har därför valt att ange en höjd (1,5 meter över marken) som kan användas då inga andra speciella mikrofonhöjder är angivna. Att vi valde just 1,5 meter över marken hade bl a följande skäl:

- Ett representativt medelvärde för "öronhöjd" för sittande och stående personer.
- En praktisk höjd då man använder ljudnivåmätare med en fast mikrofon (utan kabel).

#### 4.1.4 Inomhusmätningar

Vid inomhusmätningar skall man välja mätpunkter enligt Nordtest-metoden "NT ACOU 042, Rooms: Noise Level". Dock skall endast fast mikrofonpositioner användas, 3 mikrofonpositioner skall användas då rummets volym är högst 75 m<sup>2</sup>.

Mikrofon av tryck- eller frifältstyp kan användas inomhus, se avsnitt 4.1.5.

#### 4.1.5 Mikrofontyp

För tågbuller är det vanligt att frekvenser vid 1000 Hz eller lägre dominerar den A-vägda bullernivån inomhus. Vid dessa frekvenser är det liten skillnad mellan frifält- och tryckmikrofon med 13 mm diameter, se tabell 8. Man kan därför använda vilken som helst av de två mikrofontyperna.

Frekvens, Hz	Skillnad
Upp till 500 Hz	0 dB
Upp till 1000 Hz	0,2 dB
Upp till 2000 Hz	0,5 dB

Tabell 8. Skillnad mellan uppmätt bullernivå vid några frekvenser med (diameter 13 mm) frifält- och tryckmikrofon.

#### 4.1.6 Utvärdering

Vid genomförandet och utvärderingen av de jämförande mätningarna diskuterade projektgruppen vilka kriterier som skall gälla vid bl a resultatberäkning.

Vi beslutade att man inte schablonmässigt skall utesluta enstaka tågpassager ur mätserien. Man skall utgå från att samtliga passerande tåg är typiska. Det är endast i de fall man vet att en eller flera tågpassager uppenbarligen avviker från det normala som dessa skall uteslutas. Ett exempel på ett sådant tillfälle inträffade vid de jämförande mätningarna. I anslutning till att ett arbetsfordon (som höll på att bespruta banvallen) passerade på sträckan höll de två ordinarie tågen som passerade omedelbart före och efter arbetsfordonet extremt låg hastighet. I detta fall uteslöts såväl arbetsfordonet som de två långsamma ordinarie tågen vid resultatberäkningen.

Vi diskuterade också om man skall korrigera de uppmätta bullernivåerna till största tillåtna hastighet på sträckan eller om man skall anta att den hastighet som tågen håller är den normala. Projektgruppen beslutade att den vid bullermätningen registrerade hastigheten skall anses vara den normala. Man skall registrera och rapportera uppmätt hastighet för varje tågpassage. Man skall dock inte i beräkningen av ekvivalent eller maximal bullernivå korrigera eller enbart inkludera de passager som ligger nära största tillåtna hastighet. Detta förfarande kan medföra att vi får olika resultat för en beräkning där indata grundar sig på att samtliga tåg kör med största tillåtna hastighet ("skyltad hastighet") och en mätning med verklig hastighet. Genom att rapportera vilka hastigheter som gällt under mätningen blir den eventuella skillnad detta medför i bullernivå uppmärksammas.

## 4.2 Utrustning, kalibrering och verifiering

I den föreslagna metoden anges att instrument för bullermätning skall vara av klass 1 enligt IEC 651 och IEC 804 samt att dessa skall kalibreras med spårbar dokumentation.

Detta är den enskilda fråga som gruppen har haft svårast att enas sig om. Orsaken till detta är bland annat vilka rutiner och vilken uppfattning man har på den egna arbetsplatsen. Samtidigt är vi medvetna om att åtminstone i Sverige har t ex många kommuner instrument av äldre modell som endast uppfyller klass 2 enligt IEC-dokumentet. Å andra sidan borde inte frågan om lämplig utrustning och kalibrering av denna vara nämnvärt annorlunda för tågbullermätningar än för andra externbullermätningar. Lydelsen i den nu föreslagna metoden stämmer ganska väl med innehållet i den nyligen publicerade Nordtestmetoden för buller från vindkraftverk (NT ACOU 089), men sämre med den betydligt äldre mätmetoden för vägtrafikbuller (NT ACOU 039).

Projektgruppen har i och för sig accepterat den nuvarande skrivningen. Som ett alternativ till den nuvarande lydelsen i metoden kan hela eller delar av det som står i annex 1 angående utrustning och kalibrering av denna flyttas in i själva metoden. Projektledaren uppmanar Nordtest fackgrupp att ta ett principbeslut i denna fråga alternativt att man vid nästa remissomgång i de nordiska länderna skickar med denna fråga separat och därefter fattas beslut.

## 5 Jämförande mätningar

### 5.1 Resultat

De jämförande mätningarna syftar till att mäta tågpassager och räkna ut dygnsekivalent och maximal ljudnivå enligt den föreslagna mätmetoden. Resultatet, avrundat till heltal, av jämförelsen redovisas i tabellerna 9 och 10.

$L_{A,eq,24h}$	VTT	SP	Kilde	DSB	$\bar{x}/s$
100m/1,5m	63 dB	62 dB	64 dB	63 dB	63,0/0,82
100m/4,0m	64 dB	64 dB	64 dB	63 dB	63,8/0,50

Tabell 9. A-vägd dygnsekivalent ljudtrycksnivå för varje mätlag samt medelvärde,  $\bar{x}$  och standardavvikelse, s. Värdena gäller för avståndet 100 meter från spåret och 2 olika mikrofonhöjder 1,5 respektive 4 meter över marken.

$L_{A,max}$	VTT	SP	Kilde	DSB	$\bar{x}/s$
100m/1,5m	86 dB	86 dB	88 dB	85 dB	86,2/1,26
100m/4,0m	88 dB	89 dB	87 dB	85 dB	87,3/1,71

Tabell 10. Maximal A-vägd ljudtrycksnivå för varje mätlag samt medelvärde,  $\bar{x}$  och standardavvikelse, s. Värdena gäller för avståndet 100 meter från spåret och 2 olika mikrofonhöjder 1,5 respektive 4 meter över marken.

	VTT	SP	Kilde	DSB
Tågtyp som bestämde maxnivån	Persontåg	Persontåg	Snabbtåg	Persontåg och snabbtåg
Tågtyp som dominerar ekvivalentnivån	Godståg	Godståg	Godståg	Godståg
Antal tåg i mätserien	22 st	19 st	31 st	31 st
Uppmätt taglängd i mätserien, X2	560 meter	980 meter	1400 meter	1400 meter
Uppmätt taglängd i mätserien, PT	1312 meter	1940 meter	2731 meter	2480 meter
Uppmätt taglängd i mätserien, GT	1393 meter	1717 meter	2202 meter	2820 meter
Mätdatum	1995-05-03 (em) 1995-05-04	1995-04-11 1995-05-24	1995-05-02 1995-05-03 (fm)	1995-05-29 -
Väderlek vid mätning, 1:a dagen	2-15 m/s medvind, ca 60°	0,5-2,5 m/s medvind ca 45°	3-4 m/s medvind 15-45°	ca 5 m/s medvind vinkelrätt
Väderlek vid mätning, 2:a dagen	0-5 m/s medvind ca 30°	0,5-2,5 m/s medvind ca 45°	ca 3 m/s medvind 45°	-

Tabell 11. Förhållande vid jämförande mätning

## 5.2 Onoggrannhet

Metodens onoggrannhet baserad på vad de olika mätlagen räknat ut från sina respektive fullständiga mätserier framgår av tabell 9 och 10. Det är projektgruppens uppfattning att då metoden används i framtiden kommer många mätserier sannolikt endast att omfatta det minimiantal av tågpassager som krävs. Som ett extra försök att uppskatta vilken spridning man kan förvänta sig då färre tågpassager inkluderas, utfördes därför ytterligare några alternativa beräkningar som jämförelse.

Beräkningen av dygnsekivalent och maximal ljudtrycksnivå grundar sig på enbart 3 tågpassager av varje tågtyp. Vi valde att ta extremfallen från varje mätserie: de 3 bullrigaste och de 3 tystaste tågpassagera. Vi har också utfört beräkningar med enbart de tågpassager som höll största tillåtna hastighet  $\pm 10$  km/h, vilket gav ett resultat likvärdigt med de 3 bullrigaste tågen. Resultatet, som skall ses som någon form av "värsta fallet", sammanfattas i tabellen nedan.

$L_{A,eq,24h}$	VTT	SP	Kilde	DSB	$\bar{x}/s$
100m/1,5m	-	63	65	63	63,7/1,15
100m/4,0m	-	66	-	63	64,5/-

Tabell 12. Beräkningen av dygnsekivalentnivån baserad enbart på de 3 bullrigaste tågpassagera av respektive tågtyp. Resultatet är också giltigt för att beräkningen enbart är grundad på de tåg som vid passagen kört med största tillåtna hastighet  $\pm 10$  km/h

$L_{A,eq,24h}$	VTT	SP	Kilde	DSB	$\bar{x}/s$
100m/1,5m	-	62	62	63	62,3/0,58
100m/4,0m	-	60	-	63	61,5/-

Tabell 13. Beräkningen av dygnsekivalentnivån baserad enbart på de 3 tystaste tågpassagera av respektive tågtyp.

$L_{A,max}$	VTT	SP	Kilde	DSB	$\bar{x}/s$
100m/1,5m	-	87	88	85	86,7/1,53
100m/4,0m	-	91	87	85	87,7/-3,06

Tabell 14. Beräkningen av maximalnivån baserad enbart på de 3 bullrigaste tågpassagera av respektive tågtyp. Resultatet är också giltigt för att beräkningen enbart är grundad på de tåg som kört med största tillåtna hastighet  $\pm 10$  km/h

$L_{A,max}$	VTT	SP	Kilde	DSB	$\bar{x}/s$
100m/1,5m	-	83	83	85	83,7/1,15
100m/4,0m	-	88	-	85	86,5/-

Tabell 15. Beräkningen av maximalnivån baserad enbart på de 3 tystaste tågpassagera av respektive tågtyp.

Projektgruppens slutsats är att man kan tillskriva metoden en noggrannhet, för de flesta situationer, på  $\pm 2$  dB för ekvivalentnivån och  $\pm 5$  dB för maximalnivån. Härvid har hänsyn tagit även till mera akustiskt komplicerade terränger samt till längre mikrofonavstånd än 100 meter från spåret.

### 5.3 Beskrivning av mätplatsen

Mätningarna är utförda vid Hoberg utanför Vårgårda vid järnvägen mellan Stockholm och Göteborg. Samtliga mätningar är utförda i en och samma position 100 meter från närmsta spårmit. Terrängen mellan spåret och mätplatsen är relativt jämn, med låg växtlighet samt fri sikt fram till spåret. Den aktuella sträckan trafikerar av 3 olika tågtyper: Snabbtåget X2, Persontåg med RC-lok samt Godståg med RC-lok. I tabell 16 anges de största tillåtna hastigheterna på sträckan samt den tåglängd per dygn som ekvivalentnivån är beräknad för.

Tågtyp	Tåglängd per dygn	Största tillåtna hastighet
Persontåg, PT	5 256 meter	160 km/h
Snabbtåg, X2	2 660 meter	200 km/h
Godståg, GT	15 934 meter	100 km/h

Tabell 16. Tåglängder som den dygnsekvivalenta ljudtrycksnivån är beräknad från, samt största tillåtna hastighet på sträckan.

### 5.4 Genomförande av de jämförande mätningarna

Varje mätlag har genomfört såväl mätserie som beräkning av slutresultat enskilt utan att kommunicera med de andra. Samtliga har använt mikrofonavståndet 100 meter från närmsta spårmit och två mikrofonhöjder: 1,5 meter och 4 meter över marken. Vid samtliga mätserier har SP genomfört mätningar i en referenspunkt 25 meter från närmsta spårmit, 4 meter över marken. Syftet med mätningarna i referenspunkten är främst att hålla kontroll på bulleremissionen de olika dagarna.

## 6 Referenser

[1] SP Rapport 1995:39, Fasaders ljudisolering i moderna svenska villor.

[2] NT ACOU 042, Rooms: Noise Level

[3] 28 februari 1995, Naturvårdsverket "Förslag till långsiktiga miljökvalitetsmål, riktvärden, för buller från spårburen trafik".

[4] SOU 1993:65, Handlingsplan mot Buller

[5] NT ACOU 039, Road Traffic: Noise (Svensk översättning: Naturvårdsverkets rapport 3298, Buller från vägtrafik - mätmetod)

[6] ORE, Office for research and Experiments of the international Union of Railways, Question Q 163 Railway noise. Report No. 2 Directives for the measurement of railway traffic noise. Utrecht, April 1985.

[7] ISO/DIS 3095:1988 (revision of ISO 3095:1975) Acoustics - Measurement of noise emitted by railbound vehicles.

[8] ISO/DIS 140-5:1993 Acoustics- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements- Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of facade elements and facades

## 7. Förslag till mätmetod - engelsk version

# Railway traffic - noise measurement

Project no 1150-94

## Contents

1. Scope
2. Field of application
3. References
4. Definitions
5. Measuring equipment
6. Measurements

### Annex 1

Measurements in other weather conditions and with class 2 instruments

### Annex 2

Information about the difference between time weighting F and S

### Annex 3

Example of a measurement in 5 positions with 2 sound level meters

## 1. Scope

This Nordtest method specifies a method for measurement of A-weighted noise immission from railway traffic inside and outside buildings and in open terrain. The method includes manually operated measurements only (and *not* long time automatic measurements). Noise from goods terminals is not included in the method. In annex 1 a few guidelines are given about how to carry out measurements in i. e. other weather conditions.

## 2. Field of application

This Nordtest method specifies a method to carry out measurements of noise immission for instance in residential areas. The method is based on measurement of sound exposure level and maximum sound pressure level of single train passages. The method may be used as a complement to standardised calculation procedures, such as "The Nordic prediction method for railway noise". The method does not cover measurements of noise emission (close to the vehicles).

## 3. References

IEC 651, Sound level meters.  
 IEC 804, Integrating-averaging sound level meters.  
 IEC 942, Sound level calibrators.  
 The Nordic prediction method for railway noise (rev 1995) Kilde Akustikk, Norway.

## 4. Definitions

For the purpose of this Nordtest method the following definitions apply.

### 4.1 A-weighted sound pressure level, $L_{pA}$ , in decibels

The value of the sound pressure level determined using frequency weighting A, as defined in IEC 651. The reference sound pressure is 20  $\mu$ Pa.

### 4.2 Equivalent sound pressure level, $L_{eq,T}$ , in decibels

The value of the sound pressure level of a continuous, steady sound that, within a specified time interval  $T (= t_2 - t_1)$ , has the same mean square sound pressure as the sound under consideration, the level of which varies with time. It is given by the formula:

$$L_{eq,T} = 10 \lg \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right] \quad (1)$$

where,

$p(t)$  = the instantaneous sound pressure of the noise signal

$p_0 = 20 \mu$ Pa

$T = t_2 - t_1$  = a specified time interval

The equivalent sound pressure level can be A-weighted and determined for different time periods,  $T$ , and will then be denoted  $L_{Aeq,T}$ , for instance 24-hour equivalent level  $L_{Aeq,24h}$ .

