

# **Del 2**

## Innehållsförteckning Del 2

<b>Innehållsförteckning</b>	<b>2</b>
<b>1 Sammandrag</b>	<b>3</b>
1.1 Bakgrund	3
1.2 Ändringar jämfört med den gamla modellen	3
1.3 Beräkningsmodell	3
1.3.1 $L_{Aeq}$	3
1.3.2 $L_{AFmax}$ , den maximala ljudtrycksnivån	5
<b>2 Utarbetandet av den nordiska beräkningsmodellen</b>	<b>6</b>
2.1 Inledning	6
2.1.1 Ekvivalent ljudtrycksnivå, $L_{Aeq}$	6
2.1.2 Maximal ljudtrycksnivå, $L_{AFmax}$	7
2.2 Steg 1. Utgångsvärde, $L_{Aeq,10\text{ m}}$ och $L_{AFmax,10\text{ m}}$	7
2.2.1 Allmänt	7
2.2.2 $L_1 = L_{Aeq}$ vid känd hastighet och fordonsflöde	8
2.2.3 $L_{AFmax,10\text{ m}}$	10
2.3 Steg 2 - Avståndskorrektion, $\Delta L_{AV}$	16
2.3.1 Allmänt	16
2.3.2 $L_{Aeq}$	16
2.3.3 $L_{AFmax}$	16
2.4 Steg 3 - Mark- och skärmkorrektion, $\Delta L_{MS}$	16
2.4.1 Allmänt	16
2.4.2 Markkorrektion, $\Delta L_M$	17
2.4.3 Skärm- och skärm-markkorrektion, $\Delta L_{MS}$	18
2.5 Dämpningstillskott på grund av vegetation	21
2.6 Steg 4 - Övriga korrektioner, $\Delta L_O$	22
2.6.1 Allmänt	22
2.6.2 Inflytande från vägytan	23
2.6.3 Vinkelområdet, $\Delta L_\alpha$	23
2.6.4 Tjock skärm, $\Delta L_{ts}$	24
2.6.5 Stigning, $\Delta L_{st}$	25
2.6.6 Kort avstånd till vägen, $\Delta L_{ka}$	25
2.6.7 Enkla reflexer från vertikala ytor, $\Delta L_r$	26
2.6.8 Multipelreflexer i gaturum, $\Delta L_{mg}$	27
2.6.9 Multipelreflexer i sidogator, $\Delta L_{ms}$	28
2.6.10 Multipelreflexer i slutna gårdsrum, $\Delta L_g$	28
2.6.11 Skärmning och spridning bland friliggande hus, $\Delta L_b$	30
2.7 Fasadisolering, $\Delta L_F$	31
2.8 Summering av bidrag från olika delsträckor	33
<b>3 Osäkerhet i beräkningsmodellen</b>	<b>34</b>
<b>4 Framtiden</b>	<b>35</b>
4.1 Framtida revisioner	35
4.2 Utgångsvärdenas bestående värde	35
<b>5 Referenser</b>	<b>36</b>

# 1 Sammandrag

## 1.1 Bakgrund

Detta är den tredje reviderade upplagan av den Nordiska beräkningsmodellen för vägtrafikbuller. Den första versionen publicerades 1978, den andra 1989 och denna, den tredje versionen, är resultatet av en revision, som avslutades tidigt 1996 och som bygger på olika forskningsprojekt som genomförts i Danmark, Finland, Norge och Sverige sedan den andra versionen publicerades.

Forskningsarbetet har samordnats av den Nordisk Bullergruppen och har finansierats av de nordiska ländernas regeringar och av Nordiska Ministerrådet.

För ytterligare detaljer beträffande beräkningsmodellens utveckling hänvisas till 1989 års upplaga av densamma, [1].

## 1.2 Ändringar jämfört med den gamla modellen

Bortsett från ett stort antal redaktionella ändringar har följande ändringar gjorts:

- utgångsvärdena har ändrats
- ljudexponeringsnivån (Engelsk terminologi - sound exposure level) för varje fordonstyp har införts i beräkningarna
- maximala ljudtrycksnivån har definierats om
- hur man väljer reflexionsplan beskrivs mer detaljerat
- ett annex angående vägbeläggningar har lagts till i del 1.
- avsnittet om vegetationens inverkan har inte ändrats men osäkerheten har ytterligare undersökts, genom att flytta det till ett annex (i del 1).

## 1.3 Beräkningsmodell

### 1.3.1 $L_{Aeq}$

$L_{Aeq}$ , dvs den A-vägda ekvivalenta kontinuerliga ljudnivån i decibel (dB), är det primära mätetalet för att beskriva vägtrafikbuller. Normalt beräknas den för 24 timmars perioder men metoden kan även användas till beräkningar för godtyckligt långa tidsperioder. Med denna modell beräknas  $L_{Aeq}$  utgående från följande parametrar:

- trafikflödet hos de två kategorierna, lätta respektive tunga fordon
- verklig hastighet (mätt medelhastighet) om den är känd eller annars en antagen hastighet
- avståndet till vägens mittlinje
- vägbanans höjd över omgivande mark
- skärmars läge och höjd
- skärmars tjocklek
- mottagarpunktens läge i förhållande till omgivande mark och vägbanan eller skärmar
- mottagarpunktens läge i förhållande till reflekterande vertikala ytor
- markytans beskaffenhet (hård eller mjuk)

För varje väg eller vägvagnsutt utförs beräkningarna i fem steg. Om det behövs delas vägarna i olika mindre vägvagnsutt innan man börjar beräkningarna. De akustiska förhållandena skall, om möjligt, vara konstanta inom vart och ett av dessa avsnitt. I många fall räcker det med de tre första beräkningsstegen. Det fjärde steget innehåller ett antal nödvändiga korrektioner, som tar hand om avvikelser från grundförutsättningarna. För prognoser i en innerstad räcker det normalt med stegen 1,2 och 4 tillsammans med korrektioner för fasadens ljudisolering enligt steg 5.

I steg 1 beräknas ett utgångsvärde under specificerade grundförutsättningar. (referensförhållanden). Vid vart och ett av de följande fyra stegen beräknas en korrektion,  $\Delta L$ .  $\Delta L$  tilldelas ett index motsvarande beräkningsstegets nummer.  $L_{Aeq}$  beräknas för varje vägvagnsutt enligt nedanstående uttryck.

$$L_{Aeq} = L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3 + \Delta L_4 + \Delta L_5 \quad (1.1)$$

Till sist lägger man tillsamman bidragen från de olika vägvagnsutt.

De olika beräkningsstegen är följande.

*Steg 1 - Utgångsvärde,  $L_1$*

I detta steg beräknas ett utgångsvärde svarande mot det odämpade utgångsvärdet på 10 m avstånd från mittlinjen på en oändligt lång, rak och plan väg. Ingångsvärdena är verklig hastighet, samt antalet lätta och tunga fordon.

*Steg 2 - Korrektion för avståndsdämpning,  $\Delta L_2$*

I detta steg beräknas en avståndskorrektion, utan att ta hänsyn till mark, skärmar och när mottagarpositionen befinner sig på ett annat avstånd från vägmitt än 10 m. Avståndskorrektionen är -3 dB per fördubbling av avståndet.

*Steg 3 - Korrektion för mark och skärmdämpning,  $\Delta L_3$*

I detta steg beräknas all den extra dämpning som erhålls i förhållande till hård plan mark när ljudet fortplantar sig över mjuk (porös) mark eller över en skärm.

Detta steg delas upp i två fall. Ett fall där vägbanan är upphöjd mindre än 1,5 m. Alla andra fall behandlas som skärmar, följaktligen innefattas vägar som är upphöjda mer än 1,5 m och nedsänkta vägar i detta fall.

Skärmfallet delas i ytterligare två steg. Först beräknas inverkan av skärmen och därefter korrigeras för inverkan av markens beskaffenhet på mottagarens sida av skärmen. Korrektionen är olika för hård respektive mjuk mark. I vissa fall lägger man även till en korrektion för markens dämpning på källans sida av skärmen.

*Steg 4 - Övriga korrektioner,  $\Delta L_4$*

I detta steg korrigeras för förhållanden som avviker från de förenklade antaganden som behandlats i de föregående tre stegen.

*Steg 5 - Fasadkorrektion,  $\Delta L_5$*

I detta steg beräknas ljudtrycksnivån inomhus.

### 1.3.2 $L_{AFmax}$ , den maximala ljudtrycksnivån

$L_{AFmax}$ , den maximala A-vägda ljudtrycksnivån mätt med tidsvägning F, i decibel (dB) är ett kompletterande värde för att beskriva vägtrafikbuller. I denna beräkningsmodell definieras  $L_{AFmax}$  med sitt medelvärde och sin standardavvikelse.  $L_{AFmax}$  beräknas utgående från följande parametrar:

- fordonsslag
- avstånd till vägmitt
- verklig hastighet (mätt medelhastighet), om den är känd, annars skyltad hastighet
- vägbanans höjd över omgivande mark
- skärmars läge och höjd
- skärmars tjocklek
- mottagarpunktens läge i förhållande till omgivande mark och vägbanan eller skärmar
- mottagarpunktens läge i förhållande till reflekterande vertikala ytor
- markytans beskaffenhet (hård eller mjuk)

Beräkningarna genomförs i fem steg. För många beräkningar behövs bara de tre första stegen. Det fjärde steget innehåller ett antal korrektioner som behövs för att ta hänsyn till avvikelser från grundförutsättningarna. För buller från stadstrafik är det i allmänhet tillräckligt med steg 1, 2 och 4 tillsammans med korrektioner för fasadens ljudisolering i steg 5.

I steg 1 beräknas ett utgångsvärde under specificerade grundförutsättningar. (referensförhållanden) Vid vart och ett av de följande fyra stegen beräknas en korrektion,  $\Delta L$ .  $\Delta L$  tilldelas ett index motsvarande beräkningsstegets nummer.  $L_{AFmax}$  beräknas för varje vägvagnsnitt enligt nedanstående uttryck.

$$L_{AFmax} = L_{1max} + \Delta L_{2max} + \Delta L_{3max} + \Delta L_{4max} + \Delta L_{5max} \quad (1.2)$$

#### *Steg 1 - Utgångsvärde, $L_{1max}$*

I detta steg beräknas ett utgångsvärde motsvarande det odämpade utgångsvärdet på 10 m avstånd från mitten på en oändligt lång, rak och plan väg. Ingångsvärdena är verklig hastighet, fordonsmängd och fordonsslag.

#### *Steg 2 - Korrektion för avståndsdämpning, $\Delta L_1$*

I detta steg beräknas en avståndskorrektion, utan att ta hänsyn till mark, skärmar e d när mottagarpositionen befinner sig på ett annat avstånd från vägmitt än 10 m. Avståndskorrektionen är -6 dB per fördubbling av avståndet.

#### *Steg 3-5 - Korrektion för mark och skärmdämpning, övriga korrektioner samt fasadkorrektion, $\Delta L_{3-5}$*

De olika korrektionerna beräknas analogt med motsvarande för  $\Delta L_{Aeq}$  med undantag för att man använder det kortaste avståndet mellan ljudkällan och mottagaren i stället för beräkningsavståndet.

Anm. Om delar av vägsträckan skymms av skärmar kan det bli nödvändigt att beräkna  $L_{AFmax}$  med ljudkällan i flera positioner för att finna den högsta nivån.

## 2 Utarbetandet av den nordiska beräkningsmodellen

### 2.1 Inledning

Syftet med denna beräkningsmodell är att man skall kunna beräkna trafikbullernivåer i specifika punkter uttryckta som ekvivalent konstanta A-vägda ljudtrycksnivåer,  $L_{Aeq}$ , i decibel, eller som den maximala A-vägda ljudtrycksnivån med tidsvägning F,  $L_{AFmax}$ , i decibel, från enstaka passerande fordon. Modellen har byggts så att den skall ge bästa möjliga överensstämmelse med mätta värden under neutrala väderförhållanden. I praktiken innebär detta att bästa överensstämmelsen erhålls vid svag vind (medvind < 2 m/s) från källa till mottagare. Det primära resultatet är ljudnivån i fritt fält, det vill säga det är det infallande ljudet mot en fasad, som beräknas. Detta innebär, till exempel, att den nivå man mäter 2 m framför en fasad kommer att vara cirka 3 dB högre.

#### 2.1.1 Ekvivalent ljudtrycksnivå, $L_{Aeq}$

När ett fordon passerar en åhörare ger det en ljudexponeringsnivå ("ljuddos")

$$L_{AE} = 10 \lg \frac{1}{T_0} \int_0^T L_{pA}(t)/10 dt ; T_0 = 1 \text{ s} \quad (2.1)$$

där  $L_{pA}(t)$  = den A-vägda ljudtrycksnivån hos åhöraren, orsakad av fordonet, som en funktion av tiden t under passagen. T = är observations tiden och T skall vara lång nog att innefatta alla signifikanta ljudbidrag från det passerande fordonet.

$L_{AE}$  har bestämts för två fordonsslag, lätta respektive tunga fordon, genom ett stort antal mätningar i de nordiska länderna.  $L_{AE}$  är en funktion av fordonets hastighet. Genom att korrigera det enstaka medelfordonets  $L_{AE}$  för trafikflödet och lägga till bidragen för lätta och tunga fordon får vi ett utgångsvärde  $L_{Aeq, 10 m}$  att starta beräkningarna med.  $L_{Aeq, 10 m}$  är följaktligen en funktion av hastigheten och antalet lätta respektive tunga fordon som passerar under den tidsperiod som studeras. Efter det att  $L_{Aeq, 10 m}$  har bestämts görs också följande korrekationer:

- avstånd,  $\Delta L_{AV}$
- mark och skärmar,  $\Delta L_{MS}$
- andra korrekationer som stigningar, reflexer etc.,  $\Delta L_o$
- fasad isolering,  $\Delta L_F$

Vi får således

$$L_{Aeq} = L_{Aeq, 10 m} + \Delta L_{AV} + \Delta L_{MS} + \Delta L_o + \Delta L_F \quad (2.2)$$

I del 1, *Beräkningsmodell*, utförs beräkningarna i fem steg. Dessförinnan måste emellertid, om det är nödvändigt, vägen delas upp i delsträckor. I steg 1 bestäms  $L_{Aeq, 10 m}$ . I steg 2 och 3 behandlas avstånds- respektive skärmdämpning. I steg 4 behandlas avvikelser från grundförutsättningarna och slutligen beräknar man i steg 5 inomhusnivåer utgående från utomhusnivån och fasadens ljudisolering. Till sist lägger man samman bidragen från de olika delsträckorna.

