

Buller från spårburen trafik

Nordisk beräkningsmodell

Samproduktion med Nordiska Ministerrådet

4935

RAPPORT

*Buller från
spårburen trafik*

Nordisk beräkningsmodell

Beställningsadress:
Naturvårdsverket
Kundtjänst
106 48 Stockholm
Tfn: 08-698 12 00
Fax: 08-698 15 15
E-post: kundtjanst@environ.se
Internet-hemsida: <http://www.environ.se>

ISBN 91-620-4935-6
ISSN 0282-7298

© Naturvårdsverket
Tryck: Naturvårdsverkets reprocentral 1999/01
Upplaga: 400 ex

FÖRORD

Akustiker, miljömyndigheter och transportmyndigheter i de nordiska länderna har under många år samarbetat i utveckling, revidering och harmonisering av beräkningsmodeller för utomhusbuller.

Föreliggande beräkningsmodell är en revidering av den gemensamma nordiska beräkningsmodellen för buller från spårburen trafik. Den första versionen presenterades 1984. Denna andra version färdigställdes 1996 och är baserad på arbeten som genomförts i Norge, Sverige, Finland, Danmark och andra länder sedan den första versionen publicerades. Arbetet finns avrapporterat i en engelsk version "Railway Traffic Noise - Nordic Prediction Method" i Nordiska ministerrådets serie Tema Nord.1996:524. Denna rapport utgör en svensk översättning av den engelska versionen.

Den reviderade nordiska beräkningsmodellen för tågbuller kan användas för beräkning av bullernivåer i närheten av järnvägar och andra typer av spårburna trafiksystem. Viktiga synpunkter på bakgrundsmaterialet och en beskrivning av beräkningsalgoritmerna ingår. I praktiken blir det nödvändigt att implementera beräkningsmodellerna i datorprogram.

Rapporten innehåller även en förenklad "manuell beräkningsmodell" som är en direkt ersättning till den gamla nordiska beräkningsmodellen för tågbuller. Denna metod är huvudsakligen avsedd för preliminära bullerberäkningar.

Arbetet med beräkningsmodellen har inledningsvis bekostats av De Norske Statsbaner. Nordiska ministerrådets bullergrupp upprättade senare en järnvägsbullergrupp för att säkerställa nödvändig nordisk samordning och samarbete. Den nordiska bullergruppen har delvis bekostat fullbordandet av arbetet med beräkningsmodellen.

Modellen kan 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.

Stockholm och Borlänge i december 1998

Naturvårdsverket och Banverket

Innehållsförteckning

Förord	3
Innehållsförteckning	5
Sammanfattning	7
3 Den nordiska beräkningsmodellen för tågbuller (NMT) Grundläggande principer	9
3.1 Bulleralstring från tåg	9
3.2 Tankarna bakom ljudutbredningsmodellen	12
3.3 Det praktiska bruket av modellen och dess förhållande till bullerkriterier	12
3.4 Noggrannhet och begränsningar hos nordiska beräkningsmodellen för tågbuller	13
3.4.1 Begränsningar i tåghastighet	13
3.4.2 Beräkningarnas noggrannhet nära spåret. Enkel geometri	13
3.4.3 Ljudutbredningseffekter	14
3.4.4 Ojämn terräng, ytterligare kommentarer	15
4 Den nordiska beräkningsmodellen Beräkningsproceduren	16
4.1 Modellering av tåg som ljudkällor	16
4.2 Källors ljudeffektnivåer	18
4.2.1 24-timmars energiekvivalent nivå, L_{eq24}	18
4.2.2 Den maximala bullernivån	18
4.2.3 Korrektion för spårunderhåll, ΔL_c	20
4.3 Ljudutbredningen	21
4.3.1 ΔL_d , Avståndsdämpningen till följd av spridning	22
4.3.2 ΔL_a , Luftabsorptionen	22
4.3.3 ΔL_s , Skärmeffekten	23
4.3.4 ΔL_g , Markeffekten, plan mark	25
4.3.5 ΔL_r , Effekten av reflekterande ytor. Byggnadsfasader	28
4.4 Ljudutbredning. Ytterligare definitioner och tillägg till grundekvationerna	29
4.4.1 Ojämn terräng	29
4.4.2 Skärmar	30
5 Att lägga till nya tåg	31
5.1 Den nordiska beräkningsmodellen för tågbuller, NMT	31
5.2 NMT Handräkningsmetod	33
5.2.1 Referensnivån för den A-vägda kontinuerliga ekvivalenta nivån under ett dygn	33
5.2.2 Referensnivån för maximalnivån vid tågtypskorrektionen noll	34
6 NMT - manuell En förenklad handräkningsmetod	35
6.1 Den kontinuerliga 24-timmars ekvivalentnivån (L_{Aeq24})	36
6.1.1 Referensnivån med tågtypskorrektionen noll, L_{ref0}	38
6.1.2 Tågtypskorrektionen, ΔL_t	38
6.1.3 Summering av ljudnivåer	40
6.1.4 Korrektion för spårunderhåll, ΔL_c	41
6.1.5 Korrektion för ändlig spårlängd, ΔL_α	41