### 4.3 Sound exposure level, SEL, $L_{AE}$ , in decibels

The sound exposure level is the total sound dose during a specified noise event during the time  $T$ . Due to background noise  $T$  shall be as short as possible but long enough to include the whole train passage.

$$L_{AE} = L_{Aeq,T} + 10 \lg \frac{T}{T_0} \quad (2)$$

where,

$L_{Aeq,T}$  = The A-weighted equivalent level during the measurement time  $T$  (seconds)

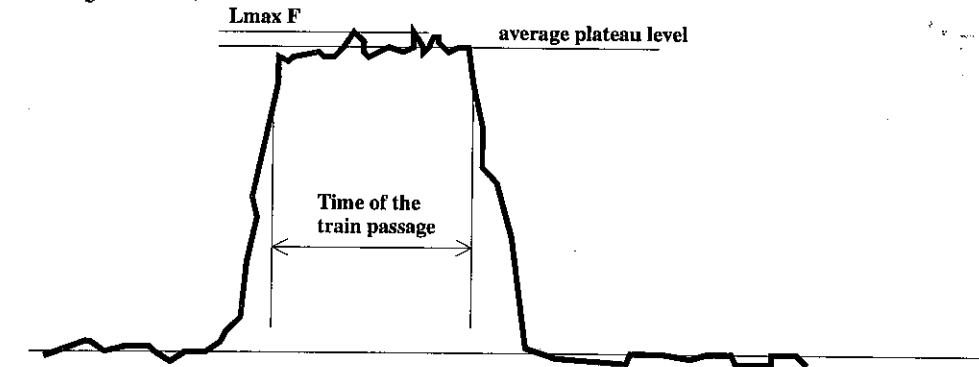
$T$  = The time of the measurement of a single train passage, in seconds.

$T_0 = 1$  second

### 4.4 A-weighted maximum sound pressure level, $L_{Amax}$ , in decibels

The A-weighted maximum sound pressure level measured with time weighting F,  $L_{AmaxF}$ , or with time weighting S,  $L_{AmaxS}$ .  $L_{AmaxF}$  is used unless otherwise specified.

Note. In the Nordic prediction method (dated 1983) the A-weighted maximum sound pressure level with time weighting S is used. In the revised method (dated 1995) the time weighting F or the "average plateau level", see figure below, is to be used.



## 5. Measuring equipment

### 5.1 General

The entire instrumentation and analysis system, including tape recorder, if any, shall meet the class 1 requirements of IEC 651 for sound level meters and IEC 804 for integrating-averaging sound level meters.

Calibrators shall comply with IEC 942, class 1 calibrators. All instruments shall be operated according to the manufacturer's instructions.

A free field microphone is preferred for these measurements. A microphone of pressure type can be used as well. The difference between free field and pressure microphones is insignificant within the frequency range of interest for the A-weighted values.

### 5.2 Calibration and verification

At least immediately before and after each series of measurements place a sound calibrator on the microphones for checking the calibration of the entire measuring system at one or more frequencies (between 100-2000 Hz).

Calibrate and verify instrument performance, with traceable documentation, regularly in order to comply with the above IEC Publications. Commonly accepted verification interval is 2 years for sound level meters and 1 year for calibrators.

## 6. Measurements

### 6.1 Selection of Test Samples

Before starting a measurement series find out which train types that dominate the noise levels (equivalent and maximum level). This can, for instance, be carried out by a preliminary measurements or a prediction with the Nordic calculation method. The train lengths and the speeds of the actual train types must be considered in the calculation. Both the lengths of the individual trains (for maximum level) and the total length during a part of or a whole day (for equivalent level) must be considered. It is possible that different train types are important for the maximum and the equivalent level.

When it is decided which train types that are most important for the purpose of the measurement, find a time period of the day, for the measurement series where those train types are as well represented as possible.

In the measurement series include at least 3 different train passages for each of the dominating train types. In addition the total length, of the three (or more) train passages, shall exceed 500 meter.

## 6.2 Weather condition

During the measurements the ground shall not be frozen or covered with snow. The mean value of the wind speed (during the train passage) shall not exceed 8 m/s at the microphone position. The wind shall have the direction from the track toward the microphone ( $\pm 60^\circ$ ). Avoid measuring in rainy weather. In some specific situations it is possible to measure in other weather conditions than mentioned above, see annex 1.

Note. In rainy weather microphones and other equipment can give wrong results. The sound of the train (for instance the noise in curves) can also be different.

### 6.2.1 Measurement distances up to 30 meter

No additional requirements. The requirement of the wind direction must not be fulfilled in this position.

### 6.2.2 Measurement distances between 30 and 100 meter

The wind speed measured at the height 1.5 meter above the ground must be greater than 1 m/s, during the train passage. There must be a wind component from the railway track (the part of the track that gives the highest noise level) towards the measurement position ( $\pm 60^\circ$ ).

### 6.2.3 Measurement distances above 100 meter

For distances above 100 meter the requirement is the same as for the distance 30-100 meters, except for an upper limit of the wind speed due to background noise at the microphone position. This must be considered when the wind speed is approximately 5 m/s at the microphone position.

## 6.3 Procedure

For each individual train included in the measurement observe and report the following:

- noise level (SEL,  $L_{Amax}$ )
- the train type
- the speed of the train
- the length of the train
- other details of special interest
- the time of the day when the train was passing

Other details according to chapter 6.7 shall also be observed and reported.

### 6.3.1 Outdoor measurements

The choice of microphone position, depends on the purpose of the measurement. If the purpose of the measurement is to *compare the noise level with limit values in a regulation* the microphone position shall be chosen as stated in that document.

#### 1) Free field position

If no position is mentioned in guidelines etc, use the position 1.5 meter above the ground. This position is preferred when the ground is level and/or the line of sight is free from the microphone position to the railway track. Place the microphones on, for instance, a tripod. This position must be free from reflecting surfaces other than the ground. Exceptions can be made for small reflecting surfaces and in other cases when it can be shown that the reflections have negligible effect ( $< 0.5$  dB)

Note. However, if the position 1.5 meter above the ground is below the line of free sight from the track to the microphone, this position can have bad reproducibility for the measured noise level.

#### 2) Comparison measurements

Can be carried out before and after a change in the tracks, traffic condition, building construction or before and after introduction of noise reduction. The position of the microphones shall be typical of the small or large area considered. It is, in these cases, important that all parameters except the one investigated remain unchanged.

Avoid microphone positions in the line of sight from the source to the microphone, measure below or above this line.

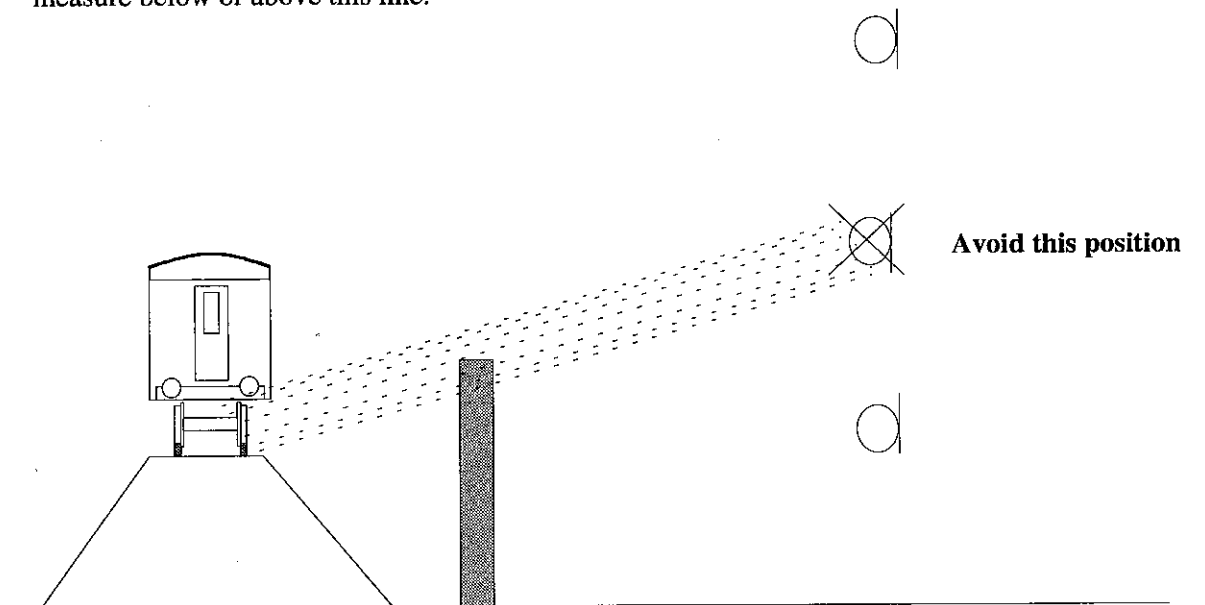


Figure. Avoid microphone positions at and around the line: "source - screen top", measure well above or below this line.

#### 3) Outdoor measurements close to a building (+6 dB- and +3 dB-position)

When measuring noise levels outside a house, it is recommended to use a facade position (+6 dB - position) for the microphone. To be considered as a +6 dB-position the microphone shall be fastened directly on the facade ( window). To be comparable with a free field position the measured value on the facade shall be reduced with 6 dB. This position can not be used if the facade has large recesses or balconies. Then the +3 dB-position shall be used. The microphone shall be placed in a position 0.5-2 meter in front

of the facade to be considered as a +3 dB-position. The noise level measured in this position shall be reduced with 3 dB to be comparable with a free field position.

### 6.3.2 Indoor measurements

Use a microphone of pressure or free field type.

The microphone positions shall be chosen in accordance with Nordtest method NT ACOU 042, Rooms: Noise Level. However, for the purpose of measuring train noise fixed measurement positions shall be used (i.e. not a continuously moving microphone). The most important guidelines in NT ACOU 042 is that at least 3 microphone positions randomly distributed in the room shall be used (when the volume of the room is  $< 75\text{m}^3$ ). No microphone position shall be located closer than 0.5 meter from the room surfaces and 1 meter from the dominating sound transmission element (usually windows and ventilators). For more information, see NT ACOU 042.

### 6.3.3 Procedure for measuring in several positions with a two channel instrument

In some situations it is necessary to measure in two or more microphone positions at a time.

Choose one position, the most important, as a fixed reference position. In this position all train passages included in the measurement series shall be recorded. The other microphone shall be moved between the additional positions, in question. The result in the additional positions shall only be used to calculate the difference to the reference position.

The final result shall be based on the result in the fixed reference position calculated according to chapter 6.7 and the difference between the measured noise levels in the reference position and the additional positions. In annex 3 an example of this is given.

## 6.4 Background noise

The equivalent A-weighted background noise level including the internal instrument noise shall be at least 15 dB below the maximum sound pressure level during the train passage. This criteria shall be applied to all microphone positions, in question. Wind noise counts as background noise. Check the wind noise at the microphone position to ensure that this source of background noise does not influence the measurement result.

## 6.5 Expression of results

### 6.5.1 Calculation of $L_{Aeq}$ for a whole day or a part of the day

All train passages measured shall be considered as typical for the site. Check and report the speed of the trains. However, if a train passage not at all is typical it can be excluded.

All  $L_{AE}$  values for each train type shall be summarised and the measured train length of the train type shall be normalised to the real length of that train type during the part of the day considered. This will give a  $L_{AE,type}$  for each train type:

$$L_{AE,type} = 10\lg\left[\left(\frac{L_{type}}{l_{type}}\right) \left(10^{L_{AE,1}/10} + 10^{L_{AE,2}/10} + \dots + 10^{L_{AE,n}/10}\right)\right] \quad (3)$$

where,

$L_{type}$  = total length of the train type during the part of the day considered

$l_{type}$  = length of the trains, for the train type, in the measurement series

$L_{AE,1}$ ,  $L_{AE,2}$  etc = SEL for passage no 1, 2 etc for the train type, in question

Finally, calculate the total equivalent level for all train types from:

$$L_{eq,T} = -10\lg(3600T) + 10\lg\left[10^{L_{AE,type1}/10} + 10^{L_{AE,type2}/10} + \dots\right] \quad (4)$$

where,

T in hours can be a whole day or any part of the day

$L_{AE,type1}$  = Total  $L_{AE}$  according to equation (3), for train type 1

### 6.5.2 Calculation of maximum noise level

The result of the measurement is the average maximum A-weighted sound pressure level given for each single train passage of the train type that gives the highest maximum A-weighted sound pressure level:

$$L_{Amax} = 10\lg\left(\frac{10^{\frac{L_{1,max}}{10}} + 10^{\frac{L_{2,max}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{n,max}}{10}}}{n}\right) \quad (5)$$

where,

$L_{1,max}$  = The maximum level for train no 1 of the train type, in question.

$L_{Amax}$  is calculated for each train type and the final result is the one with the highest level.

## 6.6 Measurement uncertainty

A joint Nordic Round Robin measurement series has been carried out according to this measurement method. 4 participants were carrying out measurements, one at a time, in the same position at the distance 100 meter from the track. The result of this Round Robin measurement is that the accuracy in most situations is  $\pm 2$  dB for equivalent sound pressure level and  $\pm 5$  dB maximum sound pressure level.



## 6.7 Test Report

The test report shall include the following information, if relevant:

- 1) Test results
- 2) Purpose of the test
- 3) Name and address of the testing laboratory
- 4) Name and other identification marks of the trains included in the measurement series.  
The type, length and speed of each individual train.
- 5) Conditioning of the test specimens (for instance track condition), environmental data during the test (wind speed and direction etc)
- 6) Date of the measurement
- 7) Test method including the microphone positions.
- 8) Any deviation from the test method
- 9) Identification of the test equipment and instrument
- 10) Method of sampling and other circumstances
- 11) Inaccuracy or uncertainty of the test result
- 12) Name and address of the organisation or the person who ordered the test
- 13) Identification number of the test report
- 14) Date and signature
- 15) Sketch of the measurement site (with all distances and heights)

## Annex 1 - informative

### Measurements in other weather conditions and with class 2 instruments

In some measuring situations it is necessary to modify the procedure above. In this annex a few guidelines about possible modifications is presented. It must, however, be observed that the responsibility for in which situations it is possible to use these modifications must belong only to the person (or company) carrying out the measurements. It must be clearly stated in the test report which modifications according to this annex that has been applied.

#### *Measuring equipment - General*

The entire measurement system shall meet at least the class 2 requirement of IEC 651.

#### *Calibration and verification*

Check your instruments regularly. Recommended interval is once a year. The instrument check shall include at least frequency characteristics (for the frequency range in question) and dynamic characteristics such as r.m.s. performance and time weighting. The instruments used for this check shall be calibrated, with traceable documentation, at least once a year.

#### *Weather condition - Measurement distances above 30 meter*

If the wind component is in the wrong direction, there still remains some alternatives to carry out the measurement. It is difficult to give exact guidelines when this is possible or not. The responsibility for when it is possible, belongs to the person carrying out the measurement.

- a) Move the microphone position closer to the rail, that is approximately 25 meter from the track centre. Recalculate the measured values to the appropriate distance. The Nordic prediction method can be used for this calculation.
- b) Move the microphone position to the opposite side of the track (where the wind component is in the "right" direction). The terrain must be equal on both sides of the track.
- c) Move the microphone to a higher position above the ground. As an example a position 4-5 meter above the ground is to prefer instead of 1.5 meter above the ground, when the wind component is in the "wrong" direction.