I *Beräkningsmodellen* har varje steg tilldelats ett index enligt följande

$$L_1 = L_{Aeq,10\text{ m}} \quad (2.3)$$

$$\Delta L_2 = \Delta L_{AV} \quad (2.4)$$

$$\Delta L_3 = \Delta L_{MS} \quad (2.5)$$

$$\Delta L_4 = \Delta L_o \quad (2.6)$$

$$\Delta L_5 = \Delta L_F \quad (2.7)$$

och slutligen

$$L_{Aeq} = L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3 + \Delta L_4 + \Delta L_5 \quad (2.8)$$

### 2.1.2 Maximal ljudtrycksnivå, $L_{AFmax}$

Den maximala A-vägda ljudtrycksnivån med tidsvägning F definieras för tunga respektive lätta fordon var för sig. Den definieras som ett aritmetiskt medelvärde av maximalnivåer. Dessutom anges dess standardavvikelse. Genom att kombinera medelvärdet med statistiska beräkningar baserade på standardavvikelsen är det möjligt att beräkna olika slags maximalnivåer. Den maximalnivå som överskrider av 5% av fordonen, som användes i förra utgåvan av beräkningsmodellen, erhålls t ex ur medelvärdet + 1,64 standardavvikelser.

På samma sätt som för  $L_{Aeq}$  gäller följande korrekitioner:

- avstånd,  $\Delta L_{AV}$
- mark och skärmar,  $\Delta L_{MS}$
- andra korrekitioner som stigningar, reflexer etc.,  $\Delta L_o$
- fasadisolering,  $\Delta L_F$

Observera att korrektionerna trots att de har samma beteckningar som för  $L_{Aeq}$ , så är de ofta olika dessa eftersom de beräknas med andra ingångsvärden (t ex avstånd).

Motsvarande index är enligt följande:

$$L_{1max} = L_{AFmax,10\text{ m}} \quad (2.9)$$

$$\Delta L_{2max} = \Delta L_{AV} \quad (2.10)$$

$$\Delta L_{3max} = \Delta L_{MS} \quad (2.11)$$

$$\Delta L_{4max} = \Delta L_o \quad (2.12)$$

$$\Delta L_{5max} = \Delta L_F \quad (2.13)$$

och till sist

$$L_{AFmax} = L_{1max} + \Delta L_{2max} + \Delta L_{3max} + \Delta L_{4max} + \Delta L_{5max} \quad (2.14)$$

## 2.2 Steg 1. Utgångsvärde, $L_{Aeq,10\text{ m}}$ och $L_{AFmax,10\text{ m}}$

### 2.2.1 Allmänt

Två fordonskategorier omfattas, lätta (personbilar) och tunga fordon. Alla fordon som väger mer än 3,5 ton anses vara tunga.

Beräkningsmodellen kommer inte att omfatta sådana parametrar som olika vägbeläggningar eller dubbade däck. Anvisningar om vad som kan inträffa i dessa fall

ges dock i annex A i del 1, Som hämtats från annex A i del 1 av [21]. Ett exempel på parametrar som inte tagits med i modellen men som kan ha en viss betydelse är temperaturen. Det har observerats att bulleralstringen minskar cirka 0,1 dB/°C med stigande temperatur. Utgångsvärdena för ljudtrycksnivåer hänför sig till en mer än ett år gammal vägbeläggning, jämn asfalt med max ballaststorlek 12 - 16 mm.

## 2.2.2 $L_1 = L_{Aeq}$ vid känd hastighet och fordonsflöde

I den gamla metoden, [1], beräknades  $L_1$  enligt uttrycket

$$L_1 = L_{Aeq,10m} + \Delta L_v + \Delta L_N + \Delta L_{TF} \quad (2.15)$$

där

$$L_{Aeq,10m} = 68 \text{ dB} \quad (2.16)$$

under grundförutsättningarna i tabell 2.1.

**Tabell 2.1** - Grundförutsättningar för  $L_{Aeq,10m}$  i den gamla metoden

Antal fordon per 24 h, N	24 000 personbilar/24 timmar 0% tunga fordon
Hastighet, v	50 km/h
Avstånd, a	10 m
Mottagarhöjd	1,5 m
Trafikflöde	Fritt
Väg	Rak, plan, oändlig och med "standard" beläggning

Detta ingångsvärde korrigerades sedan med hänsyn till följande avvikelser från grundförutsättningarna:

- olika hastighet,  $\Delta L_v$ ,
- olika antal fordon,  $\Delta L_N$
- andelen tunga fordon,  $\Delta L_{TF}$ .

I denna upplaga av beräkningsmodellen beräknas  $L_{Aeq,10m}$  ur ljudexponeringsnivån för varje fordonsslag,  $L_{AE,10m}$ , det vill säga

$$L_{Aeq,10m}(\text{lätta}) = L_{AE,10m}(\text{lätta}) + 10 \lg\left(\frac{N(\text{lätta})}{T}\right) \quad (2.17)$$

$$L_{Aeq,10m}(\text{tung}) = L_{AE,10m}(\text{tung}) + 10 \lg\left(\frac{N(\text{tung})}{T}\right) \quad (2.18)$$

där  $N(\text{lätta})$  och  $N(\text{tung})$  är antalet lätta respektive tunga fordon under tiden T, i sekunder. Anger man ljudexponeringsnivån som funktion av hastigheten och summerar de två bidragen erhålls

$$L_{Aeq}(\text{blandade}) = L_1 = 10 \lg\left(10^{L_{Aeq}(\text{lätta})/10} + 10^{L_{Aeq}(\text{tung})/10}\right) \quad (2.19)$$



Detta nya förfaringsätt har fördelen av att vara mer flexibelt. Till exempel om man i mycket speciella fall vill använda andra värden för tunga fordon. Två sådana situationer kan var stadstrafik med enbart extra tysta bussar eller trafik på natten med bara tunga timmerlastbilar. I det förra fallet kan det vara lämpligt att använda lägre värden och i det senare högre.

I [1], anges ljudexponeringsnivån,  $L_{AE,10m}$ , för lätta fordon till

$$L_{AE,10m}(\text{lätta}) = 73,6 + 30 \lg\left(\frac{v}{50}\right) \quad ; v \geq 50 \text{ km/h} \quad (2.20)$$

Under de senaste fem åren har åtskilliga undersökningar genomförts i de nordiska länderna, [2,3,4,5], i avsikt att utvidga hastighetsområdet ner till 30 km/h och att se över gamla värden. Alla undersökningarna kom fram till ungefär samma resultat fastän där fanns en viss spridning. Ljudtrycksnivåernas utgångsvärden har tagits från [5]:

$L_{AE,10m}(\text{lätta}) = 73,5 + 25 \lg\left(\frac{v}{50}\right) \quad ; v \geq 40 \text{ km/h} \quad (2.21)$ $L_{AE,10m}(\text{lätta}) = 71,1 \quad ; 30 \leq v < 40$
--

I [1], anges ljudexponeringsnivån,  $L_{AE,10m}$ , för tunga fordon av

$$L_{AE,10m}(\text{tung}) = 83,6 + 20 \lg\left(\frac{v}{50}\right) \quad ; 50 \text{ km/h} \leq v \leq 90 \text{ km/h} \quad (2.22)$$

In [5] föreslogs följande värden:

$$L_{AE,10m}(\text{tung}) = 81 + 20 \lg\left(\frac{v}{50}\right) \quad ; 50 \text{ km/h} \leq v \leq 90 \text{ km/h} \quad (2.23)$$

$$L_{AE,10m}(\text{tung}) = 81 \quad ; 30 \text{ km/h} \leq v \leq 50 \text{ km/h}$$

De data som ligger bakom formeln (2.23) innehöll få fordon med mer än 2-3 axlar. Eftersom definitionen på tunga fordon inte skiljer på fordon med 2-3 axlar från sådana med 4,5 eller fler och eftersom tunga fordon med hög hastighet i huvudsak förekommer på stora vägar med stor andel av tunga fordon kommer formeln (2.23) att underskatta hastighetsberoendet. Bullret ökar med  $10 \lg(\text{antal axlar})$  vilket innebär att vi skulle få högre värden vid höga hastigheter. Om vi antar att medelantalet axlar växer från 2,5 till 4,5 jämfört med de data, som ligger bakom formel (2.23), så får vi cirka 2,5 dB ökning, vilket någorlunda motsvarar ett beroende av hastighetsökningen på mellan 20 lg och 30 lg. Eftersom [2, 3, 4] också visar på något lägre nivåer under 50 km/h erhåller vi slutligen

$L_{AE,10m}(\text{tung}) = 80,5 + 30 \lg\left(\frac{v}{50}\right) \quad ; 50 \text{ km/h} \leq v \leq 90 \text{ km/h} \quad (2.24)$ $L_{AE,10m}(\text{tung}) = 80,5 \quad ; 30 \text{ km/h} \leq v \leq 50 \text{ km/h}$
--

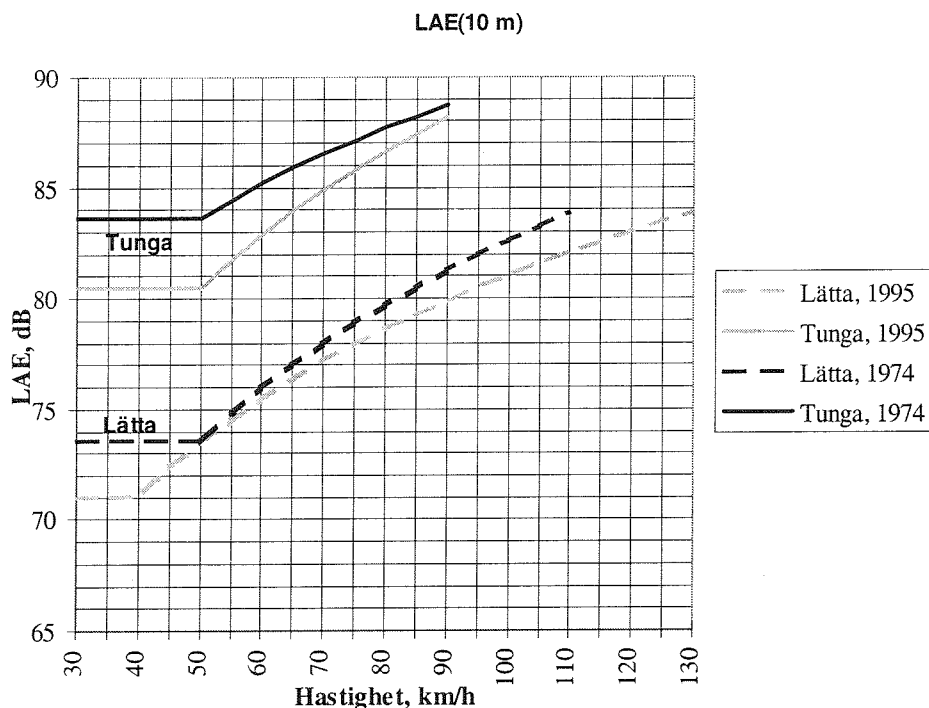
Av praktiska skäl är det nödvändigt att även kunna hantera farter under 30 km/h. Tills dess att mer data blir tillgängligt används nedanstående uttryck:

$$L_{AE(10m)}(v \leq 30 \text{ km/h}) = L_{AE,10m}(v = 30 \text{ km/h})$$

Om man i framtiden delar in tunga fordon i flera kategorier kommer hastighetsberoendet i formel (2.24) sannolikt att öka. Samtidigt kommer den konstanta nivån vid 50 km/h och därunder att bli beroende av antalet hjulaxlar.

Formel (2.24) har endast verifierats upp till 90 km/h. Om det blir nödvändigt, vilket inte är troligt, så kan den sannolikt användas för farter över 90 km/h. De nya och gamla värdena visas i figur 2.1

Figur 2.1 antyder omkring 2,5 dB tystare tunga fordon vid låga hastigheter, inga förändringar för lätta fordon vid referenshastigheten 50 km/h, men även signifikanta förändringar för lätta fordon vid såväl mycket höga som mycket låga hastigheter. Allt mindre bullrande fordon kring 50 km/h beror på strängare bullerkrav. Inga jämförelser kan göras under 50 km/h eftersom den förra upplagan av beräkningsmodellen inte behandlade dessa hastigheter. Anledningen till minskningen av bullret från lätta fordon 1995 vid höga hastigheter är inte helt uppenbar. Vid dessa hastigheter dominerar väg och däcksljud. En förklaring kan vara att det bland 1975 års data ingick några resultat från betongvägar.



Figur 2.1 - Nya och gamla utgångsvärden uttryckta som ljudexponeringsnivåer.

$L_1$  erhålls ur uttrycken (2.17), (2.18), (2.21) och (2.24).

### 2.2.3 $L_{AFmax,10m}$

I [1] var den A-vägda maximala ljudtrycksnivån oberoende av hastigheten.