6.1.6 Fasadkorrektionen, ΔL_r	43
6.1.7 Ljudnivåminskningen, ΔL	43
6.2 Den maximala ljudnivån (L_{AmaxM} och L_{AFmax}).....	44
6.2.1 Referensnivån vid tågtypskorrektionen noll, L_{Mref0}	45
6.2.2 Korrektion för tågtyp, ΔL_t	46
6.2.3 Korrektion för ändlig tåglängd, ΔL_{α_s}	46
6.2.4 Korrektion för spårets kondition, ΔL_c	46
6.2.5 Ljudnivåminskningen, ΔL	47
6.3 Noggrannhet.....	47
Diagram för beräkning av ljudreduktioner	48
7 Definitioner och förklaringar.....	62
8 Referenser	65

Appendix A. Ytterligare kommentarer till några av kapitlen i den nordiska beräkningsmodellen för tågbuller NMT

Appendix B Tågbullerdata erhållna ur mätningar

Sammanfattning

Den nya nordiska beräkningsmodellen för tågbuller (NMT), som beskrivs här, kan användas för att beräkna den ekvivalenta kontinuerliga ljudtrycksnivån, L_{eqT} , och den maximala ljudtrycksnivån, L_{max} , från enstaka passerande tåg. Modellen gäller bara för luftburet ljud. Den kan användas för alla slags spårbundna forskaffningsmedel. Resultaten erhålls som A-vägda nivåer, grundade på beräkningar i oktavband. Maximalnivån för tågpassagen är beräknad som ett medelvärde över hela tåglängden, L_{maxM} . Definitioner och förklaringar finns i kapitel 7.

NMT är avsedd för planering och för att göra prognoser i allmänhet. Den kan användas för beräkning av bullerbelastning och för att bedöma bullerreducerande åtgärder. Metoden ersätter den gamla nordiska beräkningsmodellen som beskrivs i /1,12/, och består av två huvuddelar:

- Den nya nordiska beräkningsmodellen för tågbuller (NMT). En beskrivning av idéerna bakom metoden och de viktiga val som gjorts, steg i beräkningsgången, akustiska algoritmer, osv. Den omfattar kapitel 3 och 4 av denna rapport och innehåller betydande förbättringar och ökade möjligheter i förhållande till den gamla metoden.
- En förenklad, handräkningsmetod (NMT manuell), som fyller samma syften som /1/, men förnyad för att motsvara NMT. För ett begränsat antal geometrier ges resultat inom $\pm 1,5$ dB(A) jämfört med NMT. Metoden utgör kapitel 6 i denna rapport.

Den gamla nordiska beräkningsmodellen, /1/, är en mycket enkel, handräkningsmetod byggd på de mest grundläggande algoritmerna i /2/, med dB(A) beräkningar och genomsnittliga tågbullerspektra. NMT använder oktavband och den fullständiga ljudutbredningsmodellen finns i /2/, med några få undantag som beskrivs i kapitel 4. I många fall hamnar de A-vägda nivåerna som beräknats enligt NMT inom ± 1 dB jämfört med /1/, när ljudkällan är densamma och ljudutbredningsförhållandena enkla. Differenserna ökar till $\pm 2-3$ dB i mer komplicerade fall, vilket avspeglar den förbättrade noggrannheten i NMT. Dessutom omfattar NMT fler fall än /1/.

I NMT beskrivs bullerkällorna (den totala trafiken eller enstaka tåg) som ljudeffektnivå per spårlängdenhet för att beräkna L_{eqT} , och per tåglängdenhet för att beräkna L_{max} . Spåret och tåget delas upp i delar och dessa behandlas som punktljudkällor. Inverkan av avstånd, luftabsorption, mark och skärmar ingår som viktiga parametrar i ljudutbredningen. Alla beräkningar görs för oktavbanden 63 - 4000 Hz, för en delljudkälla i tåget. Ljudbidragen från de många delljudkällorna summeras i mottagarpunkten.