#### *Measurement uncertainty*

When any of the modifications described in this annex is used the accuracy will probably be less good than stated in the method.

## Annex 2 - informative

### Information about the difference between time weighting F and S.

The difference between A-weighted maximum sound pressure level with time weighting F and S has been discussed several times in the Nordic countries. In [A2.1] the following information is given.

Distance of measurement	Mean value of difference	Largest individual difference	Smallest individual difference	Number of trains in the measurement series
20-30 meter	1.7 dB	4.3 dB	0.5 dB	450
100 meter	0.9 dB	2.2 dB	0.3 dB	25
250 meter	0.7 dB	2.4 dB	0 dB	25

In the table the arithmetic mean value of the difference between  $L_{Amax,F}$  and  $L_{Amax,S}$ , the largest and the smallest individual difference for a single train passage is shown. The number of train passages included in the measurement series is also given.

The conclusion of this is that the time weighting is less and less important the further away from the track you measure. Already at the distance 100 meter the difference between the two time weightings is less than 1 dB (mean value).

These correction terms can be applied to the measured A-weighted maximum level, if necessary.

#### Reference:

[A2.1] SP report 94F36057, date 23rd August 1994. "Mätning av maximala bullernivåer från tåg, med tidsvägning F och S" (in Swedish).

[A2.2] PM 93-08-09 Conny Larsson, Department of meteorology Uppsala University "Väderinverkan på val av integrationstiden fast eller slow" (in Swedish).

## Annex 3 - informative

### Example of a measurement in 5 positions with 2 sound level meters.

This annex gives an example of how to carry out measurements in five positions, at a time when only two sound level meters are available.

The principle is to place one of the sound level meters in a position (for instance the most interesting position, if any) and it shall remain there during the whole measurement series. The other (one or more) sound level meter shall be moved between the additional positions of interest. If possible, try to measure approximately the same number of train passages (of all train types) in all the additional positions.

A measurement has been carried out with two sound level meters. The first sound level meter has been placed in a reference position, in the garden, during the whole measurement series. The second sound level meter has been moved between four other positions, one outside and three inside a room. The number of trains included in the measurement series is 15, two types of trains exist on the track.

Type of train	reference position	additional position outside	inside pos 1	inside pos 2	inside pos 3	Difference $\Delta L$ inside-ref	Difference $\Delta L$ add,out-ref
type 1	82.3	79.2					-3.1
type 2	77.8	76.1					-1.7
type 2	77.5	77					-0.5
type 1	84.4	84					-0.4
type 1	79.8	75					-4.8
type 1	78.3		41.5			-36.8	
type 2	76.6		50			-26.6	
type 2	77.4		47.5			-29.9	
type 1	86.5			51.5		-35	
type 1	66.1			36.1		-30	
type 1	82.3			45.8		-36.5	
type 1	85				55.2	-29.8	
type 2	83.3				59.7	-23.6	
type 1	83.2				48.2	-35	
type 1	84.6				57	-27.6	

The result measured in the reference position shall be calculated according to chapter 6.7. For the additional positions the procedure below shall be applied:

a) Calculation of the terms  $\Delta L_{inside}$  and  $\Delta L_{additional outside position}$

$$\Delta L_{inside} = -10 \lg \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (10^{\Delta L_i / 10})$$

$n$  = the number of trains measured.

$$\Delta L_{inside} = -10 \lg \left[ \frac{1}{n} (10^{-3.68} + 10^{-2.66} + 10^{-2.99} + 10^{-3.5} + 10^{-3.0} + 10^{-3.65} + 10^{-2.98} + 10^{-2.36} + 10^{-3.5} + 10^{-2.76}) \right]$$

$$= 29.1 \text{ dB}$$

$$\Delta L_{\text{inside}} = 29.1 \text{ dB}$$

$$\Delta L_{\text{additional outside position}} = -10 \lg \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (10^{-\Delta L_i / 10})$$

$$\Delta L_{\text{additional outside position}} = -10 \lg \left[ \frac{1}{n} (10^{-0.31} + 10^{-0.17} + 10^{-0.05} + 10^{-0.04} + 10^{-0.48}) \right] = 1.8 \text{ dB}$$

$$\Delta L_{\text{additional outside position}} = 1.8 \text{ dB}$$

The terms  $\Delta L_{\text{additional outside position}}$  and  $\Delta L_{\text{inside}}$  shall finally be subtracted from the result for the reference position calculated according to chapter 6.5.

## 8. Förslag till mätmetod - svensk version

# Buller från spårburen trafik - mätmetod

Projekt nr 1150-94

## Innehåll

1. Syfte och avgränsningar
2. Tillämpningsområden
3. Referenser
4. Definitioner
5. Mätutrustning
6. Mätförfarande

### Annex 1

Mätningar i andra väderförhållande och med instrument av klass 2.

### Annex 2

Information om skillnaden mellan tidsvägning F and S

### Annex 3

Exempel på en mätning i 5 positioner utförd med 2 ljudnivåmätare

## 1. Syfte och avgränsningar

Denna Nordtest metod presenterar ett sätt att mäta A-vägd bullernivå (nära mottagaren) från spårburen trafik, inne i och utanför byggnader samt i öppen terräng. Metoden behandlar enbart bemannade mätningar (automatiska långtidsmätningar ingår *inte*). Buller från rängerbangårdar behandlas inte i metoden. I annex 1 finns några anvisningar om hur man kan gå tillväga t ex för att utföra mätningar även om väderförhållandena inte i alla avseende är ideala.

## 2. Tillämpningsområden

Denna Nordtest metod beskriver hur man utför mätning av bullerimmission t ex i bostadsområden. Metoden bygger på mätning av A-vägd ljudexponeringsnivå och maximal ljudtrycksnivå från enskilda tågpassager samt beräkning av maximal och ekvivalentnivå under valfri tidsperiod. Metoden kan användas som ett komplement till bullerberäkningar, t ex "Nordiska beräkningsmodellen för spårburen trafik". Metoden omfattar inte mätning av fasadisolering och ej heller bulleremission från tågen (nära bullerkällan).

## 3. Referenser

- IEC 651, Sound level meters.  
 IEC 804, Integrating-averaging sound level meters.  
 IEC 942, Sound level calibrators.  
 Nordisk beräkningsmodellen för spårburen trafik (rev 1995) Kilde Akustikk, Norway.

## 4. Definitioner

Vid tillämpning av denna Nordtest metod gäller följande definitioner.

### 4.1 A-vägd ljudtrycksnivå, $L_{pA}$ , dB

Ljudtrycksnivån filtrerad med A-vägningsfilter enligt IEC 651. Referensljudtrycksnivån är 20  $\mu$ Pa.

### 4.2 Ekvivalent ljudtrycksnivå, $L_{eq,T}$ , dB

Ekvivalent ljudtrycksnivå används för att karaktärisera en med tiden varierande ljudnivå och är en form av medelnivå som under en given tidsperiod ( $t_2 - t_1$ ) har samma medelljudtrycksnivå som ett kontinuerligt buller. Ekvivalent ljudtrycksnivå definieras:

$$L_{eq,T} = 10 \lg \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right] \quad (1)$$

där,

$p(t)$  = momentan ljudtrycksnivå

$p_0$  = 20  $\mu$ Pa

$T = t_2 - t_1$  = en angiven mätperiods längd med starttidpunkten  $t_1$  och sluttidpunkten  $t_2$

Den ekvivalenta ljudtrycksnivån kan A-vägas och utvärderad för olika tidsperioder, T, den betecknas då,  $L_{Aeq,T}$ , t ex 24 timmar  $L_{Aeq,24h}$ .

### 4.3 Ljudexponeringsnivå, SEL, $L_{AE}$ , dB

Ljudexponeringsnivån är den totala ljud dosen under en i tiden avgränsad bullerhändelse, som mäts under tiden T, t ex en tågpassage. För att man inte felaktigt ska inkludera bakgrundsbuller i SEL skall T vara så kort som möjligt, men tillräckligt lång för att registrera hela tågpassagen.

$$L_{AE} = L_{Aeq,T} + 10 \lg \frac{T}{T_0} \quad (2)$$

där,

$L_{Aeq,T}$  = A-vägd ekvivalent ljudtrycksnivå under mätperioden T (sekunder).

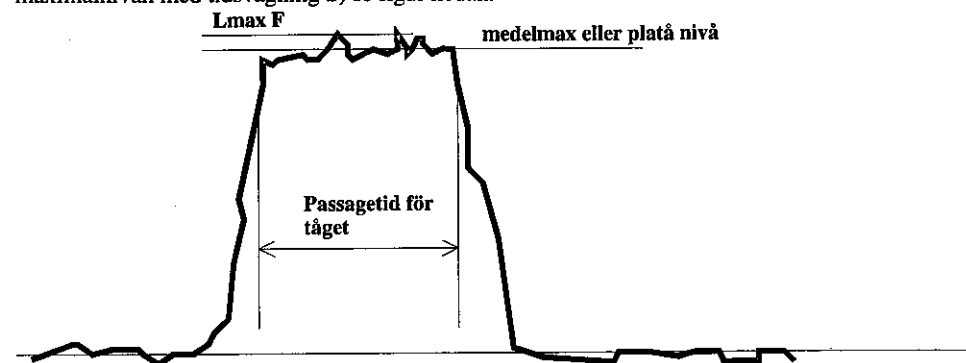
T = Mätperioden för en enskild tågpassage (sekunder).

$T_0$  = 1 sekunder

### 4.4 A-vägd maximal ljudtrycksnivå, $L_{Amax}$ , dB

Den A-vägd maximala ljudtrycksnivån med tidsvägning F,  $L_{AmaxF}$ , eller med tidsvägning S,  $L_{AmaxS}$ ,  $L_{AmaxF}$  skall användas om inget annat anges (i t ex riktvärden).

Fotnot. I den nordiska beräkningsmodellen för spårburen trafik (daterad 1983) användes maximalnivån med tidsvägning S. I den reviderade modellen (daterad 1995) skall maximalnivån med tidsvägning F eller "platå nivån" användas, (platå nivå kallas ibland medelmax och har i de flesta fall ungefär samma nivå som maximalnivån med tidsvägning S) se figur nedan.



## 5. Mätutrustning

### 5.1 Allmänt

Hela mät- och analysystemet, inklusive ev bandspelare, skall uppfylla kraven för klass 1 i IEC 651 för ljudnivåmätare och IEC 804 för integrerande ljudnivåmätare.

Kalibratorer skall uppfylla IEC 942, klass 1. All mätutrustning skall användas enligt de anvisningar som finns i manualen.

Mikrofoner av frifältstyp är att föredra vid tågbullermätningar. Tryckmikrofoner kan också användas. Skillnaden mellan frifält- och tryckmikrofon är väldigt liten i det frekvensområde som är intressant för bestämning av A-vägd ljudtrycksnivå från tåg.

### 5.2 Kalibrering och verifiering

En akustisk kalibrator skall användas för att kontrollera kalibreringsnivån, vid en eller flera frekvenser (mellan 100-2000 Hz), på hela mätkedjan. Denna kontroll skall utföras åtminstone direkt före och efter varje mätserie.

Kalibrera och/eller verifiera instrumenten regelbundet, med spårbar dokumentation, för att kontrollera att instrumenten uppfyller ovan nämnda IEC publikationer. Allmänt accepterade intervall för detta är 2 år för ljudnivåmätare och 1 år för akustiska kalibratorer.

## 6. Mätförfarande

### 6.1 Förberedelser före mätningen

Före man påbörjar en mätning skall man ta reda på vilken eller vilka tågtyper som dominerar ekvivalent och/eller maximal ljudtrycksnivå. Det är vanligt att olika tågtyper är viktigast för ekvivalent och maximal ljudtrycksnivå. Ett sätt att ta reda på detta är att utföra en preliminär mätning på platsen ett annat att genomföra en beräkning med den nordiska beräkningsmodellen. Man måste vid denna bedömning ta hänsyn även till tåglängd och hastighet för de aktuella tågtyperna. För maximalnivån är det väsentligt med tåglängden för de enskilda tågpassagera och för ekvivalentnivån är det viktigt att man tar hänsyn till den totala sammanlagda tåglängden för den tidsperiod som

ekvivalentnivån avser, t ex sammanlagd tåglängd under 24 timmar för dygnsekvivalentnivå.

När man har tagit reda på vilken eller vilka tågtyper som är viktigast att mäta på kan man välja ut en lämplig tidpunkt för att få så tät trafik som möjligt av de dominerande tågtyperna.

Åtminstone 3 olika tågpassager för var och en av de dominerande tågtyper skall ingå i mätserien. Dessutom skall den totala längden på tågen i mätserien överstiga 500 meter för var och en av de dominerande tågtyperna.

### 6.2 Väderlek under mätningen

Vid mättillfället skall marken vara fri från snö och det skall inte heller vara tjäle i marken. Vindhastigheten (vid tågpassagera) skall ej vara högre än 8 m/s vid mikrofonpositionerna. Vinden skall vara i riktning från spåret och mot mätpositionen ( $\pm 60^\circ$ ). Undvik att mäta i regn. Det finns några få situationer då man kan mäta även i annan väderlek än den ovan angivna, information om detta finns i annex A.

Fotnot. Vid regnväder kan mikrofoner och annan utrustning ge felaktiga resultat. Tågbullret kan också till viss del vara annorlunda i regnväder (t ex ljudet då tågen kör i kurvor).

#### 6.2.1 Mätavstånd $\leq 30$ meter

Inga ytterligare krav. Kravet på vindriktning gäller ej i denna position.

#### 6.2.2 Mätavstånd 30 -100 meter

Vindhastigheten, mätt på 1,5 meter över marken, måste vara större än 1 m/s vid tågpassagera. Det skall finnas en "vindkomponent" i riktning från spåret (den del av spåret som bedöms ge mest bidrag till ljudtrycksnivån i mätpositionen) och mot mikrofonerna ( $\pm 60^\circ$ ).

#### 6.2.3 Mätavstånd $>100$ meter

För mätavstånd större än 100 meter är kraven de samma som för avståndet 30-100 meter, förutom en övre gräns för vindhastigheten för att undvika störande bakgrundsbuller i mikrofonen. Bakgrundsbullret måste därför kontrolleras extra noga när vindhastigheten överstiger cirka 5 m/s vid mikrofon positionen.

### 6.3 Mätprocedur

Rapportera följande uppgifter för varje enskild tågpassage som inkluderas i mätserien:

- bullernivå (SEL,  $L_{Amax}$ )
- tågtyp eller annan identifiering
- tågets hastighet
- tågets längd
- andra detaljer av särskilt intresse
- tidpunkt på dygnet då tåget passerade mätplatsen

I kapitel 6.7 finns det flera uppgifter om vad som skall rapporteras.

### 6.3.1 Utomhusmätningar

Valet av mikrofonposition beror i stor utsträckning på syftet med mätningen. Om syftet är att jämföra uppmätta bullernivåer med riktvärden eller andra fastställda gränser, skall mikrofonpositionen väljas i enlighet med vad som anges i dessa dokument.