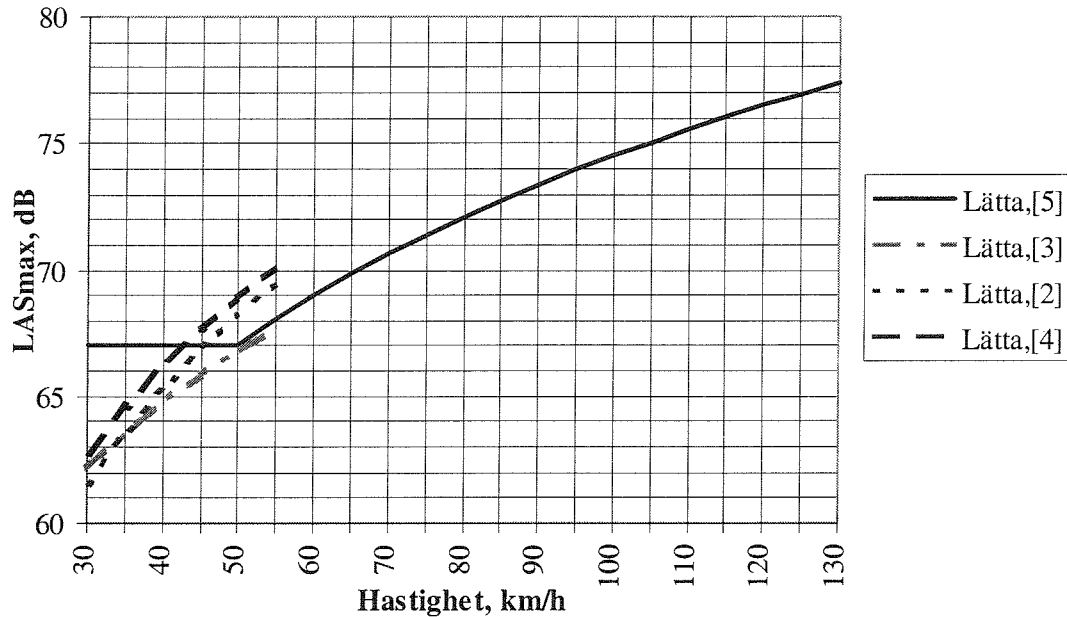
Tidsvägningen var inte specifikt angiven. Emellertid har de ursprungliga mätningar gjorts med tidsvägning F. De värden som uppgavs var

$$L_{AFmax,10m}(\text{lätta}) = 80 \text{ dB}, \text{ oberoende av } v \quad (2.25)$$

$$L_{AFmax,10m}(\text{tung}) = 90 \text{ dB}, \text{ oberoende av } v \quad (2.26)$$

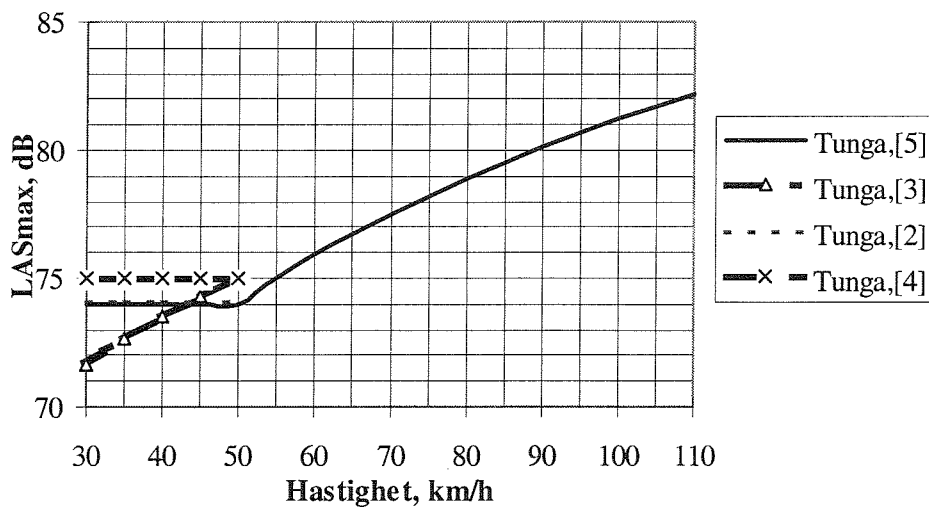
Nya undersökningar [2-5] har gett resultat som visas i figurerna 2.2 och 2.3. Värdena som anges i dessa är aritmetiska medelvärden och tidsvägningen är S. Värdena kan omvandlas till tidsvägning F genom att lägga till korrektionerna i figur 2.4 som visar skillnaden mellan de två tidsvägningarna. Korrektionerna har beräknats teoretiskt men det har visats genom försök att de i medeltal är i god överensstämmelse med mätta skillnader. Eftersom de flesta mätdata har erhållits på omkring 10 m avstånd kommer korrektionen för detta avstånd att användas i fortsättningen.

#### LASmax(10 m), Lätta fordon

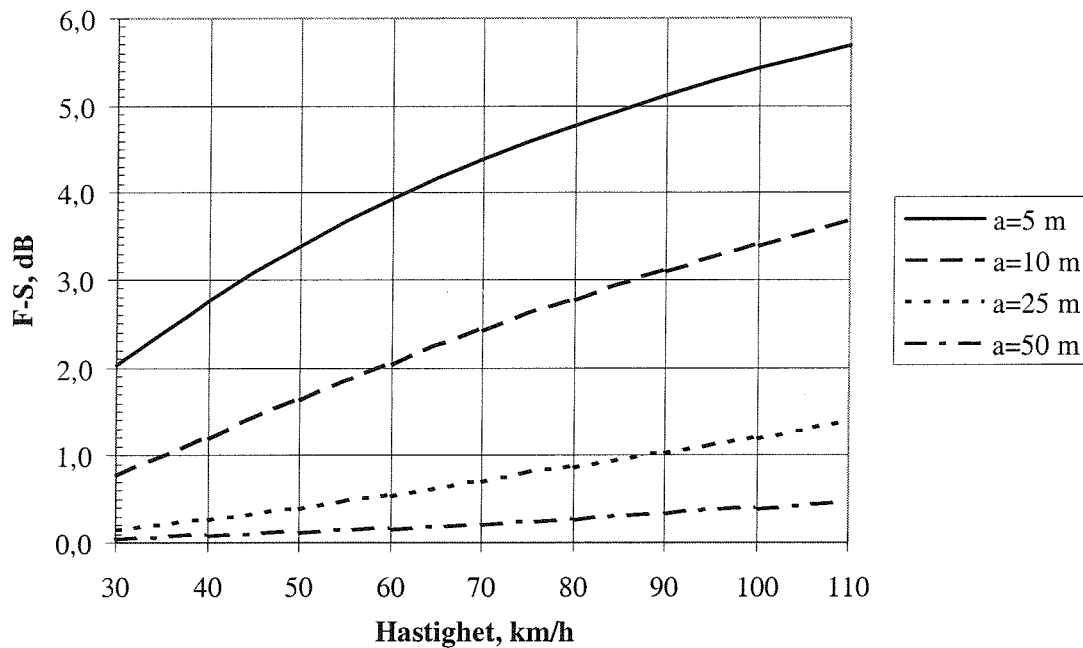


Figur 2.2 - Aritmetiskt medelvärde för  $L_{ASmax,10 m}$  för lätta fordon som funktion av medelhastigheten, olika källor.

#### LASmax(10 m), Tunga fordon



Figur 2.3 - Aritmetiskt medelvärde för  $L_{ASmax,10 m}$  för tunga fordon som funktion av medelhastigheten, olika källor.



**Figur 2.4** - Beräknad skillnad mellan tidsvägning F och tidsvägning S för passerande personbilar som funktion av hastigheten och avståndet till vägen, enligt [5].

Genom att kombinera [5] och [3] i figur 2.2 och lyfta kurvan 1 dB för att ta hänsyn till att övriga referenser har högre värden och genom att korrigera för tidsvägning F enligt figur 2.4 så får vi följande för lätta fordon och medelvärde

$$\bar{L}_{AF \max, 10m}(\text{lätta}) = 69 + 30 \cdot \lg\left(\frac{v}{50}\right) \quad ; v \geq 30 \text{ km/h} \quad (2.27)$$

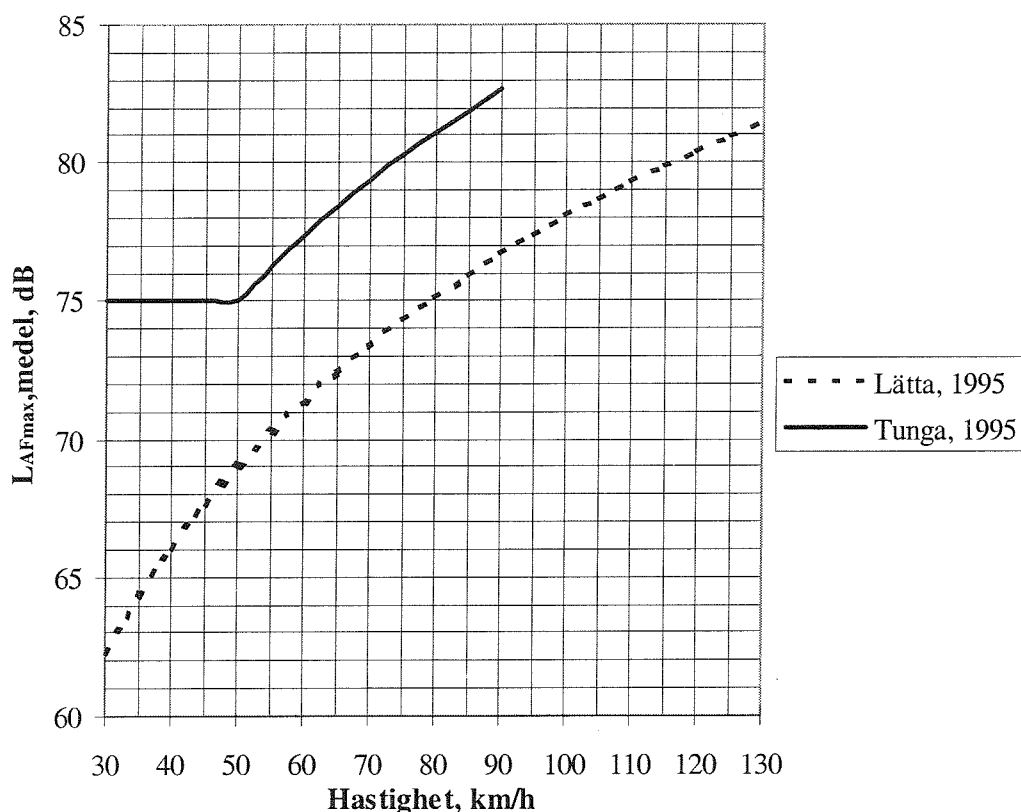
På motsvarande sätt får vi för tunga fordon

$$\bar{L}_{AF \max, 10m}(\text{tung}) = 75 + 30 \cdot \lg\left(\frac{v}{50}\right) \quad ; v > 50 \text{ km/h} \quad (2.28)$$

$$\bar{L}_{AF \max, 10m}(\text{tung}) = 75 \quad ; v \leq 50 \text{ km/h}$$

Ovanstående uttryck illustreras i figur 2.5.

Det är också nödvändigt att bestämma vilken typ av maximalvärde som skall användas, det aritmetiska medelvärdet, energimedelvärdet eller något annat. I den senaste versionen av beräkningsmodellen definierades maximalvärdet som det värde som överskreds av 5% av fordonen även om värdena presenterades som om de var maximalvärden. Om man antar att normalfördelning gäller, motsvarar detta värde medelvärdet + 1,64 standardavvikelser.



Figur 2.5 - Bullernivåernas nya utgångsvärden för aritmetiska medelvärdet av  $L_{AFmax,(10\text{ m})}$

Ett mer allmängiltigt sätt är att använda de aritmetiska medelvärden, som erhålls ur formlerna (2.27) och (2.28) tillsammans med standardavvikelsen. Utgående från att vi har normalfördelning blir det sedan möjligt att beräkna önskade statistiska värden. Några typiska standardavvikelser anges i tabell 2.2. Standardavvikelsen för tunga fordon under 50 km/h har beräknats utan hänsyn till hastigheten. I all övriga fall har standardavvikelsen beräknats i förhållande till den ljudtrycksnivå som anges av regressionslinjen. Resultaten antyder att standardavvikelsen minskar med ökad hastighet.

Tabell 2.2 - Standardavvikelse för  $L_{AFmax}$

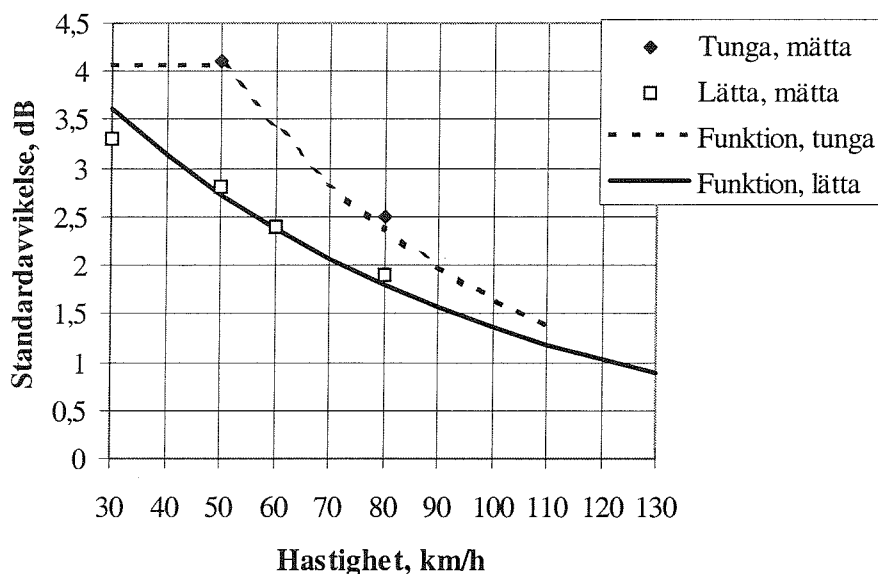
Hastighet	Tunga	Lätta	Källa
30-50 km/h	4,1 dB	2,8 dB	[2]
50-75	-	2,4 dB	[2]
>60 km/h	2,5 dB	1,9 dB	[33]

För att undvika onödiga diskontinuiteter kan värdena i tabell 2.2 approximeras med två funktioner (2.29) och (2.30), som beskrivs nedan och i figur 2.6.