#### 1) Frifältsposition

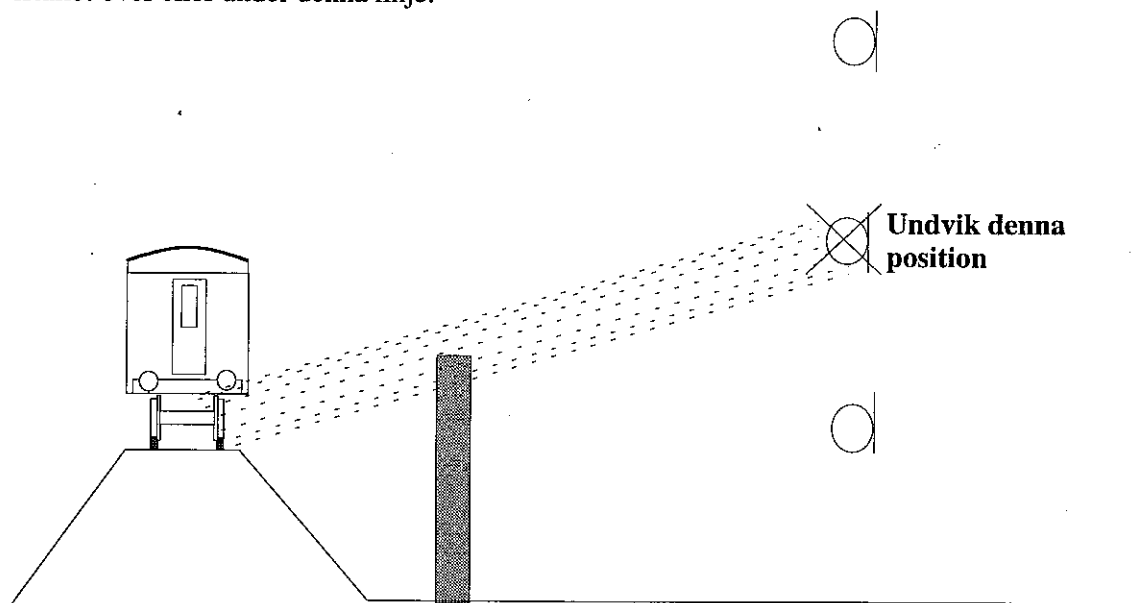
Om det inte finns någon speciell mätposition angiven i t ex riktvärdena så skall man placera mikrofonen 1,5 meter över marken. Denna mätpunkt är att föredra då marken är jämn och/eller i de fall det är fri sikt från spåret till mikrofonpositionen. Mikrofonen skall placeras på ett stativ. Mikrofonpositionen skall vara fri från reflekterande föremål förutom marken. Undantag från detta kan göras för små reflekterande föremål och i andra fall då det kan visas att ljudreflexen inte påverkar bullernivån i mikrofonpositionen (< 0,5 dB).

Fotnot. Om mikrofonpositionen 1,5 meter över marken inte har "fri sikt" till spåret finns risk för att det är dålig reproducerbarhet i den positionen.

#### 2) Jämförande mätningar

I en del situationer kan det vara aktuellt att mäta bullernivån före och efter en ombyggnad eller en annan förändring. I sådana situationer skall mikrofonpositionen väljas så att den är så representativ som möjligt för det område man är intresserad av. Vid denna typ av mätningar är det av stor betydelse att alla parametrar förutom den man avser utreda är oförändrade mellan mättillfällena.

Undvik mikrofonplacering i eller i närheten av linjen "bullerkälla-skärmkrön", mät istället över eller under denna linje.



Figur. Undvik mikrofonplacering i eller i närheten av linjen "bullerkälla-skärmkrön", mät istället över eller under denna linje.

#### 3) Utomhusmätningar nära en byggnad (+6 dB- och +3 dB-position)

När man mäter buller utomhus nära en byggnad bör man i första hand välja en mikrofonposition direkt på fasaden (+6 dB - position). För att betraktas som en +6 dB-position skall mikrofonen vara fastsatt dikt an mot fasaden t ex tejp på ett fönster. För att jämföra det värde man erhåller i denna mikrofonposition med ett frifältsvärde skall man dra bort 6 dB från den uppmätta ljudtrycksnivån. Om fasaden har balkonger eller

andra stora ojämnheter kan man inte använda +6 dB-positionen utan man skall istället placera mikrofonen 0,5-2 meter framför fasaden och då betrakta mätpunkten som en så kallad +3 dB-position. Mätvärden från positionen 0,5-2 meter framför fasaden skall reduceras med 3 dB för att jämföras med ett frifältsvärde.

### 6.3.2 Inomhusmätningar

Mikrofon av tryck eller frifältstyp kan användas.

Vid mätning av tågbuller inomhus skall man välja mikrofonplacering enligt det som anges i Nordtest metod NT ACOU 042, Rooms: Noise Level. Det skall dock observeras att då man mäter tågbuller skall fasta mikrofonpositioner användas (och inte en kontinuerligt roterande mikrofon). De viktigaste anvisningarna i NT ACOU 042 är att det krävs åtminstone 3 mikrofonpositioner slumpmässigt utplacerade i rummet (gäller då rummets volym < 75m<sup>3</sup>). Ingen mikrofonposition får vara närmare rummets begränsningsytor än 0,5 meter och 1 meter från sådana delar som kan antas dominera ljudtransmissionen (t ex fönster eller friskluftsventiler). Mera detaljerad information om detta finns i NT ACOU 042.

### 6.3.3 Metod för att mäta i "flera punkter" med två ljudnivåmätare

I en del mätsituationer är det nödvändigt att mäta i fler än två positioner samtidigt. Har man inte tillgång till ett flerkansalinstrument beskrivs här ett alternativt förfarande som kräver två mätkanaler eller två ljudnivåmätare.

Välj ut en mätpunkt, den viktigaste, att använda som en referensposition under hela mätningen. I denna position skall alla tågpassager som ingår i mätserien registreras. Den andra mätpunkten skall flyttas mellan de övriga positionerna. För slutresultatet vid denna mätuppställning gäller att medelvärdesberäkning (enligt kapitel 6.5.1 och 6.5.2) utförs endast för referenspositionen. Resultatet för övriga positioner är slutresultatet i referenspositionen och skillnaden mellan, de enskilda tågpassagerna i referenspositionen och den andra positionen. I annex 3 visas ett exempel på detta.

### 6.4 Bakgrundsnivå

Den A-vägda ekvivalenta bakgrundsnivån, inklusive instrumentbrus, skall vara åtminstone 15 dB högre än den maximala ljudtrycksnivån under tågpassagen. Detta gäller för alla mikrofonpositioner. Vindbrus betraktas också som bakgrundsbuller och skall därför kontrolleras så att det inte påverkar bullernivåerna från tågen.

### 6.5 Beräkning av slutresultat

#### 6.5.1 Beräkning av $L_{Aeq}$ för hela eller delar av dygn

Som utgångspunkt skall alla tågpassager som registreras betraktas som typiska för platsen. Kontrollera och rapportera tågens hastighet. Om man ändå bedömer att en tågpassage av olika skäl inte är representativ kan den uteslutas vid resultatberäkningen.

Samtliga värden på  $L_{AE}$  för varje enskild tågtyp skall summeras. Längden på tågen mätserien skall summeras och normaliseras till den verkliga tåglängden (för den aktuella tågtypen) under den del av dygnet som ekvivalentnivån avser.  $L_{AE,typ}$  beräknas separat för varje tågtyp enligt formlerna:

$$L_{AE,typ} = 10 \lg \left[ \left( \frac{L_{typ}}{l_{type}} \right) (10^{L_{AE,1}/10} + 10^{L_{AE,2}/10} + \dots + 10^{L_{AE,n}/10}) \right] \quad (3)$$

där,

$L_{typ}$  = total längd under den aktuella tidsperioden för tågtypen, meter

$l_{type}$  = tåglängd som registrerats i mätserien för den aktuella tågtypen, meter

$L_{AE,1}, L_{AE,2} \dots$  = SEL för tågpassage nr 1, 2... av den aktuella tågtypen, dB

Slutligen beräknas den totala ekvivalenta ljudtrycksnivån för alla tågtyper på sträckan:

$$L_{eq,T} = -10 \lg(3600T) + 10 \lg [10^{L_{AE,typ1}/10} + 10^{L_{AE,typ2}/10} + \dots] \quad (4)$$

där,

T = (timmar), kan vara en valfri del av dygnet

$L_{AE,typ1}, L_{AE,typ2}$  = Total  $L_{AE}$  enligt ekvation (3), för tåg typ 1, 2...

### 6.5.2 Beräkning av maximal ljudtrycksnivå

Slutresultatet,  $L_{Amax}$ , för den A-vägda maximala ljudtrycksnivån är energimedelvärdet av samtliga tågpassager av den bullrigaste tågtypen enligt formeln:

$$L_{Amax} = 10 \lg \left( \frac{10^{\frac{L_{1,max}}{10}} + 10^{\frac{L_{2,max}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{n,max}}{10}}}{n} \right) \quad (5)$$

där,

$L_{1,max}$  = Maximalnivån för tågpassage nummer 1 av den aktuella tågtypen.

$L_{Amax}$  beräknas för varje tågtyp och slutresultatet är  $L_{Amax}$  för den tågtyp som gav det högsta värdet.

### 6.6 Mätosäkerhet

En nordisk jämförelsemätning med 4 deltagare är genomförd. Mätning och beräkning av tågbullerimmission enligt Nordtestmetoden utfördes, enskilt av varje deltagare, i en och samma position 100 meter från spåret. Resultatet av denna jämförelsemätning samt en diskussion i projektgruppen visar att mätosäkerheten är 2 dB för ekvivalent ljudtrycksnivå och 5 dB maximalnivån.

### 6.7 Presentation av resultat

Mätrapporten skall innehålla följande information, i de fall den är relevant:

- 1) Mätresultat
- 2) Syftet med mätningen
- 3) Namn och adress på de företag som utförde mätningen
- 4) Identifiering på de tågpassager som inkluderats i mätserien. T ex tågtyp, längd och hastighet mm för de enskilda passagera.
- 5) Beskrivning av andra villkor vid mätplatsen t ex uppgifter om spårtyp och spårens skick, väderbetingelser under mätningen (vindhastighet, vindriktning etc)
- 6) Mätdatum
- 7) Uppgift om mätmetod och använda mikrofonpositioner
- 8) Eventuell avvikelse från mätmetoden
- 9) Förteckning över använda instrument och övrig utrustning
- 10) Princip för hur man valt ut de dominerade tågtyperna samt val av tidpunkt för mätning och andra liknande detaljer.
- 11) Mätningens osäkerhet
- 12) Namn och adress på den person eller organisation som beställde mätningen
- 13) Nummer eller annan identifikation av mätrapporten.
- 14) Datum och signatur
- 15) Skiss över mätplatsen (med relevanta höjder och avstånd angivna)

## Annex 1 - informering

### Mätningar i andra väderförhållande och med instrument av typ klass 2

Det finns tillfällen då man är tvungen att avvika från den beskrivna mätmetoden. I detta annex ges några förslag på hur man kan gå tillväga när man inte kan uppfylla alla krav som nämns i metoden. Det är viktigt att notera att ansvaret för i vilka situationer man kan använda de föreslagna modifieringar vilar helt och hållet på den som utför mätningen. I mät rapporten skall det klart framgå på vilka punkter modifieringar införts och på vilket sätt.

#### Mätutrustning - allmänt

Hela mätkedjan skall åtminstone uppfylla kraven för klass 2 enligt IEC 651.

#### Kalibrering och verifiering

Kontrollera ditt instrument regelbundet. Allmänt accepterade intervall för detta är en gång om året. Kontrollen skall inkludera åtminstone frekvenskarakteristik och dynamisk karakteristisk så som kontroll av medelvärdesbildning och tidsvägning. Det instrument som används för kontrollen skall kalibreras, med spårbar dokumentation, åtminstone en gång om året.

#### Väderlek under mätningen - Mätavstånd större än 30 meter

Om vindriktningen är "åt fel håll" och man ändå måste utföra mätningen kan man tillämpa något av följande alternativ. Det måste dock upprepas att man inte urskillningslöst kan tillämpa dessa anvisningar utan det måste bedömas från fall till fall och ansvaret för detta ankommer helt och hållet på den som utför mätningen.

- Flytta mikrofonen närmare spåret, ca 25 meter från spårmittpunkt. Den bullernivå som registreras nära spåret måste sedan räknas om till det aktuella avståndet. Den nordiska beräkningsmodellen kan användas för denna beräkning.
- Flytta mikrofonen till "rätt" avstånd men på andra sidan av spåret, dvs där vindriktningen är på rätt håll. För att detta skall ge korrekta bullernivåer krävs att terrängen på båda sidor om spåret är likvärdig ur bullersynpunkt.
- Använd en högre mikrofonposition. Som ett exempel kan nämnas att en position 4-5 meter över marken påverkas mindre av att det blåser från fel håll än vad en position 1,5 meter över marken gör.

#### Mätosäkerhet

När någon eller några av de i detta annex föreslagna modifieringar används kan mätosäkerheten öka i förhållande till vad som anges i metoden.

## Annex 2 - informering

### Information om skillnaden mellan tidsvägning F och S.

Skillnaden på maximal A-vägd ljudtrycksnivå mätt med tidsvägning F eller S har diskuterats åtskilliga gånger bland skandinaviska akustiker. I [A2.1] finns följande information:

Mätavstånd	Medelvärde av skillnaden	Största enskilda skillnad	Minsta enskilda skillnad	Antal tågpassager i mätserien
20-30 meter	1,7 dB	4,3 dB	0,5 dB	450
100 meter	0,9 dB	2,2 dB	0,3 dB	25
250 meter	0,7 dB	2,4 dB	0 dB	25

I tabellen visas det aritmetiska medelvärdet av skillnaden mellan  $L_{Amax,F}$  och  $L_{Amax,S}$ , den största och minsta enskilda skillnaden för en enskild tågpassage i mätserien. I sista kolumnen finns uppgifter om antalet tåg som ingått i mätningen.

Slutsatsen av det ovan nämnda är att tidsvägningen blir av mindre och mindre betydelse ju längre från spåret man befinner sig. På avståndet 100 meter från spåret är skillnaden i medeltal mindre än 1 dB (i medelvärde).

De i tabellen angivna korrektionsvärdena kan användas tills vidare, där så erfordras.

#### Referenser:

[A2.1] SP rapport 94F36057, 1994-08-23. "Mätning av maximala bullernivåer från tåg, med tidsvägning F och S".

[A2.2] PM 93-08-09 Conny Larsson, Department of meteorology Uppsala University "Väderinverkan på val av integrationstiden fast eller slow".



## Annex 3 - informering

### Exempel på en mätning i 5 positioner utförd med 2 ljudnivåmätare.

I detta annex visas ett exempel på hur man kan mäta i flera positioner med endast två ljudnivåmätare tillgängliga.

Principiellt bygger mätproceduren på att en av ljudnivåmätarna placeras i en så kallad referensposition och står där under hela mätningen och registrerar samtliga tåg. Det är lämpligt att använda den mest intressanta positionen, då en sådan finns för detta. Den andra ljudnivåmätaren flyttas mellan övriga intressanta så kallade tilläggspositioner, ute- och/eller inomhus. Försök att registrera ungefär lika många tågpassager i alla tilläggspositioner.

I exemplet nedan visas hur beräkningen av slutresultatet utförs då man mätt ljudtrycksnivån i en referensposition och fyra tilläggspositioner (en utomhus och 3 inne i ett rum). 15 tågpassager har registrerats under mätserien och det finns två olika tågtyper på den aktuella banan.

Tågtyp	referensposition	tilläggsposition utomhus	tilläggsposition inomhus pos 1	tilläggsposition inomhus pos 2	tilläggsposition inomhus pos 3	Skillnad, $\Delta L$ inomhus-ref	Skillnad $\Delta L$ tilläggspos.-referens
typ 1	82,3	79,2					-3,1
typ 2	77,8	76,1					-1,7
typ 2	77,5	77					-0,5
typ 1	84,4	84					-0,4
typ 1	79,8	75					-4,8
typ 1	78,3		41,5			-36,8	
typ 2	76,6		50			-26,6	
typ 2	77,4		47,5			-29,9	
typ 1	86,5			51,5		-35	
typ 1	66,1			36,1		-30	
typ 1	82,3			45,8		-36,5	
typ 1	85				55,2	-29,8	
typ 2	83,3				59,7	-23,6	
typ 1	83,2				48,2	-35	
typ 1	84,6				57	-27,6	

Endast resultatet i referenspositionen skall beräknas enligt de formler som anges i kapitel 6.7. Tilläggspositionerna skall beräknas enligt det som anges nedan:

Beräkna termerna  $\Delta L_{\text{inne}}$  och  $\Delta L_{\text{tilläggsposition.utomhus}}$

$$\Delta L_{\text{inne}} = -10 \lg \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (10^{\Delta L_i / 10})$$

n = antal tåg i mätserien.

$$\Delta L_{\text{inne}} = -10 \lg \left[ \frac{1}{n} (10^{-3,68} + 10^{-2,66} + 10^{-2,99} + 10^{-3,5} + 10^{-3,0} + 10^{-3,65} + 10^{-2,98} + 10^{-2,36} + 10^{-3,5} + 10^{-2,76}) \right]$$

= 29,1 dB

$$\Delta L_{\text{inne}} = 29,1 \text{ dB}$$

$$\Delta L_{\text{tilläggsposition.utomhus}} = -10 \lg \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (10^{-\Delta L_i / 10})$$

$$\Delta L_{\text{tilläggsposition.utomhus}} = -10 \lg \left[ \frac{1}{n} (10^{-0,31} + 10^{-0,17} + 10^{-0,05} + 10^{-0,04} + 10^{-0,48}) \right] = 1,8 \text{ dB}$$

$$\Delta L_{\text{tilläggsposition.utomhus}} = 1,8 \text{ dB}$$

Slutligen skall termerna  $\Delta L_{\text{tilläggsposition.utomhus}}$  och  $\Delta L_{\text{inne}}$  subtraheras från resultatet (beräknat enligt kapitel 6.7) i referenspositionen.

## Bilaga

1. Sammanställning av samtliga enskilda tågpassager
2. Mätrapport från VTT
3. Mätrapport från SP
4. Mätrapport från Kilde Akustikk
5. Mätrapport från DSB

VTT

VTT	tidpunkt	tågtyp	tåglängd	hastighet	SEL		LAmxF		Ref.pos	
					1,5 meter	4 meter	1,5 meter	4 meter	SEL	LAmxF
	13,47 X2		140	180	89	90,6	83,3	84,9	-	-
	14,06 PT		197	154	91,2	92,1	84,3	86,2	97,6	93,2
	14,3 X2		140	193	86,8	88,2	84,1	84,6	95,1	94,5
	15,25 GT		618	78	96,1	96,5	83,6	84,5	103,5	91,5
	15,48 PT		197	154	93,2	95,2	87,2	89,3	101,3	97
	16,05 PT		197	161	90,9	91,5	84,9	86	97	92,4
	16,19 GT		535	82	95,9		83,4		103,5	91,8
	16,33 X2		140	187	95,3	94,6	90,1	89,2	100,5	97,4
	16,45 X2		140	202	90,3	90,9	85,2	85,7	96,3	93,2
	16,47 PT		327	149	95,1	96	88,3	88,2	102,2	96,4
	17,11 PT		119	130	92		86,2		97,9	92,9
	17,14 GT		240	87	92,8		83,9		99,9	91,5
	17,21 GT		256	96	93,6		84,6		92	99,7
	17,36 X2		140	180	93,2		88,6		99	95
	8,23 PT		197	142	95	95,4	89,8	87,9	101,2	95,8
	9,16 X2		140	194	88,4	91,9	83,9	86,6	96,7	93,3
	9,42 X2		140	194	88,7	91,4	83,2	86,3	96,1	93
	9,45 GT		520	68	90,9	93,3	88,6	85,4	98,6	91,1
	9,47 PT		223	152	93,3	96,1	87,4	89,8	101,2	95,4
	10,17 PT		327	140	91,7	93,1	83,9	84,3	97,8	91,4
	10,28 PT		171	147	89,6	91,5	83,5	85,2	96,9	92,8
	10,33 X2		140	163	88,1	89,1	82,7	83,4	95,1	92,2

SP

tidpunkt	tågtyp	tåglängd	hastighet	SEL		LAmxF		Ref.pos SEL	Ref.pos LAmxF
				1,5 meter	4 meter	1,5 meter	4 meter		
	PT			93		86,9			
	PT			88,4		82,8			
	PT	327		93,4	96,3	86,4	88,2	100	93,5
	PT	197	142	95,7		88,5	88,2		95,6
	PT	249	159	95,2	96,8	88,8	89	102,3	96,5
	PT	197	166	86,9	95,9	80,6	88,4	99,7	94
	PT	275	127	93,5	97,9	87,6	90,7	102,9	95,4
	PT	171	170	90,1	95,3	84,6	88,3	100,5	96,1
	PT	301	133	86,6	98,7	79,8	91,6	103,9	97
	PT	223	155	84	92,4	77,7	86,1	97,1	88,9
	GT	264	92	94,5	93,2	85,8	83,7	98,8	91,6
	GT	398	87	92,2	91	81,8	81,1	97,3	89,7
	GT	602	85	96,2	95,4	84,3	82,8	101,4	90
	GT	322	92	92	97,7	82,9	88,1	103	93,4
	GT	131	95	76,1	88,9	69,1	81,9	95,2	89
	X2	140	183	89,4		85,4	89,7		95,7
	X2	140	155	89,2	90,8	84,2	84,9	96,3	93,1
	X2	140			92,5		87,8	98,8	94,8
	X2	140	180	93,8	92,6	89,4	87,5	98,8	94,9
	X2	140	180	90,5	89,1	84,6	83,3	95,7	92,6
	X2	140	164	79,2	91	65,8	86,4	96,1	93,3
	X2	140	179	85,9	93,7	82,9	89,7	100	95,9

Sida 1

DSB

tidpunkt	tågtyp	tåglängd	hastighet	SEL		LAmxF		Ref.pos SEL	Ref.pos LAmxF
				1,5 meter	4 meter	1,5 meter	4 meter		
9,47	X2	140	182		89,2	83	83	96,8	92,7
9,5	PT	216	142		93,6	86	86	101,3	96
10,41	X2	140	206		88,7	83,5	83,5	95,4	91,6
11	PT	316	165		93,6	85	85	98,9	93
11,04	PT	241	151		91,6	85	84,7	98,7	93
11,1	GT	272	91		94,6	84	84,6	101,9	93,6
11,18	GT	430	103		94,7	84	83,7	101,1	90,5
11,37	X2	140	191		91,5	87	85,9	99,8	96,6
11,55	PT	216	156		94,3	87	87,7	101,6	96,6
12,06	PT	191	143		91,1	84	84,9	96,9	91,8
12,16	GT	143	90		90	81	81,9	97,3	90,6
13,21	GT	310	79		91	80	80,8	97,2	89
13,35	X2	140	201		91,2	87	86,7	99,5	96
13,51	PT	191			92,8	85	85,6	100,3	95,2
13,55	X2	140	193		88,8	82,5	83,8	96,3	93,4
14,1	PT	166	152		90,3	83	83,9	97,2	92,2
15,16	GT	282	87		91,3	81,5	81,6	98,5	90,7
15,5	PT	197	147		91,7	84	84,3	99,7	94
16,04	PT	197	136		91	82,5	83,9	98,2	93,2
16,09	GT	474	97		93,4	82	82,3	100,5	90,1
16,35	X2	140	166		89,9	85	84,4	98,7	95,3
16,43	X2	140	210		89,3	83	84,2	96,5	93,9
17,1	PT	202	151		90,4	84	84,2	98,2	93,5
17,35	X2	140	177		91,7	86,5	86,5	100,5	96,6
17,43	PT	301	166		91,5	83,5	83,3	100,4	93,8
17,51	PT	171	139		91,2	84,5	84,4	99,9	94,2
18,2	PT	241	127		91	84	83,9	98,5	93,3
18,35	X2	140	187		91	86	85,8	99,6	96,7
18,46	X2	140	196		89,1	84	83,7	96,4	93,3
19	GT		113		95	85	87,9	101,4	101,4 tutade

Sida 1

Kilde

KILDE AKUSTIKK	tidpunkt	tågtyp	tåglængd	hastighet	SEL		L <sub>AmaxF</sub>		Ref.pos	
					1,5 meter	4 meter	1,5 meter	4 meter	SEL	L <sub>AmaxF</sub>
	15,22	GT	273	71	90,9	93,7	82,2	84,6	99,7	91,6
	15,47	PT	206	158	90,1	95,4	84,3	89,9	102,1	97,2
	16,01	PT	194	157	90,3	92,1	83,7	85,5	97,4	92,5
	16,18	GT	492	106	97,3	97,2	87	86,2	103	93,6
	16,33	X2	140	198	93,6	93,6	89,6	89,2	100,4	97,3
	16,43	X2	140	197	89	89,2	84,2	84,3	96,1	93,6
	16,48	PT	295	150	94,9	95,6	88,4	87,9	101,2	94
	17,06	PT	153	156	90,2	90,5	83,9	83,8	96,7	91,8
	17,19	GT	290	75	95,2	95,8	85,1	85,1	-	-
	17,33	X2	140	200	93,3	92,4	88,6	87,5	99,6	96,1
	17,44	arb.vagn	25	62	74,8	75,3	68,4	69,4	81,5	77,8
	17,46	PT	197	160	93,3	93	86,9	86,7	100,3	95,3
	18,04	PT	216	155	92,7	93	86,6	85,9	99,1	93,6
	18,35	X2	140	193	93,2	-	88,6	-	99,7	96,7
	18,37	X2	140	187	90,6	89,9	85,1	84,8	96,5	93,6
	18,55	GT	507	77	97,1	97,1	85,4	84,4	103	91,4
	19,01	GT	173	73	92,5	92,7	83,9	83,9	99	91
	19,15	GT	184	89	89,7	90,3	81	82,1	96,1	88,7
	19,35	X2	140	187	88,7	89,8	83,1	84,2	95,5	91,5
	19,46	PT	207	162	96	94,9	89,1	88,2	101,8	97
	9,11	X2	140	184	89,4	89,2	83,7	84,5	95,4	93,1
	9,35	X2	140	167	88	88,4	82,2	82,9	94,7	91,4
	9,48	PT	210	133	94,4	92,5	87	85,3	99,5	93,4
	10,13	PT	272	131	91,3	91,6	82,9	83,1	97,5	90,3
	10,24	X2	127	176	90,6	90,9	85,2	85,7	97,6	93,8
	10,29	PT	166	89	86	87,1	77,9	78,9	93,1	86
	11,08	GT	387	90	96,1	95,2	85,7	84,7	101,2	91,3
	11,12	GT	276	95	96,2	95,3	87	85,7	102,3	93,4
	11,34	X2	127	183	92,2	90,9	87,6	86,4	99,6	96,2
	11,47	PT	208	144	95,9	95,9	89,4	89,4	102,1	96,8
	12,02	PT	181	151	92	92,5	85,9	85,9	98	93,4
	12,28	GT	238	95	91,5	91,7	82,2	83,4	97,9	90,2

Sida 1

**NORDTEST PROJECT 1150-94 : Jämförande mätningar - tågbullerimmission**

Train noise measurements 3.- 4.5. 1995 carried out by VTT (Raimo Eurasto)

**Measurement place:** Vårgårda

**Measurement points:** Measurement points were situated at a distance of 100 m from the centreline of two pair of rails. Microphone heights were 1,5 m and 4,0 m from the local ground level.

**Measurement equipment:**

1,5 m (measurement point a) : B&K 2231 sound level meter (ser. no 1588130) + B&K 4155 condenser microphone (ser. no 1603769)

4 m (measurement point b) : B&K 2231 sound level meter (ser. no 1717218) + B&K 4155 condenser microphone (ser. no 1729351)

B&K 4230 sound level calibrator

Fluke temperature meter

Windy wind speed meter

Citizen stop watch

**Measurement method:** For each train passage the following information were measured and/or determined :

- sound exposure level  $L_{AE}$
- maximum sound level  $L_{AFmax}$
- passing time of the train (with the stopwatch)
- type of the train (1 = X2 snabbtåg, 2 = persontåg, 3 = godståg)
- number of carriages
- rail used

**Measurement conditions:**

3.5.95 wind speed 2 - 15 m/s, gusty, direction towards the measurement point (60° to the right from the perpendicular line to the rails), rain after 17.00. Measurements were stopped after measurement nr 14 due to too heavy rain. Because of the rain, measurements 7, 11, 12, 13 and 14 have only the 1,5 m result (4 m microphone had a plastic bag over it). Temperature 18°C - 13°C.

4.5.95 wind speed 0-5 m/s, direction towards the measurement point (30° to the right from the perpendicular line to the rails). Temperature 8°C - 15°C.

**Measurement results:** Measurement results (measurements 1 - 14 3.5.95 and measurements 15 - 22 4.5.95) are shown in appendix 1.

**Calculation of the 24-hour A-weighted equivalent level**

Calculations have been carried out according to the clause 6.7.1 of the second draft : Rail traffic - noise. For each three types of trains  $L_{AE,type}$  has been calculated.

**Snabbtåg X2** (total length for 24 hours 2660 m, measured length 560 m)

- Measurements 1, 9, 16 and 17 have been used (nr 3 has some doubt about the length, nr 22 has too slow speed compared to the others; nr 8 and nr 14 differ, for some reason, too much from the others).

$$L_{AE1,5m} = 102.0 \text{ dB}$$

$$L_{AE4m} = 104.0 \text{ dB}$$

**Persontåg** (total length for 24 hours 5256 m, measured length 1312 m)

- Measurements 2, 5, 6, 10, 19 and 21 have been used (nr 11, nr 15 and nr 20 have too slow speed compared to the others).

$$L_{AE1,5m} = 106.4 \text{ dB}$$

$$L_{AE4m} = 108.0 \text{ dB}$$

**Godståg** (total length for 24 hours 15934 m, measured length 1393 m)

- Measurement 4, 7 and 12 have been used (nr 13 has too high speed compared to the others and nr 18 was spoiled because of an alarm signal from the train).

$$L_{AE1,5m} = 110.5 \text{ dB}$$

$$L_{AE4m} = 110.6 \text{ dB (only measurement 4 has been used)}$$

The 24-hour A-weighted equivalent level for all train types is

$$L_{Aeq24h} = 63 \text{ dB (1,5 m)}$$

$$L_{Aeq24h} = 64 \text{ dB (4 m)}$$

**Calculation of the A-weighted maximum level**

Highest maximum levels are produced by train type 2 (persontåg).