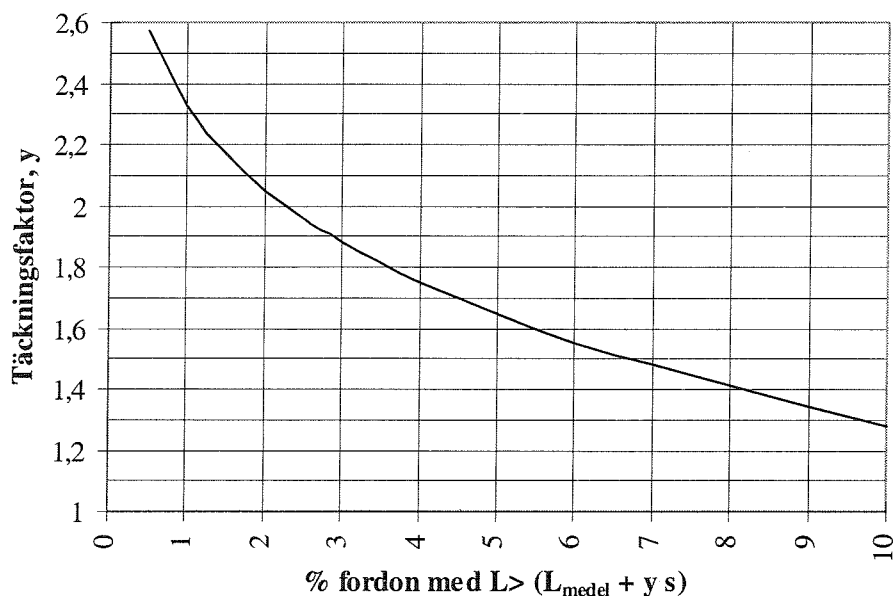
$$s(\text{tung}) = 4,1 \quad ; 30 \leq v \leq 50 \text{ km/h} \quad (2.29)$$

$$s(\text{tung}) = 10 \cdot e^{-0,9 \frac{v}{50}} \quad ; v > 50 \text{ km/h}$$

$$s(\text{lätta}) = 5,5 \cdot e^{-0,7 \frac{v}{50}} \quad ; v \geq 30 \text{ km/h} \quad (2.30)$$



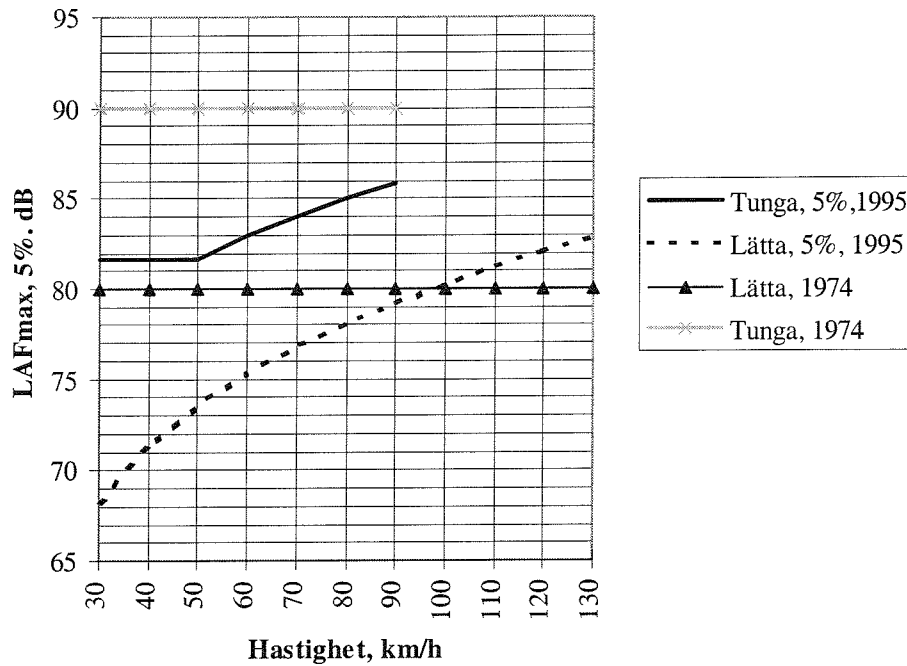
Figur 2.6 - Standardavvikelse för  $L_{AFmax}$  avseende lätta och tunga fordon.



Figur 2.7 - Andelen fordon som överskrider en given ljudnivå under förutsättning av normalfördelning med känt medelvärde och känd standardavvikelse.

Det är nu möjligt att beräkna maximalnivåer med olika konfidensgrad genom att tillämpa statistiska regler. Figur 2.7 kan användas för att beräkna den procentuella andelen fordon som överstiger  $\overline{L_{AFmax}} + y \cdot s$  där  $\overline{L_{AFmax}}$  erhålls ur (2.27) och (2.28),  $s$  fås ur (2.29) och (2.30) och täckningsfaktorn,  $y$  från figur 2.7.

I figur 2.8 jämförs maximalnivån enligt den senaste versionen av beräkningsmetoden och 5%-värdet beräknat som  $\overline{L_{AFmax}} + 1,64 \cdot s$ . Det nya värdet är uppenbarligen mycket lägre. Huvudorsaken till detta är att definitionerna som används i versionerna från 1974 och 1979 inte är helt otvetydiga.



**Figur 2.8** - Jämförelse mellan nya och gamla maximalvärden förutsatt att de är definierade likvärdigt.

De formler som använts för figur 2.8 är följande

$$\bar{L}_{AF \max 5\%, 10m}(\text{lätta}) = 69 + 30 \cdot \lg\left(\frac{v}{50}\right) + 9 \cdot e^{-0,7 \frac{v}{50}}, \quad v \geq 30 \text{ km/h} \quad (2.31)$$

På motsvarande sätt få vi för tunga fordon

$$\begin{aligned} \bar{L}_{AF \max 5\%, 10m}(\text{tung}) &= 75 + 30 \cdot \lg\left(\frac{v}{50}\right) + 16,4 \cdot e^{-0,9 \frac{v}{50}}, \quad v > 50 \text{ km/h} \\ \bar{L}_{AF \max 5\%, 10m}(\text{tung}) &= 81,7, \quad v \leq 50 \text{ km/h} \end{aligned} \quad (2.32)$$

Av praktiska skäl är det nödvändigt att kunna hantera hastigheter under 30 km/h. Till dess att mera data finns tillgängliga används följande uttryck.

$$\begin{aligned} L_{AF \max(10 m)}(v \leq 30 \text{ km/h}) &= L_{AF \max(10 m)}(v = 30 \text{ km/h}) \\ s(v \leq 30 \text{ km/h}) &= s(v = 30 \text{ km/h}) \end{aligned} \quad (2.33)$$

## 2.3 Steg 2 - Avståndskorrektion, $\Delta L_{AV}$

### 2.3.1 Allmänt

När ljud strålar ut från en liten ljudkälla fördelar det sig över en yta som ökar med växande avstånd från källan. Med avståndsdämpning menar vi den minskning av ljudtrycksnivån som orsakas av denna spridning av ljudet. Andra ljuddämpande fenomen som t. ex. markdämpning kommer att behandlas för sig liksom korrekationer för korta avstånd till breda vägar.

### 2.3.2 $L_{Aeq}$

En ström av fordon kan betraktas som en linjeformad ljudkälla med avseende på  $L_{Aeq}$ . Detta innebär att dämpningen på grund av den geometriska spridningen, som sker över en cylindrisk yta, blir 3 dB per fördubbling av avståndet.

När ljudtrycksnivån beräknas för platser långt från vägen är det möjligt att betrakta all trafik på vägen som en linjekälla belägen på vägens mittlinje och räkna avståndet,  $a$ , längs normalen till vägen. På korta avstånd måste man emellertid ta hänsyn till höjdskillnader mellan vägen,  $h_b$ , och mottagaren,  $h_m$ . Vi får då, under antagande att ljudkällan ligger 0,5 m över vägytan, följande avståndskorrektion

$$\Delta L_{AV} = -10 \lg \left[ \frac{\sqrt{a^2 + (h_m - h_b - 0,5)^2}}{10} \right] \quad (2.34)$$

### 2.3.3 $L_{AFmax}$

Med avseende på  $L_{AFmax}$  kan man betrakta det enskilda fordonet som en punktkälla. Detta innebär att korrekationen, för den geometriska spridningen över en sfär eller halvsfär, blir 6 dB per fördubbling av avståndet. Vi får följaktligen

$$\Delta L_{AV} = -20 \lg \left[ \frac{\sqrt{a^2 + (h_m - h_b - 0,5)^2}}{10} \right] \quad (2.35)$$

## 2.4 Steg 3 - Mark- och skärmkorrektion, $\Delta L_{MS}$

### 2.4.1 Allmänt

Markkorrektionen,  $\Delta L_{MS}$ , definieras som all dämpning utöver avståndsdämpningen. Den beror av många olika parametrar, de viktigaste av dem är ljudkällans bullerspektrum, ljudkällans höjd över vägytan, vägbanans höjd i förhållande till den omgivande markytan, markytans akustiska egenskaper, mottagarens höjd både i förhållande till vägytan och i förhållande till den omgivande marken, eventuell skärmning av ljudkällan och sist men inte minst väderförhållandena.

För att beräkningsmodellen skall bli hanterbar måste vissa förenklingar göras. I denna modell kommer det endast att tas hänsyn till vägytans höjd över marken, höjd och läge för eventuella skärmar, mottagarens höjd och till markbeskaffenhet, hård eller mjuk.



Hård mark är täckt med betong, asfalt, vatten eller andra ljudreflekterande material. Allt annat klassas som mjuk mark. Resterande parametrar är inbakade i metoden och behandlas inte som variabler.

## 2.4.2 Markkorrektions, $\Delta L_M$

Markytans och ljudkällans lägen i förhållande till marken runt omkring är av mycket stor betydelse. Detta är i synnerhet sant när ljudet breder ut sig över plan mark och vägytan ligger mindre än 0,5 m över marken. Under extrema förhållanden kan korrektionen vid 0,0 m källhöjd vara 5 dB högre än vid 0,5 m. Eftersom denna korrektion är mycket känslig för ljudkällans höjd och variationer i väderförhållanden och de akustiska egenskaperna och jämnheten hos marken, har det bestämts att beräkningsmodellen skall göras konservativ i detta avseende genom att anta att ljudkällan alltid ligger 0,5 m över vägytan.

Beträffande vägytans och mottagarens höjd över marken, så är det inte alltid marken närmast vägen eller mottagaren man refererar till. I stället är det höjden i förhållande till den yta eller det reflexionsplan i vilket det utsända ljudet speglas mot mottagaren. Anvisningar om hur man väljer reflexionsplan finns i del 1. Anvisningarna är resultat från ett antal skalamodellförsök, se [9].

Den teoretiska bakgrunden till ljuddämpningskurvorna härrör från [7,8]. De teoretiska kurvorna har sedan justerats för att så bra som möjligt stämma överens med ett stort antal väl specificerade data från olika platser i Skandinavien och Storbritannien, [10]-[17].

Markkorrektionen för buller från vägar som ligger mindre än 1,5 m över marken		
$\Delta L_M = 0$	, hård mark	
$\Delta L_M = -6 \lg\left(\frac{\sigma^2}{1+0,01\sigma^2}\right)$	, mjuk mark, $\sigma > 1$	(2.36)
$\Delta L_M = 0$	,mjuk mark, $\sigma \leq 1$	

där

$\sigma = \frac{d'}{10h_m}$	, om $h_m < 2$ m sätt $h_m = 2$ m	
$d' = d \cdot 10^{-0,3h_b}$	, $h_b \geq 0$	
$d =$	beräkningsavstånd (m) längs reflexionsplanet, se del 1, vid beräkning av $L_{Aeq}$ och kortaste avståndet mellan mottagaren och närmaste vägbanan, vid beräkning av $L_{Amax}$	(2.37)
$h_b =$	väg bankens höjd (m) över reflexionsplanet	
$h_m =$	mottagarens höjd (m) över reflexionsplanet	

Om vägbankens höjd är  $> 1,5$  m kommer vägen att fungera som skärm. I så fall skall avsnitt 2.4.3 tillämpas. Om höjden är  $< 0$  m befinner sig vägen i en skärning, skärning uppstår och avsnitt 2.4.3 skall tillämpas.

### 2.4.3 Skärm- och skärm-markkorrektin, $\Delta L_{MS}$

Skärmkorrektin beräknas i två steg. Först beräknas den som om marken inte fanns på mottagarsidan och därefter korrigeras för inverkan av denna mark. Korrektinerna är olika för hård och mjuk mark. För att få en hanterbar beräkningsmodell tas inte hänsyn till skärmens akustiska egenskaper. Detta innebär att resultaten inte är beroende av om skärmen är absorberande eller inte. Denna approximation är tillräckligt bra när ljudkällan och mottagaren är långt från skärmen. Ligger källan/mottagaren närmare skärmen än cirka 10 m kommer modellen att överskatta skärmningen av en reflekterande skärm med ett par dB. Skärmningen beräknas med förutsättningen att ljudkällan befinner sig 0,5 m över vägens mittlinje. Detta är en förenkling. I verkligheten finns det åtskilliga källor på olika höjder över vägen. Osäkerheten i denna approximation är störst nära intill linjen genom ljudkällan och skärmkrönet.

Samma beräkningsmodell som används för skärmar tillämpas på vägar i skärningar. Om slutningen ner till vägbanan är brant blir noggrannheten lika bra som för skärmar. Är emellertid slutningen mer utdragen påverkas resultatet och påverkar resultatet och denna metod kommer att ge ett mindre noggrant resultat. Om man har tjocka skärmar korrigerar man enligt [18].

Normalt antas markkorrektin mellan källan och skärmkrönet vara noll. Det är emellertid möjligt att korrigera för mjuk mark framför skärmen. Om markkorrektin framför skärmen är noll får vi

$$\Delta L_{MS} = \Delta L_s + \Delta L_m \quad (2.38)$$

där  $\Delta L_{MS}$  = mark och skärmkorrektin  
 $\Delta L_s$  = skärmkorrektin  
 $\Delta L_m$  = markkorrektin bakom skärmen

Den effektiva skärmhöjden,  $h_e$ , är tillsammans med skärmens läge i förhållande till mottagaren och källan avgörande för skärmkorrektin,  $h_e$ , beräknas ur

$$h_e = \frac{(h_v - h_m)d_1 + (h_v - h_b - 0,5)d_2}{\sqrt{(d_1 + d_2)^2 + (h_m - h_b - 0,5)^2}} \quad (2.39)$$

där  $h_e$  = effektiv skärmhöjd, skärmkrönets höjd över linjen mellan källan och mottagaren.  
 $h_v$  = skärmkrönets höjd över reflexionsplanet på mottagarsidan  
 $h_m$  = mottagarens höjd över reflexionsplanet på mottagarsidan  
 $h_b$  = vägytans höjd över reflexionsplanet på mottagarsidan  
 $d_1$  = beräkningsavståndet från skärmen till vägens mittlinje  
 $d_2$  = beräkningsavståndet från skärmen till mottagaren

Anm. Av praktiska skäl mäts  $d_1$  och  $d_2$  i samma plan som reflexionsplanet. Detta är en approximation av det rätta sättet att bestämma motsvarande avstånd längs linjen från källan till mottagaren. Denna approximation kommer emellertid inte att ha någon signifikant inverkan på beräkningarna tack vare de begränsningar för  $d_1$  och  $d_2$  som införs nedan.