According to the measurement method the maximum level is (measurements 2, 5, 6, 10, 19 and 21 are used) :

$$L_{AFmax} = 86 \text{ dB (1.5 m)}$$

$$L_{AFmax} = 88 \text{ dB (4 m)}$$



mikr. höjd  
 $a = 1,5 \text{ m}$   
 $b = 4 \text{ m}$

meas. nr.	rail	type	length (m)	pass. time(s)	speed (km/h)	time	LAE (dB)	LAFmax (dB)
1a	2	r2.1	140	2.8	180	13.47	89.0	83.3
1b							90.6	84.9
2a	2	r2	197	4.6	154	14.06	91.2	84.3
2b							92.1	86.2
3a	1	1	140	1.7	193	14.30	86.8	84.1
3b							88.2	84.6
4a	1	r3	618	28.6	78	15.25	96.1	83.6
4b							96.5	84.5
5a	1	2	197	4.6	154	15.48	93.2	87.2
5b							95.2	89.3
6a	2	2	197	4.4	161	16.05	90.9	84.9
6b							91.5	86.0
7a	1	3	535	23.4	82	16.19	95.9	83.4
7b								
8a	1	1	140	2.7	187	16.33	95.3	90.1
8b							94.6	89.2
9a	2	1	140	2.5	202	16.45	90.3	85.2
9b							90.9	85.7
10a	1	2	327	7.9	149	16.47	95.1	88.3
10b							96.0	88.2
11a	1	2	119	3.3	130	17.11	92.0	86.2
11b								
12a	2	3	240	9.9	87	17.14	92.8	83.9
12b								
13a	2	3	256	9.6	96	17.21	93.6	84.6
13b								
14a	1	1	140	2.8	180	17.36	93.2	88.6
14b								
15a	1	2	197	5.0	142	8.23	95.0	89.8
15b							95.4	87.9
16a	2	1	140	2.6	194	9.16	88.4	83.9
16b							91.9	86.6
17a	2	1	140	2.6	194	9.42	88.7	83.2
17b							91.4	86.3
18a	2	3	520	27.5	68	9.45	90.9	88.6
18b							93.3	85.4
19a	1	2	223	5.3	152	9.47	93.3	87.4
19b							96.1	89.8
20a	2	2	327	8.4	140	10.17	91.7	83.9
20b							93.1	84.3
21a	2	2	171	4.2	147	10.28	89.6	83.5
21b							91.5	85.2
22a	2	1	140	3.1	163	10.33	88.1	82.7
22b							89.1	83.4

Handläggare, enhet/Handled by, department  
 Clara Göransson, cg  
 Fysik och elteknik  
 Tel: +46 (0)33 16 54 25

Datum/Date  
 1995-06-02

Beteckning/Reference  
 95F36057

Sida/Page  
 1 (2)

## Jämförelsemätning, tågbullerimmission

### Uppdrag

SP deltar som ett av fyra mätlag vid utprovnigen av en föreslagen Nordtest-mätmetod för tågbullerimmission. Mätningarna är utförda i samma position av alla mätlag men under olika dagar, med olika instrument och på olika antal tågpassager. Vi har inte heller kommunicerat om hur mätningen skall gå till, utan varje lag har genomfört sin mätning självständigt.

### Mätplats

Vårgårda, Hoberg 100 meter från närmsta spårmit, vinkelrätt från stoppe 30a. Mikrofonerna var placerade 1,5 och 4 meter över marken.

### Mätdatum

1995-04-11 och 1995-05-24

### Resultat

Slutresultat A-vägd dygnsekvivalent och maximal ljudtrycksnivå.

	Avstånd 100 meter Höjd 1,5 m ö m	Avstånd 100 meter Höjd 4 m ö m
A-vägd dygnsekvivalentnivå	62 dB	64 dB
A-vägd maximalnivå	86 dB	89 dB

Tre olika utvärderingar är genomförda:

1. Omfattar alla tågpassager som ingått i mätserien (tåg som passerade med onormalt låg hastighet har uteslutits).

A-vägd dygnsekvivalentnivå	Avstånd 100 meter Höjd 1,5 m ö m	Avstånd 100 meter Höjd 4 m ö m	Avstånd 25 meter Höjd 4 m ö m
	62 dB	64 dB	70 dB
A-vägd maximalnivå			
Godståg	83 dB	84 dB	91 dB
Persontåg	86 dB	89 dB	95 dB
Snabbtåg, X2	85 dB	88 dB	95 dB

2. Omfattar endast tre tågpassager av varje tågtyp. Endast de passager som gett de lägsta nivåerna i referenspunkten är medräknade (avsikten med denna utvärdering är att få en

uppfattning om spridningen i resultatet t. ex. om man av endast registrerat de tre tystaste passagererna). Även här har dock tåg som passerat med onormalt låg hastighet uteslutits.

A-vägd dygns-ekvivalentnivå	Avstånd 100 meter Höjd 1,5 m ö m	Avstånd 100 meter Höjd 4 m ö m	Avstånd 25 meter Höjd 4 m ö m
	62 dB	60 dB	68 dB
<b>A-vägd maximalnivå</b>			
Godståg	83 dB	86 dB	90 dB
Persontåg	83 dB	88 dB	93 dB
Snabbtåg, X2	83 dB	85 dB	93 dB

3. Omfattar endast tre tågpassager av varje tågtyp. Endast de passager som gett de högsta nivåerna i referenspunkten är medräknade (avsikten med denna utvärdering är att få en uppfattning om spridningen i resultatet t. ex. om man endast registrerat de tre bullrigaste passagererna).

A-vägd dygns-ekvivalentnivå	Avstånd 100 meter Höjd 1,5 m ö m	Avstånd 100 meter Höjd 4 m ö m	Avstånd 25 meter Höjd 4 m ö m
	63 dB	66 dB	71 dB
<b>A-vägd maximalnivå</b>			
Godståg	85 dB	86 dB	92 dB
Persontåg	87 dB	91 dB	96 dB
Snabbtåg, X2	87 dB	88 dB	95 dB

#### Mätutrustning

100 meter/1,5 meter över marken:

B&K 2230 med tillhörande mikrofon samt vindskydd

100 meter/4 meter över marken:

L&D 2900 ch 2, Förförst. 900B nr 2435, mik 2541 nr 3003

25 meter/4 meter över marken:

L&D 2900 ch 1, Förförst. 900B nr 1842, mik 2541 nr 3290

En DAT-bandspelare har använts som extra instrument.

Akustisk kalibrator: B&K 4231 serie no. 1730793

Vindmätare: Silva

#### Väderlek under mätningen

1995-04-11: Vind från spåret och mot mätpunkten ± 45°, vindstyrka 0,5-2,5 m/s.

1995-05-24: Svaga vindar 0,5-2 m/s huvudsakligen från spåret och mot mätpunkten.

#### Mätpersonal

Tomas Ström och Clara Göransson

GT+PT+X2

11/4 -95	Hastighet	Tågtyp	lokl/tot	Passagetid	vagnar	riktning	25m/4m		100m/4m		100m/1,5m		Max F	Max F
							SEL	Max F	SEL	Max F	SEL	Max F		
	183 X2		1,18/4,06*	140 m	Sthlm		95,7	89,7	89,4	85,4				
	155 X2		1,39/4,06*	140 m	Gbg	96,3	93,1	90,8	84,9	89,2	84,2			
		X2	missat	140 m	Sthlm	98,8	94,8	92,5	87,8					
	180 X2		1,2/2,75	140 m	Sthlm	98,8	94,9	92,6	87,5	93,8	89,4			
	180 X2		1,20/2,75	140 m	Gbg	95,7	92,6	89,1	83,3	90,5	84,6			
	126B+02 X2		1,71/5,56		Gbg	93,1E+01	8,95E+01	8,77E+01	8,06E+01	8,16E+01	7,58E+01			
	164 X2		1,32/2,8		Gbg	96,1	93,3	91	86,4	79,2	65,8			
	179 X2		1,21/2,66	140 m	Sth	100	95,9	93,7	89,7	85,9	82,9			
						LAE,type				102,6				
						LAmx				104,7				
														85,2
														87,6

		Dygnslängd: 15934 meter													
		lok/tot	Passagetid vagnar	färdriktni	25m/4m SEL	25m/4m Max F	100m/4m SEL	100m/4m Max F	100m/1,5n SEL	100m/1,5n Max F	100m/1,5n SEL	100m/1,5n Max F	tåglängd		
11/4 -95	Hastighet	92 GT	2,34/10,30	22 Gbg	98,8	91,6	93,2	83,7	94,5	85,8	94,5	85,8	264		
		87 GT	2,49/16,53	27 Gbg	97,3	89,7	91	81,1	92,2	81,8	92,2	81,8	398		
		85 GT	2,53/25,38	39 Sthlm	101,4	90	95,4	82,8	96,2	84,3	96,2	84,3	602		
25/5-95	Hastighet	92 GT	2,35/12,62	23 (tomma mot STH)	103	93,4	97,7	88,1	92	82,9	92	82,9	322		
		95 GT	2,28/4,97	7+1 lång mot Sth	95,2	89	88,9	81,9	76,1	69,1	76,1	69,1	131		
				LAmaz		91		84,3		83					
				LAE,type	116,7		111		109,8						

		Dygnslängd: 5256 meter													
		lok/tot	Passagetid vagnar	färdriktni	25m/4m SEL	25m/4m Max F	100m/4m SEL	100m/4m Max F	100m/1,5n SEL	100m/1,5n Max F	100m/1,5n SEL	100m/1,5n Max F	längd		
11/4 -95	Hastighet	PT		Sthlm					93	86,9					
		PT		Gbg					88,4	82,8					
kl 16,50		PT	missat	12 Sthlm	100	93,5	96,3	88,2	93,4	86,4			327		
kl 17,31		PT	1,52/4,72	7 Sthlm		95,6		88,2	95,7	88,5			197		
		PT	1,36/6,06	9 mot Sth	102,3	96,5	96,8	89	95,2	88,8			249		
		PT	1,30/5,82	7 mot Gbg	99,7	94	95,9	88,4	86,9	80,6			197		
		PT	1,70/6,76	10 mot Sth	102,9	95,4	97,9	90,7	93,5	87,6			275		
		PT	2,47/15,29	12 mot Gbg	92,1	82,8	86,9	76,1	79	69,6	låg hastigh				
		PT	1,27/3,81	6 mot Gbg	100,5	96,1	95,3	88,3	90,1	84,6			171		
		PT	1,62/6,99	11 mot Sth	103,9	97	98,7	91,6	86,6	79,8			301		
		PT	1,39/5,28	8 mot Gbg	97,1	88,9	92,4	86,1	84	77,7			223		
				LAmaz		95,1		89,1		85,8					
				LAE,type	114,6		109,8		105,7						



Beräkning av dygnsekvivalent nivå	25m/4m	100m/4m	100m/1,5m
	1 LAE,X2	110	104
2 LAE,GT	116,7	111	109,8
3 LAE,PT	114,6	109,8	105,7
$10\lg(1+2+3)$	119,33	113,92	111,79
$-10\lg(24 \times 60 \times 60)$	-49,37	-49,37	-49,37
<b>LAeq,24h</b>	<b>70 dBA</b>	<b>64 dBA</b>	<b>62 dBA</b>
Maximalnivå F			
1 GT	91	84,3	83
2 PT	95,1	89,1	85,8
3 X2	94,5	87,6	85,2
<b>LAmix,F</b>	<b>95 dBA</b>	<b>89 dBA</b>	<b>86 dBA</b>

## TOGSTØY IMMISJONSMÅLINGER

Nordtest prosjekt 1150-94

P94023.1

Sveriges Provnings- og forskningsinstitut

Kontaktperson: Clara Gøranson, Tomas Strøm

KILDE Notat N515

Bergen 16.06.95

Frode Eikeland

9 sider

## KONKLUSJON

## Maksimalt lydnivå

(for tog ved gjeldende fartsgrense):

 $L_{A \max} = 87.4$  dBA, (Fast) Mikrofonhøyde 4 m $L_{A \max} = 88.2$  dBA, (Fast) Mikrofonhøyde 1.5 m

Maksimalt lydnivå for mest støyende togtype er energi middel av hhv. 3 og 4 passeringer av hurtigtog type X2 i fartsintervall 190-209 km/t. Hurtigtog type X2 gir høyere maksimalnivå enn Gods og Passasjertog. Alternative måter å beregne maksimalt lydnivå er vist på side 6.

## Ekvivalent lydnivå,

(for alle målte tog):

 $L_{eq,24h} = 64.1$  dBA Mikrofonhøyde 4 m $L_{eq,24h} = 64.0$  dBA Mikrofonhøyde 1.5 m

Døgnkvivalent lydnivå er beregnet på grunnlag av målte verdier for alle togpasseringer i måleperioden. Godstoget gir det største bidraget til døgnkvivalentnivået.

Beregner en døgnkvivalent lydnivå på grunnlag av gjeldende fartsgrense (X2 = 200 km/t, Pass = 160 km/t og Gods = 100 km/t)  $\pm 10$  km/t, blir  $L_{eq,24h} = 64.5$  dBA for mikrofonhøyde 4 m og  $L_{eq,24h} = 64.8$  dBA for mikrofonhøyde 1.5 m.

De målte SEL-verdiene er normalisert til trafikkmengde pr. 24 timer: Gods 15 934 m, Pass 5 256 m og X2 2660 m. Maksimalnivåene er ikke normalisert for trafikkmengde. Lydnivåene gjelder for avstand 100 meter fra spor, myk mark mellom spor og målepunkt og gjennomsnittlig sporhøyde ca. 1,7 meter over mark.

## 1. INNLEDNING

KILDE Akustikk a/s har den 02-03.05.95 gjennomført immisjonsmålinger av togstøy i Sverige. Måleposisjon i 100 meters avstand fra jernbanesporet og i 1.5 og 4 meters høyde over lokal mark. Måleresultater fra passering av 9 Godstog, 12 Passasjertog, 10 Hurtigtog X2 og 1 Verkstedsvogn er innhentet.

Notatet gjengir måleresultater som Maksimalnivå (Fast, dBA) og SEL (dBA) for alle enkelttog. Målte verdier er bearbeidet for å gi middelerverdier og døgnkvivalent støynivå.

Resultatene beskrevet i dette notat skal brukes til å sammenligne måleresultater fra målegrupper fra flere nordiske land i samme måleposisjon. Sammenligningen vil gi et anslag for reproduserbarhet ved målinger etter et forslag til Nordtestmetode datert 10.04.95. Det er i tillegg gjort opptak av alle togpasseringene for senere frekvensanalyse.

## 2. MÅLEOPPLEGG

Målingene er utført på en strekning med dobbeltspor mellom Stockholm og Göteborg ved Vågård (ca. 4 mil fra Borås). Tre togtyper trafikkerer strekningen: Godstog (RC lok), Passasjertog (RC lok) og Hurtigtog X2. Største tillatte hastighet ved måleplassen er for Godstog 100 km/t, Passasjertog 160 km/t og Hurtigtog X2 200 km/t.