Skärmparametern  $x$  beräknas enligt följande

$$x = 1,1 \cdot h_e \sqrt{\frac{d_2 + d_1}{d_1 \cdot d_2}} \quad (2.40)$$

Om  $d_2 \geq d_1$

- om  $d_2 < 30$  så sätt  $d_2 = 30$  i (2.40)
- om  $\frac{d_2}{d_1} > 20$  så sätt  $d_1 = 0,05 d_2$  och behåll  $d_2$  som det är

Om  $d_2 < d_1$

- om  $d_1 < 30$  så sätt  $d_1 = 30$  i (2.40)
- om  $\frac{d_1}{d_2} > 20$  så sätt  $d_2 = 0,05 d_1$  och behåll  $d_1$  som det är

Skärmkorrektionen beräknas ur

$$\begin{array}{ll} \Delta L_s = -25 & x \geq 2,4 \\ \Delta L_s = -5 - 10 \lg(1 + x + 17 x^2) & 0 \leq x < 2,4 \\ \Delta L_s = -5 + 10 \lg(1 - x + 17 x^2) & -0,33 \leq x < 0 \\ \Delta L_s = 0 & x < -0,33 \end{array} \quad (2.41)$$

Höga frekvenser skärmas mer än låga frekvenser. Detta innebär att skärmning förändrar trafikbullerspektrum. Eftersom beräkningsmodellen enbart omfattar A-vägda värden måste inverkan av denna förändring behandlas för sig. Detta sker med en korrektion som använder parametern  $z$ .

$$\begin{array}{ll} z = 1 & \Delta L_s \leq -18 \\ z = \frac{-\Delta L_s - 5}{13} & -18 < \Delta L_s \leq -5 \\ z = 0 & -5 < \Delta L_s \end{array} \quad (2.42)$$

Markkorrektionen mellan skärm och mottagare vid mjuk mark beräknas som funktion av  $z$  enligt

$$\begin{array}{ll} \text{För mjuk mark} & \\ \Delta L_m = -5(1-z) \lg\left(\frac{\sigma^2}{1+0,01\sigma^2}\right) & \sigma \geq 1 \\ \Delta L_m = -4 z \lg(\sigma) & 0,3 \leq \sigma < 1 \\ \Delta L_m = 2z - 4 z \lg\left(\frac{0,3}{\sigma}\right) & 0,1 < \sigma < 0,3 \\ \Delta L_m = 0 & \sigma \leq 0,1 \end{array} \quad (2.43)$$

där

$$\sigma = \frac{d'_2}{10h_m} \quad h_m \geq 2 \text{ m} \quad \text{om } h_m < 2 \text{ m} \quad \text{sätt } h_m = 2$$

$$d'_2 = d_2 \cdot 10^{-0,3h_v} \quad h_v \leq 4 \quad \text{om } h_v > 4 \text{ m} \quad \text{sätt } h_v = 4. \quad (2.44)$$

$h_v$  = skärmkrönets höjd (m) över reflexionsplanet på mottagarsidan  
 $h_m$  = mottagarens höjd (m) över reflexionsplanet  
 $z$  = parameter som beskriver förändring i bullspektrum på grund av skärmning  
 $d_2$  = beräkningsavstånd (m) mellan skärm och mottagare längs reflexionsplanet

Med hård mark mellan skärm och mottagare blir motsvarande formler

Hård mark

$$\Delta L_m = 3z \lg(\sigma) + 2z \quad 0,2 \leq \sigma \leq 10$$

$$\Delta L_m = 5z \quad \sigma > 10 \quad (2.45)$$

$$\Delta L_m = 0 \quad \sigma < 0,2$$

där

$$\sigma = \frac{d_2}{10h_m} \quad h_m \geq 2 \text{ m, om } h_m < 2 \text{ m} \quad \text{sätt } h_m = 0$$

I fall med mjuk mark mellan vägen och skärmen och när mottagaren befinner sig *under* linjen genom källan och skärmkrönet får vi

$$\Delta L_{MS} = \Delta L_s + \Delta L_{vs} \left(1 - \frac{7z}{13}\right) + \Delta L_m \quad (2.46)$$

där  $\Delta L_{vs}$  = är markkorrektionen mellan vägen och en mottagare på skärmkrönet

Om mottagaren befinner sig *över* linjen genom källan och skärmkrönet får vi två fall

- Mottagaren är tillräckligt högt för att skärm korrektionen skall bli noll. I så fall bortser man från skärmen och beräknar bullernivån utifrån markeffekten enligt (2.36) - (2.37) med beräkningsavståndet  $d_1 + d_2$ .
- Mottagaren ligger över linjen genom källan och skärmkrönet, men inte tillräckligt högt för att  $\Delta L_s$  skall bli noll. Det finns en liten, negativ effektiv skärmhöjd, och skärmkorrektionen är mellan -5 dB och noll. I detta fall beräknas i första hand bullernivån  $L_{unscr.}$  vid mottagaren enligt (2.36) - (2.37) för markeffekten, utan att ta hänsyn till skärmen. I andra hand beräknas bullernivån  $L_{line}$  med mottagaren exakt på linjen genom källan och skärmkrönet. Detta görs enligt formeln (2.46), som i det här fallet blir enkel eftersom  $h_e = 0$ ,  $\Delta L_s = -5$  och  $z = 0$ . Slutresultatet erhålls genom interpolation mellan de två fallen:

Mottagaren ligger högt över linjen genom källan och skärmkrönet, $\Delta L_s = 0$	
$\Delta L_{MS} = \Delta L_{MS,0} = \Delta L_M (d = d_1 + d_2)$	(2.47)
$\Delta L_M (d = d_1 + d_2)$ enligt (2.36)	
Mottagaren ligger på linjen genom källan och skärmkrönet, $\Delta L_s = -5$	
$\Delta L_{MS} = \Delta L_{MS,-5} = -5 + \Delta L_{vs} + \Delta L_m$	(2.48)
Mottagaren ligger mellan ovanstående, $-5 < \Delta L_s < 0$	
$\Delta L_{MS,-5} = -5 + \Delta L_{vs} + \Delta L_m$	
$\Delta L_{MS} = \Delta L_{MS,0} + \frac{\Delta L_s}{5} (\Delta L_{MS,0} - \Delta L_{MS,-5})$	(2.49)

### Maximal ljudtrycksnivå

När beräkningar utförs för  $L_{AFmax}$  i stället för  $L_{Aeq}$  ersätts beräkningsavståndet ovan med det kortaste avståndet mellan källa och mottagare.

## 2.5 Dämpningstillskott på grund av vegetation

Detta avsnitt är endast till för information. På grund av osäkerheten i korrektionen är den inte integrerad i beräkningsmodellen.

Det är svårt att skilja dämpningen från gräsbevuxen mark från tillskottsdämpningen från själva vegetationen. Normalt dämpar marken själv mer än vegetationen, i synnerhet om marken är mjuk, vilket är fallet med skog i jämförelse med öppen terräng. I skogen kan även stammarna bidra till spridning av ljudet. Följaktligen tenderar dämpningstillskottet att bli större i en gammal skog än på ett nyligen planterat fält.

Dämpningstillskottet som erhålls nedan skall adderas till den som erhållits för ljudutbredning över vanlig gräsklädd mark. En förutsättning är att planteringen är välplanerad och att bara vintergrön vegetationen används. En tät buskvegetation med minst 5 m djup kan ge 2 dB. Om planteringsdjup är åtminstone 50 m kan dämpningstillskottet bli 3 - 6 dB. Den högre siffran gäller då den vertikala täckningen är god och marken är synnerligen mjuk och/eller kuperad.

Vegetationen kan också ha andra effekter på människor som gör att dess inverkan upplevs som mer positiv än vad som kunde förväntas från den objektiva sänkningen i dB.

Förändringarna i ljudutbredningen på grund av meteorologiska förhållanden är förmodligen mindre i skogsbygd än i öppen terräng. Därför är det troligen lättare att erhålla stor markdämpning i en skog än i öppen terräng.

## 2.6 Steg 4 - Övriga korrektioner, $\Delta L_o$

### 2.6.1 Allmänt

Utgångsvärdet,  $L_{Aeq,10m}$ , gäller för en plan väg med fri ljudutbredning i alla riktningar. Detta värde korrigeras, som tidigare har beskrivits, sedan för avstånd, mark och skärmar. I detta avsnitt diskuteras ytterligare korrektioner för förhållanden, som avviker från dem, som tidigare har behandlats.

Summan av dessa korrektioner betecknas  $\Delta L_o$  och beräknas enligt

$$\Delta L_o = \Delta L_\alpha + \Delta L_{ts} + \Delta L_{st} + \Delta L_{ka} + \Delta L_r + \Delta L_{mg} + \Delta L_{ms} + \Delta L_g + \Delta L_b \quad (2.50)$$

där

- $\Delta L_\alpha$  = korrektion för vinkelområdet
- $\Delta L_{ts}$  = korrektion för tjock skärm
- $\Delta L_{st}$  = korrektion för stigning
- $\Delta L_{ka}$  = korrektion för kort avstånd till vägen
- $\Delta L_r$  = korrektion för reflexion från enstaka ytor
- $\Delta L_{mg}$  = korrektion för multipelreflexer mellan byggnader
- $\Delta L_{ms}$  = korrektion för multipelreflexer i sidogator
- $\Delta L_g$  = korrektion för multipelreflexer i slutna gårdsrum
- $\Delta L_b$  = korrektion för skärmning och spridning bland friliggande hus

Rörande olika vägytor och däck se 2.6.2.

Trafikrytmen och följaktligen även bullernivån på gator kan påverkas av ett antal omständigheter. Den påverkas av gatans standard, som karakteriseras av

- trafikflöde/kapacitetsgräns
- avstånd mellan korsningar och typ av korsningar
- närvaron av kollektiva trafikmedel (spårvagnar, tunnelbana, bussar)
- andelen tung trafik och typ av tung trafik
- gatans geometri (bredd på gata och gångbana)
- typ av gata (affärsgata, gata i bostadsområde, genomfart)
- stigningar
- gatubeläggning
- belysningsstandard
- vägbulor eller andra farthinder

Ovanstående lista antyder att det kan bli nödvändigt med en mycket komplicerad metod. Praktiska mätningar visar dock att detta normalt inte är fallet, [8,19]. Gamla mätningar, [8], visade att beräkningsmodellen, i sin gamla version, med alla dess förenklingar, gav skillnader mellan beräknade och mätta värden som var mindre än  $\pm 2$  dB i 75% av alla fall. Den största skillnaden uppstod när den verkliga hastigheten avvek kraftigt från den skyltade. I denna reviderade beräkningsmodell används den verkliga hastigheten i stället för den skyltade.

## 2.6.2 Inflytande från vägytan

Projektgruppen har bestämt att inte införa någon obligatorisk korrektion för vägyta eller däck (sommardäck eller vinterdäck). I Annex A i del 1 finns det emellertid en korrektionstabell (från [21]) för olika vägytor, som speglar de senaste kunskaperna om vägytans inverkan på trafikbullret. Detta annex kan om så önskas användas av den som önskar beskriva vägbaneinflytandet i särskilda fall av bullerbekämpning och som är beredd att acceptera att en sådan korrektion kan variera med tiden.

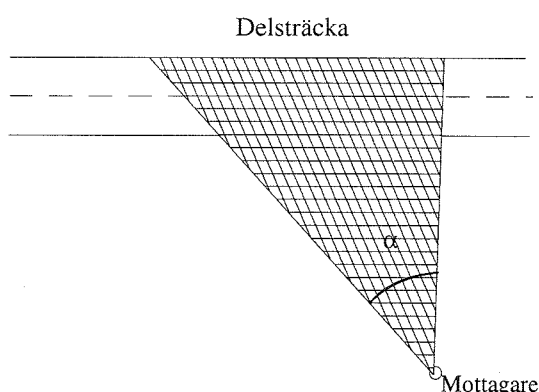
## 2.6.3 Vinkelområdet, $\Delta L_\alpha$

$L_{Aeq}$

Tidigare har endast trafik från oändligt långa raka vägar behandlats. Vid många tillfällen är det nödvändigt att beräkna ljudbidragen från en eller flera delsträckor. Bortser man från all extra dämpning utöver avståndsdämpningen kan man visa att lika stora vinkelområden, sedda från mottagaren, bidrar lika mycket till den sammanlagda ljudtrycksnivån, se t ex [7]. I förhållande till en oändligt lång väg blir korrektionen som skall appliceras på varje delsträcka

$$\Delta L_\alpha = 10 \lg\left(\frac{\alpha}{180}\right) \quad ; \alpha \text{ i } ^\circ \quad (2.51)$$

där  $\alpha$  framgår av figur 2.9



**Figur 2.9** - Vinkeln  $\alpha$  för den vägsträcka som studeras

Om man dessutom tar hänsyn till mark och skärmkorrektioner, så gäller i princip inte uttrycket (2.51) eftersom det utgår ifrån att den enda dämpningen är den geometriska spridningen med avståndet. Markdämpningen till exempel ökar med avståndet. Det har emellertid visats, [7] att (2.51) kan användas med godtagbar noggrannhet om markkorrektionerna beräknas för ett representativt avstånd, kallat beräkningsavståndet i 2.4.2, i stället för avståndet mätt längs normalen till vägen. Följaktligen har införandet av ett beräkningsavstånd gjort det möjligt att tillämpa det enkla sambandet (2.51) rakt i genom hela beräkningsmodellen.