Togskinne er helsveiset, 50 kg/m, festemåte: "Hambo", betong sviller (A77), evt. gummiunderlegg er uklart, skinnejevnheter ("kortbølget ujevnheter") er oppgitt til 0.04-0.07 mm for nærmeste spor og 0.03-0.05 mm for sporet lengst fra måleposisjonen, sporet anses av Svensk Statsbaner å være av god kvalitet og er ikke skinneslipt på "lang tid" (Opplysninger fra T. Strøm pr tlf. 30.05.95), sporet ligger på "Makadam" (pukk), sporet lengst fra måleposisjonen ligger ca. 10 cm høyere enn nærmeste spor i avstand 4.5 meter, nærmeste spor har høyde ca. 1.7 meter over lokal mark, Avstand CL spor til fyllingens skulder er hhv. 8 og 3.5 meter, Siktinkelen fra måleposisjonen til synlig del av sporet er ca. 160°.

Markflate mellom jernbanespor og målepunkt er et jorde brukt til korndyrking (myk mark). Markoverflaten var jevnt planert og dekket med grove kuttete halmstrå i ca. 20 cm lengde. Markflaten ligger ca. 1.7 meters lavere enn jernbanesporet vinkelrett ut mot måleposisjonen. Markflaten stiger svakt mot Vest, slik at mot Vest er markflaten ca. i høyde med jernbanesporet mens den mot Øst ligger ca. 3-4 meter lavere enn sporet.

Værforhold:

Tirsdag 02.05.95 Sol, klarvær, vindstyrke 3-4 m/s med kast opp i ca. 9 m/s (2 m høyde), vindretning fra sør/vest ca. 45° på sporet, temperatur ca. 20°C fallende til ca. 14°C på slutten av måledagen.

Onsdag 03.05.95 Tynt skydekke (disig), vindstyrke ca. 3m/s med kast opp i ca. 7 m/s (2 m høyde), vindretning fra sør/vest ca. 45° på sporet, temperatur ca. 19°C.

Vindstyrke er kontrollert med håndholdt vindmåler. Vindretning er skjønnsmessig anslått, og ligger i grenseområdet for å dekkes av målemetoden ( $\pm 45^\circ$ ).

Vindstøy/bakgrunnstøy: 40-45 dBA, trolig noe høyere i vindkastene.

Måleutstyret var oppstilt på 100 meters avstand fra nærmeste spor og med 2 målemikrofoner i 1.5 og 4 meters høyde vinkelrett ut fra sporet ved stolpe 30a.

Instrumentoppstilling:

<u>Mikrofon høyde 1.5 meter:</u>	<u>Mikrofon høyde 4 meter:</u>
Mikrofon B&K 4165	Mikrofon B&K 4165
Forforsterker B&K 2619	Forforsterker B&K 2619
10 m kabel B&K AO 0028	3 m kabel B&K AO 0027
3 m kabel B&K AO 0027	10 m kabel B&K AO 0028
Norsonic 110 (1 kanals lydnivåanalysator)	3 m kabel B&K AO 0027
2 m kabel BNC/BNC	SONY DAT TCD-D10 m. Norsonic N112 Front
SONY DAT TCD-D10 m. Norsonic N112 Front (målekanal A)	(målekanal B)

Det ble benyttet separate mikrofonstativ. Måleinstrumentene ble trukket noe bort (ca. 10 m) fra stativene for å redusere mulighetene for å forstyrre lydfeltet ved mikrofonene. DAT spilleren ble startet like før togpassering og stoppet etter togpassering. Norsonic 110 ble innstilt på "EVENT-mode" som starter automatisk når nivået stiger over et på forhånd angitt lydnivå og stopper når lydnivået har sunket under det samme lydnivået. Dette lydnivået ble satt til 60 dBA med 2 sekund varighet før trigger og 2 sekund varighet etter at lydnivået har sunket under 60 dBA. Mikrofonposisjon i høyde 1.5 meter ble avlest direkte på Norsonic 110, og resultater fra mikrofonhøyde 4 meter ble avspilt fra DAT båndet og analysert på samme måte etter målingene var avsluttet. Kalibrering av målekanalene ble utført før og etter hver måledag. Ingen signifikante forskjeller ble observert.

### 3. MÅLERESULTATER

Måleresultater (rådata) fra alle togpasseringer finnes i tabell side 9. "Tidsreg. togfart" er lagt til grunn for beregningene som følger. Hvilke togpasseringer som er plassert i de forskjellige fartsintervallene fremgår av tabell 7. For Passasjertog er korrigeret toglengde brukt i beregningene (vogner = 25 m og lok = 15 m), og for X2 er korrekt toglengde lik 140 m brukt. For Godstog er toglengde beregnet på grunnlag av passeringstid og fart brukt i beregningene.

#### Ekvivalent lydnivå (100 m avstand fra spor):

Tabell 1 viser SEL-verdier for togpasseringer normalisert til 100 m toglengde, energi-middlet i fartsintervaller. Tabellen er tatt med for å kunne sammenligne utstrålt lyd fra de ulike togtypene som funksjon av fart.

De målte SEL-verdiene ble sortert etter togtype og fartsintervall, så ble de normalisert til "riktig" toglengde pr. 24 timer i tabell 2 (jfr. forslag til Nordtest metode datert 18.04.95 kap 6.7.1 og brev fra C. Gøranson 17. mai 1995). Tabell 3 viser de samme verdier, men kun for de "aktuelle fartsintervaller". Verdiene i tabell 3 er brukt til å beregne et døgnekvivalent lydnivå i tabell 4. Tabell 4 viser døgnekvivalent lydnivå for hver togtype og for alle togtyper. Alle tabellene gjelder for de to måleposisjonene i 100 m avstand fra spor.

Tabell 1. Alle fartsintervallers SEL verdier (dBA) normalisert til 100 meter toglengde.

(Måleavstand 100 m fra spor.)

Fartsintervall:		GODS	GODS	PASS	PASS	X2	X2
Fra	T.o.m.	4m	1.5m	4m	1.5m	4m	1.5m
190	209					90.6	91.2
170	189					88.7	89.0
150	169			90.7	90.0	86.9	86.5
130	149			90.2	90.7		
110	129						
90	109	89.7	90.3				
70	89	89.9	89.2	84.9	83.8		

Tabell 2. Alle fartsintervallers SEL verdier (dBA) normalisert til 24 timers toglengde.

(Gods = 15934 m, Pass = 5256 m og X2 = 2660 m)

Fartsintervall:		GODS	GODS	PASS	PASS	X2	X2
Fra	T.o.m.	4m	1.5m	4m	1.5m	4m	1.5m
190	209					104.9	105.4
170	189					103.0	103.3
150	169			107.9	107.2	101.2	100.8
130	149			107.2	107.7		
110	129						
90	109	111.9	112.4				
70	89	112.0	111.4	102.1	101.0		

Tabell 3. De "aktuelle fartsintervallers" SEL verdier (dBA) normalisert til 24 timers toglengde.

(Gods = 15934 m, Pass = 5256 m og X2 = 2660 m)

	Mic høyde 4 m L <sub>AE</sub> , type	Mic høyde 1.5 m L <sub>AE</sub> , type	Antall & middelfart
GODS (100 km/t)	111.9	112.4	4 tog 97 km/t
PASS (160 km/t)	107.9	107.2	8 tog 156 km/t
X2 (200km/t)	104.9	105.4	3 & 4 tog 197 km/t

Tabell 4. 24 timers ekvivalentnivå (dBA) for hver togtype, basert på tabell 3.

(Gods = 15934 m, Pass = 5256 m og X2 = 2660 m)

	Mic høyde 4 m	Mic høyde 1.5 m	Antall & middelfart
L <sub>eq,24h</sub> GODS	62.5	63.0	4 tog 97 km/t
L <sub>eq,24h</sub> PASS	58.5	57.8	8 tog 156 km/t
L <sub>eq,24h</sub> X2	55.5	56.0	3 & 4 tog 197 km/t
L <sub>eq,24h</sub>	64.5	64.8	

Hvis alle togpasseringer i tabell 2 benyttes for å bestemme døgnekvivalent lydnivå, blir resultatene til sammenligning 64.1 dBA for mikrofnehøyde 4 m og 64.0 dBA for mikrofnehøyde 1.5m. Altså 0.4 og 0.8 dBA lavere døgnekvivalente lyd nivåer enn når kun det aktuelle fartsintervallet benyttes.

**Maksimalt lydnivå (100 m avstand fra spor):**

Målte maksimalnivå (dBAF) er brukt direkte, dvs. uten å normalisere for toglengde.

Tabell 5. Alle fartintervallers energi-midlede maksimalnivåer (dBAF).

Fartsintervall:		GODS	GODS	PASS	PASS	X2	X2
Fra	T.o.m.	4m	1.5m	4m	1.5m	4m	1.5m
190	209					87.4	88.2
170	189					85.2	85.2
150	169			87.1	86.5	82.9	82.2
130	149			86.7	87.2		
110	129						
90	109	85.1	85.9				
70	89	84.4	83.8	78.9	77.9		

Tabell 6. De "aktuelle fartintervallers" energi-midlede maksimalnivåer (dBAF).

	Mic høyde 4 m	Mic høyde 1.5 m	Antall & middelfart
L <sub>A max</sub> GODS	85.1	85.9	4 tog 97 km/t
L <sub>A max</sub> PASS	87.1	86.5	8 tog 156 km/t
L <sub>A max</sub> X2	87.4	88.2	3 & 4 tog 197 km/t

Vi har sett opp 4 måter å beregne maksimalnivåer etter forslag til Nordtest metode datert 18.04.95 kap 6.7.2.

Alternativ 1. Energimiddel av togtype X2 (197 km/t) L<sub>A max</sub> = 87.4 dBAF Mikrofonhøyde 4 m  
L<sub>A max</sub> = 88.2 dBAF Mikrofonhøyde 1.5 m

Alternativ 2. Energimiddel av alle i tabell 6: L<sub>A max</sub> = 86.6 dBAF Mikrofonhøyde 4 m  
L<sub>A max</sub> = 87.0 dBAF Mikrofonhøyde 1.5 m

Alternativ 3. Energimiddel av togtype X2 (alle): L<sub>A max</sub> = 85.5 dBAF Mikrofonhøyde 4 m  
L<sub>A max</sub> = 85.9 dBAF Mikrofonhøyde 1.5 m

Alternativ 4. Energimiddel av alle i tabell 5: L<sub>A max</sub> = 85.3 dBAF Mikrofonhøyde 4 m  
L<sub>A max</sub> = 85.5 dBAF Mikrofonhøyde 1.5 m

Alle verdier gjelder for måleavstand 100 m (jfr. kap. 2)

Tabell 7. Nr på togpasseringer brukt i fartintervallene jfr. tabell side 9 kol. 1.

Fartsintervall:		GODS	PASS	X2
Fra	T.o.m.			
190	209			5, 6, 10, 14
170	189			15, 19, 21, 25, 29
150	169		2, 3, 7, 8, 12, 13, 20, 31	22
130	149		23, 24, 30	
110	129			
90	109	4, 27, 28, 32		
70	89	1, 16, 17, 18, 19	26	

#### 4. USIKKERHETER

Fartsregistrering og toglengde:

Det ble benyttet stoppeklokke for registrering av togets passeringstid (toglengde), og for å registrere tid over en bestemt distanse (Fart). Antall vogner ble også registrert i flere tilfeller som en metode for å finne toglengde. Farten ble registrert som tid mellom X antall stolper med innbyrdes avstand 60 meter. Da det ved noen togpasseringer oppstod tvil om riktige avstand (stolpe) var benyttet kan det ikke utelukkes feil i registrert fart og dermed toglengde beregnet på grunnlag av farten. Tog nr 8 og 22 viser relativt store avvik mellom de to beregningsmetodene for toglengde. Dette kan bety at registrert fart ikke er korrekt. Dette er ikke tatt hensyn til ved beregningene. Usikkerhet ved selve den manuelle tiltakingen blir størst for korte tog med stor fart som for eksempel Hurtigtogget X2 som passerer på ca. 2.4 sekund. Likevel ligger 90% av registrerte toglengder for X2 innenfor et avvik på 14 meter i forhold til 140 m toglengde.

Normalt ville vi ha benyttet flere folk under en måling da telling av vogner, tidtaking, notering av spes. detaljer og betjening av måleutstyr var i overkant av hva en person klarer å utføre samtidig.

Tabell 8 viser spredningsintervallet en kan forvente (ut fra de registrerte togpasseringene i 1,5 m høyde) hvis en legger til grunn de 3 mest eller de 3 minst støyende togpasseringene. De målte SEL verdiene er normalisert til trafikkmengde pr. 24 timer. Maksimalnivåene er ikke normalisert for trafikkmengde. Hvert maksimalnivå i tabell 8 er energi middel av 3 togpasseringer.

Tabell 8.

Døgnkvivalentnivå og Maksimalnivå -intervaller beregnet på grunnlag av de tre minst støyende, eller de tre mest støyende togpasseringene, sortert på målte SEL og Maksimalnivå, for høyde =1.5m.