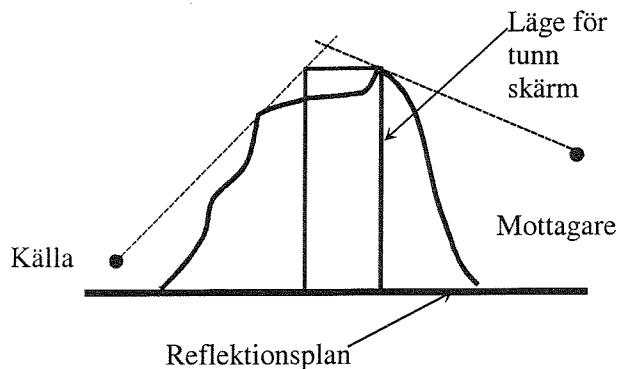
Anm. Ovanstående modell baseras på antagandet att integrationen gjorts analytiskt. Om beräkningarna i stället görs numeriskt genom att approximera vägen med en serie punktkällor kommer resultaten att avvika. En liknande skillnad kan uppstå mellan två olika operatörer som använder olika antal delsträckor för att beräkna  $L_{Aeq}$  i ett och samma fall. Det värde som erhålls från det största antalet delsträckor anses vara det mest tillförlitliga.

$L_{AFmax}$

Vid beräkning av maximalnivån görs inga korrekationer. I detta fall görs alla beräkningar för det kortaste avståndet mellan mottagaren och delsträckans mittlinje. Vinkelområdet  $\alpha$  saknar intresse.

## 2.6.4 Tjock skärm, $\Delta L_{ts}$

Om en skärm är tjock så blir skärmdämpningen högre än för en tunn skärm. Detta inträffar så snart som tjockleken överskrider cirka 0,5 m men någon korrektion behövs inte förrän den är mer än 1,5 m. Korrektionen som anges nedan baseras på [8] även om vissa förenklingar har gjorts. Principen är att först beräkna dämpningen för en tunn skärm, se figur 2.21 hur detta går till, och sedan konstruera en likvärdig tjockskärm som motsvarar det oregelbundna hindret och slutligen att lägga till den beräknade korrektionen  $\Delta L_{ts}$ .



**Figur 2.21** - Konstruktion av en tunn skärm och en ekvivalent tjock skärm för ett oregelbundet format hinder.

$$V_s = \arctan\left(\frac{h_v - h_b - 0,5}{d_1}\right); \quad V_s \geq 0, \theta_k = 90^\circ + V_s$$

$$V_m = \arctan\left(\frac{h_v - h_m}{d - d_1 - e}\right); \quad V_m \geq 0, \theta_m = 90^\circ + V_m$$

(2.52)

$$u = \frac{3,5 + V_s + V_m - \sqrt{100 + V_s^2 + V_m^2 - 1,6 \cdot V_s \cdot V_m + 7(V_s + V_m)}}{18}$$

$$k = 11 - 10^{(6-u)/6}$$

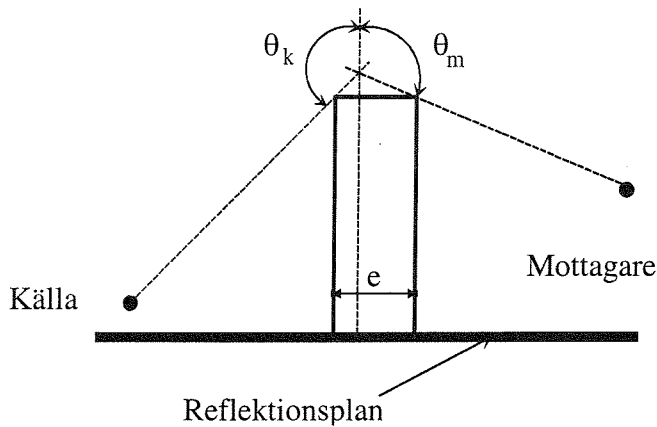
$$\Delta L_{ts} = -k \lg[2,2(e-0,05)]$$

Om  $\Delta L_{ts} > 0$  så sätts  $\Delta L_{ts} = 0$

Anm. Arctan är i grader.

där  $h_v$  = skärmkrönets höjd över reflexionsplanet på mottagarsidan  
 $h_m$  = mottagarens höjd över reflexionsplanet på mottagarsidan  
 $h_b$  = vägytans höjd över reflexionsplanet på mottagarsidan  
 $d$  = beräkningsavståndet från mottagaren till vägens mittlinje  
 $d_1$  = beräkningsavståndet från närmaste skärmkant till vägens mittlinje  
 $e$  = skärmens tjocklek i det vertikala planet som definieras av beräkningsavståndet  $\theta_k$  och  $\theta_m$  anges i figur 2.11.





Figur 2.11 - Geometrin för en tjock skärm

### 2.6.5 Stigning, $\Delta L_{st}$

Stigningar har en tendens att höja ljudnivån. Uppför stigningen ökar motorbullret medan farten ofta blir lägre. Nerför sluttningen ökar hastigheten.

Ökningen av  $L_{Aeq}$  beror på stigningen, längden på uppförsbacken och andelen tunga fordon. Korrektionen som ges nedan baseras på antagandet att längden på uppförsbacken är tillräckligt lång för att ge de beskrivna effekterna. Effekten uppträder tidigare om stigningen föregås av ett trafikljus eller en rondell. Den empiriska korrektionen som skall användas är

$$\Delta L_{st} = \frac{2G}{100} + \frac{3G}{100} \lg(1+p) \quad (2.53)$$

där  $G$  = stigningen i ‰  
 $p$  = andelen tunga fordon i ‰

Anm. De data som utgör bakgrund till formel (2.53) är ganska gamla och beskriver möjligen inte inverkan på moderna lastfordon helt korrekt.

### 2.6.6 Kort avstånd till vägen, $\Delta L_{ka}$

Om mottagaren befinner sig nära vägen, eller om vägen har många körbanor, så måste man beakta det faktum, att den närmaste vägbanan kommer att dominera akustiskt och att den akustiska mittlinjen kommer att flytta sig från vägmitten mot mottagaren. Detta görs med en korrektion  $\Delta L_{ka}$ , som skall användas så snart avståndet till vägmitten,  $a$ , är mindre än bredden på den trafikerade delen av vägen,  $2b$ .

$$\Delta L_{ka} = 10 \lg \left[ \frac{1}{2b} \sqrt{a^2 + (h_m - h_b - 0,5)^2} \cdot \ln \frac{a+b + \sqrt{(a+b)^2 + (h_m - h_b - 0,5)^2}}{a-b + \sqrt{(a-b)^2 + (h_m - h_b - 0,5)^2}} \right]; 2b > a > b$$

där  $a$  = avståndet längs normalen från mottagaren till vägmitten  
 $b$  = halva utnyttjade vägbredden  
 $h_m - h_b - 0,5$  = höjdskillnaden mellan mottagaren och ljudkällan relativt reflexionsplanet

(2.54)

Vid beräkning av  $L_{AFmax}$

$$\Delta L_{kamax} = 2 \Delta L_{ka} \quad (2.55)$$

### 2.6.7 Enkla reflexer från vertikala ytor, $\Delta L_r$

Korrektionen hänför sig till fall där ljudet reflekteras en gång i en vertikal yta. I modellen definieras en yta som fullständigt reflekterande, när den har en absorptionsfaktor, som är mindre än 0,6. Alla andra ytor räknas som fullständigt absorberande.

Fullständigt reflekterande ytor, till exempel husfasader, branta bergsidor och vissa bullerskärmar, längs en väg orsakar en höjning av ljudnivån i förhållande till ljudnivån från en väg i ett öppet landskap. Effekten kan beräknas genom att lägga till en spegelbild av vägen som ljudkälla och sedan lägga ihop bullret från den verkliga vägen och denspeglade.

Vid kortare avstånd än omkring 0,5 m till en reflekterande yta kommer det infallande och det reflekterade ljudet att samverka på ett okontrollerat sätt. Vid avstånd längre än omkring 0,5 m kommer denna interferens att ge en ökning på 3 dB i förhållande till det infallande ljudet så länge den reflekterande ytan är stor i förhållande till avståndet mellan mottagaren och ytan och att avståndet mellan källa och mottagare är mycket större än avståndet mellan mottagaren och den reflekterande ytan. I jämnhöjd med ytan orsakar interferensen en förhöjning på 6 dB.

Det reflekterade ljudet skall bara tas med i beräkningarna om den reflekterande ytan är större än 1,5 m och om

$$l_0 \cos \theta > \sqrt{2d_r} \quad (2.56)$$

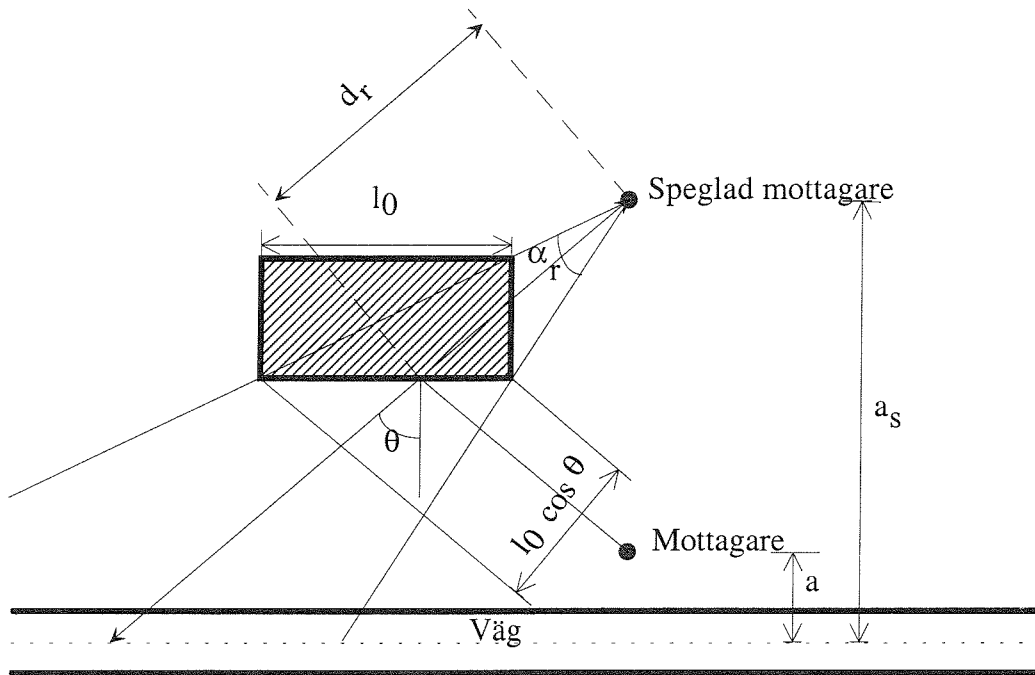
där  $l_0$  = längden på den reflekterande ytan  
 $d_r$  = avståndet från mottagarens spegelbild till den reflekterande ytan längs bisektrisen till siktinkeln  
 $\theta$  = vinkeln mellan bisektrisen och normalen till den reflekterande ytan

Korrektionen för reflexionen från en ensam, akustiskt hård yta parallell med vägen blir

$$\Delta L_r = 10 \lg \left( 1 + \frac{\alpha_r \cdot a}{\alpha \cdot a_s} \right); \quad 0 \leq \alpha < 180^\circ \quad (2.57)$$

där  $a$  = avståndet längs normalen från vägmitten till mottagaren  
 $a_s$  = avståndet längs normalen från vägmitten till mottagarens spegelbild  
 $\alpha_r$  = den vinkel med spetsen vid mottagaren, som omfattar den reflekterande ytans båda ändpunkter  
 $\alpha$  = den vinkel med spetsen vid mottagaren, som omfattar den del av vägen som direkt bidrar till  $L_{Aeq}$  hos mottagaren

Om det finns mer än en reflekterande yta, beräknas varje ytas bidrag för sig.



Figur 2.12 - Geometrisk beskrivning av fallet med enkla reflexer

Vid beräkning av  $L_{AFmax}$ , sker beräkningen för det fall där ytan reflekterar ljud till mottagaren då fordonet befinner sig på det kortaste avståndet,  $a_m$ , till mottagaren. Korrektionen blir

$$\Delta L_{rmax} = 10 \lg\left(1 + \left(\frac{a_m}{a_s}\right)^2\right) \quad (2.58)$$

I alla övriga fall

$$\Delta L_{rmax} = 0$$

## 2.6.8 Multipelreflexer i gaturum, $\Delta L_{mg}$

I en gata med hus på båda sidorna reflekteras ljudet mellan fasaderna. Erfarenheten har visat man bara behöver ta med en reflexion från fasaden på andra sidan när mottagaren är nära marken ( $h_m = 0$ ) medan man måste ta hänsyn till multipelreflexer då mottagaren befinner sig högre upp ( $h_m > 0$ ). Ljudnivån beräknas som om det bara fanns en fasad på den motsatta sidan (genom att använda korrektioner  $\Delta L_2$ ,  $\Delta L_{ka}$ ,  $\Delta L_r$ , etc.) och sedan lägga till korrektionen  $\Delta L_{mg}$ .

Följande korrektioner tillämpas med samma beteckningar som i 2.6.6

Om  $0,35 < \frac{b}{a} < 0,75$  så

$$\Delta L_{mg} = \frac{h_m}{3 \cdot a} ; \quad \Delta L_{mg} \leq 2 \quad (2.59)$$

$$\Delta L_{mg} = 2 ; \quad \Delta L_{mg} > 2$$

Vid beräkning av  $L_{AFmax}$  blir korrektionen

$$\Delta L_{mgmax} = 2 \Delta L_{mg} \quad (2.60)$$

### 2.6.9 Multipelreflexer i sidogator, $\Delta L_{ms}$ .

Nivån på det trafikbuller som från en huvudgata tränger in på en sidogata med liten eller ingen trafik kan inte beräknas med hjälp av de vanliga avstånds- och markkorrektionerna. Multipelreflexer mellan byggnaderna ändrar den normala avståndskorrektionen.

Om husen på båda sidorna om gatan är skilda åt och inte utgör en sammanhängande yta eller om sidogatan har byggnader bara på ena sidan så kan ljudnivån beräknas genom korrektion för enkla reflexer  $\Delta L_r$  som det beskrivs i 2.6.7. Om däremot, sidogatan har byggnader på båda sidor och fasaderna utgör en sammanhängande yta, blir dämpningen längs sidogatan så som beskrivs av korrektionen  $\Delta L_{ms}$ . Utgångsvärdet för denna korrektion är frifältsvärdet vid  $h_m=0$  i fasaden på huvudgatan plus en korrektion  $\Delta L_r = 3$  dB.

Teoretiska beräkningar som justerats med hänsyn till mätningar har visat att följande korrektion är godtagbar.

$$\Delta L_{ms} = 10 \lg\left(\frac{2 \cdot \arctan\left(\frac{7 \cdot b_s}{b_h(x-1)}\right)}{x \cdot \pi}\right) \quad (2.61)$$

där  $b_s$  = halva sidogatans bredd från hus till hus  
 $b_h$  = avståndet mellan huvudgatans mittlinje och fasaden på det första huset  
 $x = \frac{a}{b_h}$ , avståndet mellan huvudgatans mittlinje och mottagaren på sidogatan  
 mätt som delar av halva huvudgatans bredd från hus till hus,  $b_h$ .

Anm. Arctan räknas i radianer

Vid beräkning av  $L_{AFmax}$  blir korrektionen

$$\Delta L_{msmax} = 2 \Delta L_{ms} \quad (2.62)$$

Anm. Inga ytterligare korrektioner för avståndsdämpning skall göras när  $\Delta L_{ms}$  använts.

### 2.6.10 Multipelreflexer i slutna gårdsrum, $\Delta L_g$

Beräkningen av ljudnivån i slutna gårdsrum kompliceras av den kraftiga skärmningen och de svåra reflektionsförhållandena. Beräkningsmodellen som beskrivs nedan har tagits från [20] Utgångsvärdet före införandet av korrektionen,  $\Delta L_r = 0$ , är den beräknade frifältsnivån 2 m över vägplanet vid den fasad som är direkt exponerad mot vägbullret.

Mätningar i helt slutna gårdsrum har visat att variationerna i ljudtrycksnivån är små i den främre halvan av gården. Följande uttryck kan därför användas för mottagare i den främre delen av gårdsrummet.

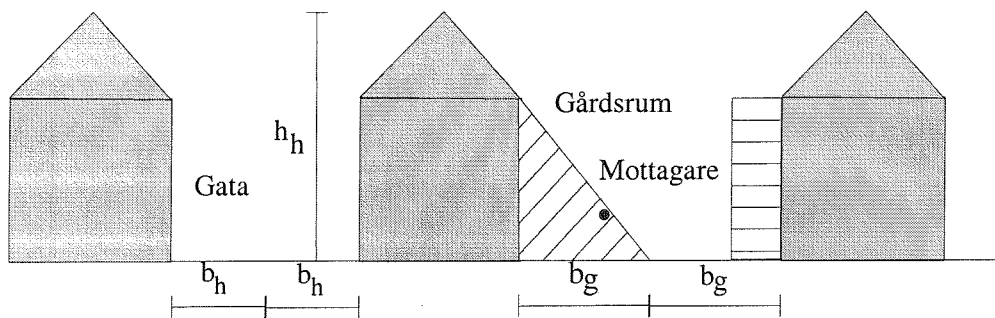
$$\Delta L_g = 0,27 b_h - 0,72 h_h - 14; \quad \text{i den främre delen av gårdsrummet} \quad (2.63)$$

där  $b_h$  = avståndet mellan gatans mittlinje och den närmaste exponerade fasaden  
 $h_h$  = det närmaste husets höjd

Om mottagaren befinner sig på den bakre delen av gården används följande uttryck

$$\Delta L_g = 0,24 b_h - 0,86 h_h - 8,5 \quad (2.64)$$

Om  $h_h > 20$  så sätts  $h_h = 20$



**Figur 2.13** - Geometrisk beskrivning av gårdsrummet. I det trekantiga streckade området tillämpas formel (2.63), i det rektangulära tillämpas (2.64).  $b_g$  = halva gårdsbredden.

Vanligen har gårdarna portöppningar som leder ut till trafikerade gator. Om det finns portöppningar till gården sätts  $\Delta L_g$  samman av tre olika delkorrektioner:

$$\Delta L_g = \Delta L_{pB0} + \Delta L_{pB1} + \Delta L_{pB2} \quad (2.65)$$

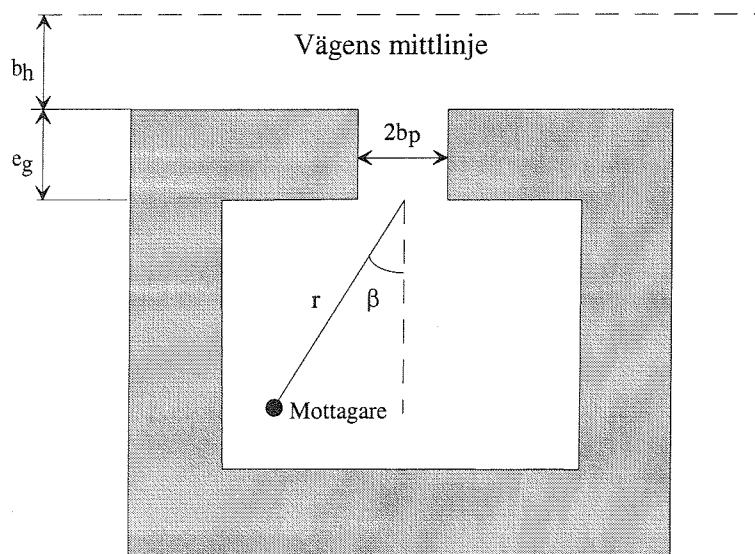
$\Delta L_{pB0}$  beskriver korrektionen av ljudnivån från portöppningen mot gatan till öppningen mot gården. Denna korrektion beräknas analogt med korrektionen för sidogator. Vi får följande för öppningar utan respektive med övertäckning.

$$\Delta L_{pB0} = 10 \lg \left( \frac{2 \cdot \arctan\left(\frac{7 \cdot b_p}{e_g}\right)}{\left(1 + \frac{e_g}{b_h}\right) \cdot \pi} \right); \quad \text{portöppning utan övertäckning} \quad (2.66)$$

$$\Delta L_{pB0} = 1,5 + 10 \lg \left( \frac{2 \cdot \arctan\left(\frac{7 \cdot b_p}{e_g}\right)}{\left(1 + \frac{e_g}{b_h}\right) \cdot \pi} \right); \quad \text{portöppning med övertäckning} \quad (2.67)$$

där  $e_g$  = portens djup, se figur 2.14  
 $b_p$  = halva portbredden, se figur 2.14

Anm.  $\arctan$  anges i radianer



Figur 2.14 - Parametrar som ingår i beräkningen av portens bidrag till  $L_{Aeq}$

$\Delta L_{pB1}$  är en korrektion för avståndet från portöppningen beräknad enligt

$$\Delta L_{pB1} = -1 - 20 \lg\left(\frac{r}{\sqrt{S}}\right) \quad (2.68)$$

$\Delta L_{pB2}$  är en korrektion för vinkelspridningen av ljudet från porten beräknad enligt.

$$\Delta L_{pB2} = \max[10 \lg(\cos(\beta)), [-4 \lg(5\sqrt{S})]] \quad (2.69)$$

där  $r$  = avståndet från portöppningens mitt till mottagaren(m)  
 $S$  = ytan hos den portöppning som vetter mot gården(m<sup>2</sup>)  
 $\beta$  = vinkeln, se figur 2.14, mellan normalen till det främre husets gårdsfasad och spridningsriktningen från mitten av portens öppning mot gården till mottagaren (°)

Vid beräkning av  $L_{AFmax}$  blir korrektionen

$$\Delta L_{pB0max} = 2 \Delta L_{pB0}$$

$$\Delta L_{pB1max} = \Delta L_{pB1} \quad (2.70)$$

$$\Delta L_{pB2max} = \Delta L_{pB2}$$

$$\Delta L_{gmax} = \Delta L_g \text{ enligt (2.63)-(2.64) ingen portöppning}$$

Anm. Inga ytterligare korrektioner för avståndsdämpning skall göras när  $\Delta L_g$  använts.

### 2.6.11 Skärmning och spridning bland friliggande hus, $\Delta L_b$

Inom begränsade områden bland friliggande hus är det möjligt att åtminstone approximativt beräkna medelvärdet på  $L_{Aeq}$ . Korrektionen är uteslutande empirisk. Den kan användas för en översiktlig värdering av ljudnivån i medeltal i området. Det går däremot inte att använda den för beräkning av ljudnivån i individuella punkter. Med

friliggande hus avses här enfamiljshus med en genomsnittlig byggnadsyta på 100 m<sup>2</sup>, som täcker 10-20 % av marken.

Inom ett område som börjar vid fasaderna på baksidan av husen i främsta raden och slutar omkring 200 m bort från vägen gäller korrektionen  $\Delta L_b$ . Inom detta område är korrektionen oberoende av avståndet och giltig för mottagarhöjderna 1,5 - 2 m över marken.

$$\Delta L_b = -3 \quad (2.71)$$

$\Delta L_b$  gäller för mjuk mark utan andra skärmar än husen.

$$\Delta L_{bmax} = 0 \quad (2.72)$$

## 2.7 Fasadisolering, $\Delta L_F$

Trafikbuller, som faller in mot fasaden kommer till viss del att ta sig in i rummen. Enligt ISO 140-5, [22] gäller:

$$L_{eq,1} - L_{eq,2} = R' - 10 \lg\left(\frac{S}{A}\right) - 3 \text{ dB} \quad (2.73)$$

där

$L_{eq,1} = L_{eq}$  utomhus förutom det ljud som reflekterats i byggnaden, dB

$L_{eq,2} = L_{eq}$  i rummet inomhus, dB

$R'$  = fasadens fältmätta reduktionstal, dB

$S$  = rummets ytterväggsarea, m<sup>2</sup>

$A$  = rummets ekvivalenta ljudabsorptionsarea, m<sup>2</sup>

Utgår vi ifrån att den ekvivalenta ljudabsorptionsarean,  $A$ , är oberoende av frekvensen och att det infallande ljudet har samma spektrum som trafikbuller får vi efter A-vägning

$$L_{Aeq,1} - L_{Aeq,2} = R'_{A,tr} - 10 \lg\left(\frac{S}{A}\right) - 3 \text{ dB} \quad (2.74)$$

där

$R'_{A,tr}$  = fasadens aktuella reduktionstalsindex för trafikbuller i fält. Normalt uppskattas

$R'_{A,tr}$  ur laboratoriemätningar och i så fall är det tillrådligt att lägga på 3 dB

säkerhetsmarginal, se [23],

$$R'_{A,tr} = R_{A,tr} - 3 \quad (2.75)$$

där  $R_A$  beräknats från laboratoriemätningar enligt ISO 140-3, [24].  $R_{A,tr}$  har antingen beräknats enligt NT ACOU 061, [25], eller ISO/DIS 717-1, [26] enligt uttrycket

$$R_{A,tr} = R_w + C_{tr} \text{ dB} \quad (2.76)$$

$R_{A,tr}$  och/eller  $C_{tr}$  finns som regel angivna i provningsrapporter.  $R_{A,tr}$  är, enligt standarden, beräknat utifrån ett trafikbullerspektrum för en representativ fördelning av lätta och tunga fordon vid låga hastigheter runt 50 km/h.

$R_{A,tr}$  beräknas inom frekvensområdet 100-3150 Hz. Normalt är detta frekvensområde tillräckligt för beräkning av A-vägda ljudtrycksnivåer inomhus[29]. Det kan i vissa fall vara av intresse att utsträcka frekvensområdet till 50 Hz. I så fall är det möjligt att tillämpa Nordtestmetoden ner till 50 Hz eller att beräkna  $C_{tr}$  för detta utsträckta område.

Korrektionen  $\Delta L_F$ , som med ombytt tecken är skillnaden mellan den infallande frifältsljudtrycksnivån och ljudtrycksnivån i rummet fås enligt

$$\Delta L_{F, 50 \text{ km/h}} = -(R_{A,tr} - 10 \lg(\frac{S}{A}) - 6) \text{ dB, } 50 \text{ km/h, från laborativvärden} \quad (2.77)$$

$$\Delta L_{F, 50 \text{ km/h}} = -(R'_{A,tr} - 10 \lg(\frac{S}{A}) - 3) \text{ dB, } 50 \text{ km/h, från fältmätta värden} \quad (2.78)$$

Den ekvivalenta ljudabsorptionsarean beräknas normalt enligt Sabine's formel, se t ex [22,24]

$$A = \frac{0,16 \cdot V}{T} \quad (2.79)$$

där  $V$ = rumsvolymen, i  $m^3$ , och  $T$ = efterklangstiden, i s. I de flesta normalt möblerade bostadsrum är  $T = 0,5$  s.

Vid högre hastigheter blir spektret mer högfrekvent och ljudisoleringen, uttryckt i A-vägda ljudtrycksnivåer, ökar. I extremfall kan denna skillnad bli 5 dB. Från [27] får vi då, något modifierat för att få en mer kontinuerlig funktion, följande

$$\Delta L_F = \Delta L_{F, 50 \text{ km/h}} - C_F$$

där

$$C_F = 0, \quad v \leq 50 \text{ km/h} \quad (2.80)$$

$$C_F = \frac{v - 50}{10}, \quad 50 < v \leq 100 \text{ km/h}$$

$$C_F = 5, \quad v > 100 \text{ km/h}$$

I en del fall kan det inträffa att fasadisoleringen blir lägre än i referensfallet med  $C_F = 0$ . Detta inträffar bakom trafikbullerskärmar. Skärmar dämpar högre frekvenser mer än låga. Eftersom fasader också dämpar höga frekvenser mest, kommer inte A-vägda nivåer att dra nytta av denna "överdämpning" av höga frekvenser. När skärmverkan  $\Delta L_s$  överstiger 20 dB kommer spektret att ändras omkring 3 dB/oktav,[8]. När skärmverkan är 5 dB eller mindre förändras inte spektrum signifikant. En godtagbar approximation för hur man tar hänsyn till skärmningens inverkan i frekvenshänseende bli då

$$\Delta L_F = \Delta L_{F, 50 \text{ km/h}} - C_F - C_s$$

där

$$C_s = 0, \quad \Delta L_s \geq -5 \text{ dB} \quad (2.81)$$

$$C_s = \frac{\Delta L_s + 5}{3}, \quad -5 > \Delta L_s \geq -20 \text{ dB}$$

$$C_s = -5, \quad \Delta L_s < -20 \text{ dB}$$



I de flesta flerfamiljshus med tunga fasader av tegel eller betong kan man normalt bortse från ljud som passerar genom väggen. För lätta fasader med ventilationsöppningar är det nödvändigt att ta med alla ljudvägar. Det blir då nödvändigt att beräkna ett resulterande reduktionstal för trafikbuller enligt uttrycket

$$R_{A,tr, res} = -10 \cdot \lg \frac{1}{S} \left[ S_{fönster} \cdot 10^{-R_{A,tr, fönster}/10} + S'_{vent} \cdot 10^{-D_{n,e,A,tr,vent}/10} + S_{vägg} \cdot 10^{-R_{A,tr, vägg}/10} \right]$$

där (2.82)

$S = S_{fönster} + S''_{vent} + S_{vägg} =$  hela fasadens area  
 $S'_{vent} =$  referensarea för beräkning av  $D_{n,e,A,tr,vent}$  ( $10 \text{ m}^2$  enligt ISO 140-10)  
 $S''_{vent} =$  verklig area för ventilationsdon som monterats i väggen

Data om ljudisolering hos fönster, fasader och ventilationsdon kan erhållas från tillverkare och från [27-31]. Normalt rapporteras data om ljudreduktion hos ventilationsdon enligt ISO 140-10, [32]. Detta innebär att referensytan för reduktionstalet inte är den verkliga arean utan  $10 \text{ m}^2$ . Äldre mätresultat kan ha rapporterats med referensarean  $1 \text{ m}^2$ .