	L <sub>Aeq,24h</sub>	L <sub>AF max</sub>	Tog nr.
GODS	59.8 - 63.3		1, 18, 32 - 4, 16, 28
PASS	54.6 - 59.7		2, 8, 26 - 7, 20, 30
X2	52.0 - 56.8		6, 19, 22 - 5, 10, 14
	Σ 61,5 65,5		
GODS		81.8 - 86.6	1, 18, 32 - 4, 27, 28
PASS		82.1 - 89.0	3, 24, 26 - 7, 20, 30
X2		83.0 - 89.0	19, 21, 22 - 5, 10, 14

Vedlegg Liste

Nr.	Type:	Tid: 2.&3. 5/95	Retn. mot:	SPOR N=nær (indre)	Tids Reg. Tog Fart km/t	Tids Reg. Tog lengde m	Korrigert Tog lengde m	Togets pass. tid sek.	B-ch 4 m		A-ch 1.5 m	
									SEL dBA	MAX,F dBA	SEL dBA	MAX,F dBA
1	GODS	1522	Stockh.	N	71	273		13.9	93.7	84.6	90.9	82.2
2	PASS	1547	Stockh.	N	158	206	190	4.7	95.4	89.9	90.1	84.3
3	PASS	1601	Göteb.	B	157	194	190	4.5	92.1	85.5	90.3	83.7
4	GODS	1618	Stockh.	N	106	492		16.7	97.2	86.2	97.3	87.0
5	X2	1633	Stockh.	N	198	141	140	2.6	93.6	89.2	93.6	89.6
6	X2	1643	Göteb.	B	197	140	140		89.2	84.3	89.0	84.2
7	PASS	1648	Stockh.	N	150	295	315	7.1	95.6	87.9	94.9	88.4
8	PASS	1706	Stockh.	N	156	153	115	3.5	90.5	83.8	90.2	83.9
9	GODS	1719	Göteb.	B	75	290		13.9	95.8	85.1	95.2	85.1
10	X2	1733	Stockh.	N	200	143	140	2.6	92.4	87.5	93.3	88.6
11	Verkst.v.	1744	Göteb.	B	62	25			75.3	69.4	74.8	68.4
12	PASS	1746	Stockh.	N	160	197	190	4.4	93.0	86.7	93.3	86.9
13	PASS	1804	Göteb.	B	155	216	215	5.0	93.0	85.9	92.7	86.6
14	X2	1835	Stockh.	N	193	134	140	2.5			93.2	88.6
15	X2	1837	Göteb.	B	187	126	140	2.4	89.9	84.8	90.6	85.1
16	GODS	1855	Stockh.	N	77	507		23.7	97.1	85.4	97.1	85.4
17	GODS	1901	Göteb.	B	73	173		8.5	92.7	83.9	92.5	83.9
18	GODS	1915	Göteb.	B	89	184		7.5	90.3	82.1	89.7	81.0
19	X2	1935	Göteb.	B	187	139	140	2.7	89.8	84.2	88.7	83.1
20	PASS	1946	Stockh.	N	162	207	190	4.6	94.9	88.2	96.0	89.1
21	X2	911	Göteb.	B	184	127	140	2.5	89.2	84.5	89.4	83.7
22	X2	935	Göteb.	B	167	118	140	2.5	88.4	82.9	88.0	82.2
23	PASS	948	Stockh.	N	133	210	215	5.7	92.5	85.3	94.4	87.0
24	PASS	1013	Göteb.	B	131	272	290	7.5	91.6	83.1	91.3	82.9
25	X2	1024	Göteb.	B	176	127	140	2.6	90.9	85.7	90.6	85.2
26	PASS	1029	Göteb.	N	89	166	165	6.7	87.1	78.9	86.0	77.9
27	GODS	1108	Stockh.	N	90	387		15.5	95.2	84.7	96.1	85.7
28	GODS	1112	Stockh.	N	95	276		10.5	95.3	85.7	96.2	87.0
29	X2	1134	Stockh.	N	183	127	140	2.5	90.9	86.4	92.2	87.6
30	PASS	1147	Stockh.	N	144	208	215	5.2	95.9	89.4	95.9	89.4
31	PASS	1202	Göteb.	B	151	181	190	4.3	92.5	85.9	92.0	85.9
32	GODS	1228	Göteb.	B	95	238		9.0	91.7	83.4	91.5	82.2

**P013/94**

**29.07.1995**

**Afprøvning af målemetode. Nordtest.**

**Immisionsmålemetode.**

**Sammenlignende målinger i Vårgård.**

**Måling den 29.05.1995.**

**DSB** Rådgivning  
Måleteknik

Pilestræde 58 2. sal  
1112 København K

Tlf 33150400 # 15068  
Fax 33150400 # 15903

## Støjmåling i Vårgård den 29.05.1995

### Nordtest. Immissionsmålemetode

### Afprøvning af målemetode

#### 1. Formål:

Målingerne er udført som en del af et fælles projekt for følgende 4 nordiske lande: Norge, Sverige, Finland og Danmark. Projektstyringen skete hos Statens Provningsanstalt, Borås, Sverige med reference til Nordtest under Nordisk Råd. Projektet blev startet op ved et møde den 05.05.1994 hos Statens Provningsanstalt. I perioden frem til foråret 1995 blev der i projektgruppen udformet et forslag til målemetode.

På basis af dette udkast har hver af de 4 deltagerlande foretaget en støjmåling på et og samme udvalgte sted i Vårgårde nær Borås. Målestedet var karakteriseret ved at være stærkt trafikeret med både persontog, godstog og højhastighedstog (X2000). Desuden var der terrænmæssigt set noget nær ideelle forhold.

Resultatet af målingerne, der skulle strække sig over en lang dagperiode, dvs ca fra kl 10 om formiddagen til om aftenen ved 19-20 tiden, skulle give en bestemmelse af døg-nækvivalentniveauet  $L_{Aeq,24h}$  og det maksimale støjniveau  $L_{Amax,F}$ . Dette skulle hver enkelt deltagerland gøre uafhængigt af hinanden, dog med praktisk hjælp og en referencemåling i 25 m afstand udført af Statens Provningsanstalt.

Hvert enkelt land skulle foretage sin egen vurdering af, hvilke togpassager, der skulle medregnes ved bestemmelse af  $L_{Aeq,24h}$  og  $L_{Amax,F}$ . Derudover skulle der foretages en bestemmelse ud fra følgende kriterier:

1. Kun medregne de tog, der har strækningshastigheden +/- 10 km/h.
2. En beregning ud fra de 3 mest støjende fra hver togtype
3. En beregning ud fra de 3 mindst støjende fra hver togtype

Alle målinger indgå i en fælles rapport fra Statens Provningsanstalt til brug for vurdering af måleusikkerhed mm.

#### 2. Måling:

Målingerne blev udført mandag den 29.05.1995 i perioden mellem kl 10 og kl 19 i en afstand af 100m fra midte af de 2 spor.

Mikrofonhøjden var 4,0 m og 1,5 m over terræn.

Målestedet blev udpeget og udmålt i samarbejde med Statens Provningsanstalt, så der blev målt samme sted som de andre lande.

Måling af vindhastighed skete på en bærbar vindmåler monteret på mikrofonstativet i 4 m's højde med aflæsning på et viserinstrument. Vindretningen blev skønnet i hvert enkelt tilfælde, men den var under hele måleperioden i retning fra sporet mod målepladsen

indenfor et vinkelrum på mindre end +/- 45 grader. Vindmåleren blev stillet til rådighed af Statens Provningsanstalt, men aflæst af os sammen med støjmålingerne.

Generelt lå vindhastighederne mellem 5 og 8 m/s i retning mod målepladsen. Målingerne blev derfor gennemført for en ideel medvindssituation som foreskrevet i udkastet til målemetoden.

Der var tørvejr under hele måleperioden og for meste højt, klart vejr med solskin og temperaturer omkring 20 grader.

Til selve støjmålingerne blev benyttet følgende udstyr:

1. Lydmåler type 2231 fra B og K (Brüel og Kjær) med mikrofonforlænger-kabel og mikrofon type 4155 i 4 m's højde
2. Lydmåler type 2230 fra B og K med mikrofon type 4155 monteret direkte på eget stativ i 1,5 m's højde.
3. Kalibrator type 4231 fra B og K
4. FM-målebåndoptager type 7005 med 4 stk FM-moduler type ZM0053.  
Båndoptageren var koblet til at optage det A-vægtede udgangssignal direkte fra lydmålerens AC-output indenfor frekvensområdet 20 Hz - 12 kHz, svarende til båndoptagerens specifikationer.
5. Niveauskriver type 2306 fra B og K koblet på udgangen af det analoge output fra målebåndoptageren til brug for en umiddelbar kontrol af båndoptagelsen.

Umiddelbart før målingen startede og igen lige efter afslutningen af målingerne blev hele målekæden kalibreret med referencesignalet fra kalibratoren. Desuden blev der i starten af hvert bånd indspillet en referencespænding til kontrol af båndoptagerens forstærkning.

Under hver måling blev  $L_{Amax,F}$  og SEL aflæst direkte på lydmåleren 2231, der målte i 4 m's højde. På grund af nogle tekniske problemer med digital-delen af lydmåleren 2230 kunne det tilsvarende ikke lade sig gøre for denne. Ud fra flere kalibreringer undervejs af specielt denne lydmåler og dens output-signal til båndoptageren, er det vor vurdering, at dens analoge del har fungeret korrekt. Den efterfølgende analyse i laboratoriet har da heller ikke givet nogen anledning til at tro, at der skulle være nogen fejl.

Under hver passage blev der taget tid på stopur til bestemmelse af hastigheden og gjort notater om trækraft(togtype) og antal vogne samt andre forhold, der kunne have betydning for vurdering af målingen.

I løbet af dagen blev der ialt målt på 31 togpassager, der alle er vurderet som typiske og derfor skal medregnes ved bestemmelse af  $L_{Amax,F}$  og  $L_{Aeq,24h}$  med undtagelse af et tog, hvor lokoføreren trak i fløjten lige ud for målestedet.

En oversigt over de udførte målinger er vist på bilag 1 sammen med analyseresultatet.

#### 3. Analyse:

I laboratoriet er båndoptagelsen afspillet på vort 4-kanals måleforstærkersystem med tilhørende udskrift på 4-kanals skriver. Ud fra en sammenligning af max-værdierne fra de to mikrofonhøjder er det vurderet, at der er så lille forskel på dem, at det er tilstrækkeligt at benytte værdierne fra 4 m's højde ved bestemmelsen af støjniveauerne.

Resultatet af analyserne er vist i bilag 1 sammen med optegnelserne fra målingen.

Ud fra de viste resultater er der ved hjælp af et regneark foretaget en bestemmelse af de ønskede resultater, nemlig støjbelastningen over et døgn  $L_{Aeq,24h}$  og det maksimale støjniveau  $L_{Amax,F}$  bestemt som energimiddelværdien af de enkelte max-værdier for den togtype med de mest støjende tog.

På denne måde har vi bestemt støjbelastningen til

$L_{Aeq,24h} = 63 \text{ dB(A)}$  og  $L_{Amax} = 85 \text{ dB(A)}$  for X2000 og persontog

For at få et indtryk af, hvad det vil betyde, hvis der måles på færre antal tog er der foretaget de andre beregninger, nemlig en beregning ud fra de 3 mest støjende tog af hver type, de 3 mindst støjende af hver type og endelig en beregning ud fra de tog, der ligger indenfor højst 10 km/h fra strækningshastigheden.

Alle disse beregninger fremgår af bilag 2.

Såvel bilag 1 som bilag 2 er forlods indsendt til Statens Provningsanstalt, som på basis af dem og de tilsvarende resultater fra de andre lande har udført en vurdering af måleusikkerhed mv. Alt dette er afrapporteret af Statens Provningsanstalt.

#### 4. Vurdering:

Det vurderes at målingerne og den efterfølgende beregning giver et korrekt billede af støjbelastningen på stedet.

Ud fra kalibreringerne skønnes det at måleusikkerheden er bedre end +/- 1 dB på de enkelte målinger.

Da resultaterne er blevet vurderet af Statens Provningsanstalt i den sammenfattende rapport derfra, skal vi ikke selv foretage yderligere vurderinger.

*Jørgen A. Christensen*

Jørgen Tornhøj Christensen

Civilingeniør

Pass nr	Mod	Lok	Vogne	Pass.tid	Længde	Hastighed	SEL, 4m	Aflæst	Lmax, 4m på stedet	Lmax, 4m Afæst	Lmax, 1.4m på skriver	Lmax, 4m Kombi
1	Gøt	X2000		2.77	140	182	89.2	82.3	83	83	83	83
2	Gøt	RC	8	5.49	216	142	93.6	85.4	86	86	86	86
3	Gøt	X2000		2.45	140	206	88.7	82.4	83.5	83.5	83.5	83.5
4	Gøt	RC	12	6.89	316	165	93.6	85.3	85	85	85	85.3
5	Gøt	RC	9	5.74	241	151	91.6	84.7	84	84	85	84.7
6	Sto	RC	gods ?	0.63	16	91	94.6	84.6	84	84	84	84.6
7	Sto	RC	gods33	0.56	16	103	94.7	83.7	83	83	84	83.7
8	Sto	X2000		2.64	140	191	91.5	85.9	85	85	87	85.9
9	Sto	RC	8	4.98	216	156	94.3	87.7	87	87	87	87.7
10	Gøt	RC	7	4.8	191	143	91.1	84.9	84	84	84	84.9
11	Gøt	RC	gods11	0.64	16	90	90	81.9	81	81	81	81.9
12	Gøt	RC	gods17	2.72	60	79	91	80.8			80	80.8
13	Sto	X2000		2.51	140	201	91.2	86.7			87	86.7
14	Sto	RC	7		191	FEJL	92.8	85.6			85	85.6
15	Gøt	X2000		2.61	140	193	88.8	83.8			82.5	83.8
16	Gøt	RC	6	3.93	166	152	90.3	83.9		83	83	83.9
17	Sto	RC+RC	gods15	2.48	60	87	91.3	81.6		81	81.5	81.6
18	Sto	RC	7	1.47	60	147	91.7	84.3		84	84	84.3
19	Gøt	RC	7	1.59	60	136	91	83.9		83.5	82.5	83.9
20	Sto	RC	gods25	2.22	60	97	93.4	82.3		82	82	82.3
21	Sto	X2000		3.04	140	166	89.9	84.4		84	85	84.4
22	Gøt	X2000		2.4	140	210	89.3	84.2		84	83	84.2
23	Sto	RC	4	1.43	60	151	90.4	84.2		84	84	84.2
24	Sto	X2000		2.85	140	177	91.7	86.5		86	86.5	86.5
25	Sto	RC	11	1.3	60	166	91.5	83.3		82.5	83.5	83.3
26	Sto	RC	6	1.56	60	138	91.2	84.4		84	84.5	84.4
27	Gøt	RC	9	6.86	241	126	91	83.9		83	84	83.9
28	Sto	X2000		2.69	140	187	91	85.8		85	86	85.8
29	Gøt	X2000		2.57	140	196	89.1	83.7		83	84	83.7
30	Sto	RC	gods32	1.91	60	113	95 fløjt	87.9		84	85	84
31	Gøt	RC	gods16	??1,22	60	FEJL				84	84	84



Resultat af målinger udført af DSB den 29.05.1995:  
 Beregnet døgnstøjbelastning i 100m afstand fra spor

Alle tog	Målt længde	Døgnlængde	Målt Sum SEL	Døgn SEL	Døgn LEQ	Lmax
X2000	1400	2660	100.2	103.0	53.6	84.9
Persontog	2731	5256	103.2	106.0	56.7	84.9
Godstog	2729	15934	101.7	109.4	60.0	83.2

Døgnstøjbelastning: 63,1 dB(A)

Max støjniveau: 84,9 dB(A)

+/- 10 km/h	Målt længde	Døgnlængde	Målt Sum SEL	Døgn SEL	Døgn LEQ	Lmax
X2000	1400	2660	100.2	103.0	53.6	84.9
Persontog	2731	5256	103.2	106.0	56.7	84.9
Godstog	2729	15934	101.7	109.4	60.0	83.2

Døgnstøjbelastning: 63,1 dB(A)

Max støjniveau: 84,9 dB(A)

3 mes	Målt længde	Døgnlængde	Målt Sum SEL	Døgn SEL	Døgn LEQ	Lmax
X2000	1400	2660	100.2	103.0	53.6	84.9
Persontog	2731	5256	103.2	106.0	56.7	84.9
Godstog	2729	15934	101.7	109.4	60.0	83.2

Døgnstøjbelastning: 63,1 dB(A)

Max støjniveau: 84,9 dB(A)

3 minds	Målt længde	Døgnlængde	Målt Sum SEL	Døgn SEL	Døgn LEQ	Lmax
X2000	1400	2660	100.2	103.0	53.6	84.9
Persontog	2731	5256	103.2	106.0	56.7	84.9
Godstog	2729	15934	101.7	109.4	60.0	83.2

Døgnstøjbelastning: 63,1 dB(A)

Max støjniveau: 84,9 dB(A)

Naturvårdsverkets  
bibliotek



2 022 890 8205 BE

SP  
Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut  
Box 857, 501 15 BORÅS  
Telefon: 033 - 16 50 00, Telefax: 033 - 13 55 02

SP RAPPORT 1995:40  
ISBN 91-7848-568-1  
ISSN 0284-5172