## 2.8 Summering av bidrag från olika delsträckor

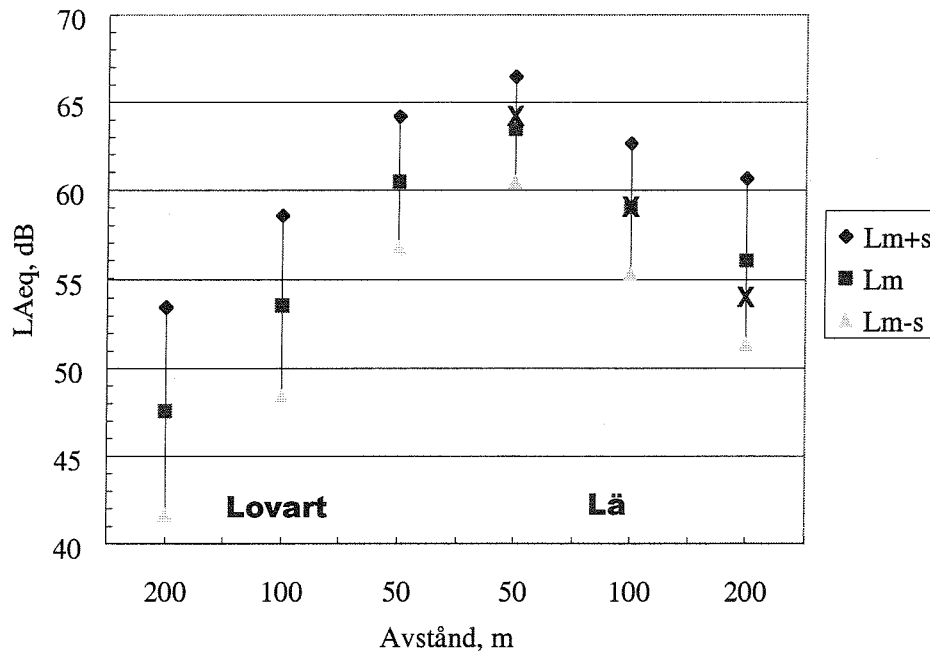
Summering av olika delsträckors ( $i=1$  till  $n$ ) ljudbidrag görs enligt nedanstående uttryck.

$$L_{Aeq} = 10 \lg \left[ \sum_{i=1}^n 10^{L_{Aeqi}/10} \right] \quad (2.83)$$

där  $L_{Aeqi}$  är den beräknade nivån från delsträcka  $i$ .

### 3 Osäkerhet i beräkningsmodellen

Beräkningsmodellen syftar till att ge det medelvärde som kan erhållas genom att göra ett stort antal mätningar i svag vind från ljudkällan till mottagaren. Ett fåtal utförliga, väldokumenterade verifieringar har gjorts. En av de bästa, som gjordes redan 1979, visas i figur 4.1. De förutspådda värdena är nästan de samma som mätresultatens medelvärde. Detta pekar på en ganska liten osäkerhet. Samtidigt visar mätresultaten avsevärda variationer från dag till dag. Standardavvikelsen vid svag medvind varierar från omkring 3 dB vid 50 m till 5 dB vid 200 m. Figuren visar också de stora skillnaderna mellan med- och motvindsförhållanden.



**Figur 4.1** - Aritmetiskt medelvärde,  $L_m$ , och standardavvikelser,  $s$ , för  $L_{Aeq}$  vid 90 km/h normaliserat till samma antal fordon (1000 ekvivalenta lätta fordon per timma) på 3 avstånd från en större väg med fritt trafikflöde. X indicerar beräknade värden. Alla vindhastigheter var  $1,5 \pm 1,5$  m/s och antalet mättdagar 77. Ljudutbredningen skedde över mjuk mark. Från [34].

Anmärkning. Beräknade värden avser den gamla modellen och mätta värden härrör från mitten av 70-talet. Med föreliggande version av beräkningsmodellen skulle de beräknade värdena bli ca 1 dB lägre.

Exemplet i figur 4.1 tyder på att det möjligen, åtminstone i mindre komplicerade fall, kan vara mer rättvisande göra beräkningar än mätningar någon gång då och då. I mer komplicerade fall kan det vara mer på sin plats att göra mätningar. Några fall täcks inte av beräkningsmodellen och det är självklart också svårt att garantera goda resultat när beräkningsmodellen är extremt känslig för små variationer i ingångsdata. Exempel på sådana fall kan vara när man är nära linjen genom källan och skärmkrönet, och när det är svårt att definiera ett passande reflexionsplan.

## **4 Framtiden**

### **4.1 Framtida revisioner**

Inom den närmaste femårsperioden, 1996-2000, kommer beräkningsmodellen att genomgå en fullständig omarbetning. Denna kommer att bedrivas som ett samnordiskt projekt finansierat av det Nordiska Ministerrådet. Huvudsyftet med omarbetningen är att göra en ny utbredningsmodell i 1/3-oktav eller oktavband, som har en väldefinierad vetenskaplig grund och som kan möjliggöra noggrannare beräkningar i mer komplicerade fall.

### **4.2 Utgångsvärdenas bestående värde**

År 1993 möttes en expertgrupp från Danmark, Finland, Norge och Sverige för att diskutera utvecklingen av fordonsbullret. Resultatet rapporterades i [35]. Gruppen arbetade med tre olika scenarion. Scenario 0 är i princip dagens situation. Scenario 1 innefattar införande av bullerbestämmelser för däck/väg- buller i 1997. De 10% bullrigaste däcken kommer då att ersättas av 2 dB mindre bullriga däck. År 2005 kommer de 50% bullrigaste däcken att ha ersatts med 3 dB mindre bullrande däck och de traditionella emissionsgränserna för fordonsbuller bestämda enligt ISO 362 kommer att sänkas ytterligare 2 dB. Till sist, scenario 2 är det samma som scenario 1 men med några ytterligare krav. ISO 362 har då ersatts med en provningsmetod som är mer relevant för normal körning. År 2007 sänks bullerkraven för en körningssekvens ytterligare 2 dB. 25% av de mest bullrande däcken har bytts ut mot 2 dB mindre bullrande och 2005 har 70% ersatts med 4 dB tystare däck.

I scenario 0 förväntas fram till år 2010 ingen ytterligare bullerminskning vid motorväghastigheter. Vid låga hastigheter är emellertid en bullerminskning på omkring 2 dB sannolik. Med scenario 2 slutligen kan en förbättring på 3-4 dB bli möjlig vid både låga och höga hastigheter.

Slutsatsen blir att vi kan förvänta en långsam minskning av bulleremissionen från tunga fordon vid låga hastigheter i takt med att äldre fordon tas ur drift. För att få förbättringar vid högre hastigheter behövs politiska beslut.

## 5 Referenser

- [1] Beräkningsmodell för vägtrafikbuller, Naturvårdsverkets förlag 1989
- [2] Anders Stenhoff 1994, Mätning av bilbuller i tätortstrafik - hastighetsområdet 30-50 km/h; SP Rapport 1994:63
- [3] Jørgen Kragh, Jan Petersen, Svein Storeheier 1993, Lav fart i bygader. Revision af den nordiske beregningsmetode for vejtrafikstøj, DELTA Acoustics and Vibration Report AV 948/93.
- [4] Raimo Eurasto 1995, Road traffic noise in the speed range of 30-50 km/h, VTT Research note
- [5] Jørgen Kragh & al 1991, Nordisk beregningsmetode for vejtrafikstøj. Nye basisvaerdier efter skaerpelse af støjgrænserne for biler?; Rapport LI 972/91, Lydteknisk Institut
- [6] Hans Jonasson & Clara Göransson, 1995, Väg- och tågtrafikbuller. En översikt över olika fenomen; SP RAPPORT 1995:33
- [7] Hans G. Jonasson 1973, A theory of traffic noise propagation with applications to  $L_{eq}$ ; Journal of Sound and Vibration **30**
- [8] Hans Jonasson 1975, Samhällsbuller; Kompendium, LTH byggnadsakustik
- [9] Svein Storeheier & Asbjørn Ustad 1995, Grunnlag for automatisk bestemmelse av refleksjonsplan og behandling av marktypekombinasjoner. Resultat fra skalamodellmålinger; STF40 A95081
- [10] Ralf Ejeson 1971, Inverkan av vägbanans höjd över markplanet ur trafikbullersynpunkt; LTH
- [11] Jørgen Kragh 1976, Measurement data. Ishøj. Enclosure to letter 1976-12-03; Lydteknisk Laboratorium, Lyngby
- [12] Hans Jonasson 1976, Measurement data 1970-73; LTH
- [13] Sven-Olof Benjegård 1976, Measurement data, Enclosure to letter 1976-12-03
- [14] Svein Storeheier & K. Skaalvik 1974; Traffikkstøymålinger. Delrapport 3. Rapport STF44.74029, Akustisk Laboratorium, Trondheim
- [15] Jan Arne Austnes 1972, Traffikkstøymålinger. Delrapport 2. Rapport KLBA 532, Akustisk Laboratorium, Trondheim
- [16] W.E. Scholes 1975, Motorway noise and barriers, Current Paper CP 35/75. Building Research Establishment, England
- [17] Delany, Copeland & Payne 1971, Propagation of traffic noise in typical urban situations, Acoustics Report AC 54, National Physical Laboratory, London
- [18] Z. Maekawa 1974, Environmental sound propagation, ICA 1974
- [19] S.O. Benjegård & S. Ljunggren 1976, Trafikbuller i stadsmiljö; Rapport R49:1976 Swedish Council for Building Research
- [20] Vejtrafikstøj i boligkaners gårde; Rapport 123, Lydteknisk Institut 1984
- [21] Ulf Sandberg 1993, Korrigering i den nordiska beräkningsmodellen för inverkan av vägyta, VTI meddelande nr 706, Swedish National Road and Transport Research Institute, Linköping, Sweden
- [22] ISO 140-5 Measurement of sound insulation in buildings and of building elements--  
Field measurements of airborne sound insulation of facade elements and facades.
- [23] Hans G. Jonasson, Ljudklassning av fönster, BFR R 125:1985
- [24] ISO 140-3:95 Measurement of sound insulation in buildings and of building elements--  
Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements

- [25] NT ACOU 061:87 Windows: Traffic noise reduction indices
- [26] ISO/DIS 717 Rating of sound insulation in buildings and of building materials  
Part 1: Airborne sound insulation
- [27] Anders Homb og Sigurd Hveem 1988, Isolering mot utendørs støy; NBI  
håndbok 39
- [28] Carl-Axel Carlsson 1989, Ljudisoleringstestade fönster; SP INFO 1989:13
- [29] Clara Göransson och Geir Andresen, 1995, Fasaders ljudisolering i moderna  
svenska villor. SP Rapport 1995:39.
- [30] Ralf Friberg 1994, Ljudisolering hos lätta väggar; Akustikverkstan
- [31] Survey of building acoustic laboratory measurements (in Danish), DELTA  
Acoustics & Vibration, to be published 1996
- [32] ISO 140-10:91 Measurement of sound insulation in buildings and of building  
elements--  
Measurement of sound insulation of small building elements
- [33] Ulf Sandberg 1996, Personal communication. Measurement results from the  
1980:ies, Swedish National Road and Transport Research Institute, Linköping,  
Sweden.
- [34] Larsson, Israelsson, Jonasson, 1979 The effects of meteorological parameters  
on the propagation of noise from a traffic route, Report no 54, Uppsala  
Universitet, Meteorologiska institutionen
- [35] Jørgen Kragh & Ulf Sandberg 1994, Noise emission from road vehicles 1990-  
2010. The development expected by a group of Nordic experts. Proceedings of  
Internoise 94



RAPPORT 4653

# Vägtrafikbuller

Nordisk beräkningsmodell, reviderad 1996

DENNA BERÄKNINGSMODELL ersätter den tidigare beräkningsmodellen för vägtrafikbuller. Med modellens hjälp kan den A-vägda ekvivalenta och maximala ljudnivån från vägtrafik beräknas. Ingångsdata är en serie trafik- och geografiska parametrar. Jämfört med den tidigare modellen har bland annat utgångsvärdena ändrats.

Rapporten är indelad i två delar. Del 1 innehåller diagram för att kunna genomföra en beräkning och del 2 den matematiska bakgrunden med bland annat algoritmer och osäkerhetsanalyser.

Modellen är tänkt att användas i den fysiska planeringen samt vid planering av bullerskyddsåtgärder. Den kan även användas som ett hjälpmedel vid tillsyn enligt miljöskyddslagen och hälsoskyddslagen.

Beräkningsmodellen innehåller ingen bedömning av bullers effekter på människan.



**Vägverket**



**Nordiska ministerrådet**

ISBN 91-620-4653-5  
ISSN 0282-7298

**NATURVÅRDSVERKET FÖRLAG**