En datortillämpning av NMT finns tillgänglig. Den har utvecklats för De Norske Statsbaner (NSB), parallellt med utformningen av NMT. Detta har gjort det möjligt att upptäcka många praktiska konsekvenser, förenklingar och begränsningar till gagn för NMT. En viktig del av den ursprungliga omarbetningen gjordes på initiativ av NSB, och delar av bakgrundsmaterialet som datorprogrammet relateras till finns bara i Norge /t.ex. 10,11/. Mätningar av tågbuller har gjorts i Finland. Sverige och Norge för att förse

modellen med ingångsdata. De flesta mätningarna har rapporterats på något av de nordiska språken /4,5,6/.

I några fall blir det nödvändigt att komplettera NMT-beräkningarna med mätningar. Två vanliga mätsituationer är:

- kontrollmätningar på platser där terräng och trafiksituation är särskilt komplicerade och där förhållandena inte täcks av NMT. En användbar mät procedur beskrivs i /13/.
- källmätningar nära spåret (10-30 m) för att fastställa källnivåer t.ex. för nya tåg, hastighetsintervall eller spåregenskaper. Resultaten kan omräknas till ljudeffektnivåer och användas som källdata i NMT när kriterierna i kapitel 5 är uppfyllda.

NMT är en fullständig omarbetning av den gamla beräkningsmodellen. Från starten har den utvecklats med datoranpassning, digitala kartor, GPS, mm i åtanke. Den tar hänsyn till terrängvariationer längs spåret i stället för att begränsas av en enda ljudutbredningsgeometri (t.ex. som i /1/). Ljudutbredning och källeffekter har bestämts för 7 oktavband, för att ersätta den gamla modellens "dB(A)-beräkningar". Nya tågtyper kan läggas till när data finns att tillgå och det finns i grund ingen begränsning i tåghastighet förutsatt att man tar hänsyn till förändringarna i källans läge. Även med den komplicerade beräkningsmodellen är det möjligt, men inte praktiskt, att genomföra kompletta NMT beräkningar för hand.

3 Den nordiska beräkningsmodellen för tågbuller (NMT)

Grundläggande principer

Den nya nordiska beräkningsmodellen kan användas för beräkning av ljudtrycksnivåer från spårbundna transportmedel i många olika situationer. Tågen alstrar ljudet. Beräkningsmodellen gör det möjligt att lägga till bullerdata för nya tåg allteftersom dessa blir tillgängliga. Ljudet breder ut sig över terrängen till en eller flera mottagare, i eller utanför byggnader. NMT gör det möjligt att bestämma utomhusnivåer, i oktavband eller som genomsnittliga A-vägda nivåer. Ljudnivåerna som erhålls i en given mottagarposition beror på tre huvudfaktorer:-

- ljudkällan (trafikbilden, hjul/rälunderhåll och driftsförhållanden)
- topografin
- mottagarens lokalisering

3.1 Bulleralstring från tåg.

Det är ett faktum att ljudalstringen från en tågtyp varierar avsevärt från plats till plats, även vid samma tåghastighet och tåglängd. Skillnader på minst ± 5 dB i normaliserad ljudexponeringsnivå (SEL), från en tågpassage, har noterats för åtskilliga tågtyper, t.ex. /3,5/. Det mesta av spridningen orsakas troligen av skillnader i ytans grovhet på räl och hjul. En av de viktigaste framtida förbättringarna som kan göras är faktiskt att inkludera en korrektion för underhållsstandarden. Detta är inte lätt att göra med den information som finns att tillgå för närvarande. I den nordiska beräkningsmodellen finns emellertid möjlighet att lägga till korrektioner till källnivåerna för denna och andra effekter då dessa blir kända.

Databasen med källnivåer som finns med i beräkningsmodellen baserar sig på energimedelnivåer erhållna från ett tämligen stort antal mätningar som gjorts i de nordiska länderna. I Norge har dessa mätningar gjorts inom ramen för två undersökningar för NSB, en under 1982/83 /3/. Data från ungefär 600 tågpassager därför använts för att fastställa emissionsvärden för de 5 viktigaste tågtyperna i landet. Alla tågen är eldrivna, och omfattar två modeller av lokaltåg, **B65** (som också omfattar B67 och B68) och **B69**, intercitytåget **B70**, fjärrgående passagerartåg (**PASS**) och godståg (**GODS**). De viktigaste resultaten visas som A-vägda SEL-värden i figur 1. Prefixet N- används här och senare för att visa att detta är norska tåg.

En motsvarande mängd mätningar på svenska tåg (prefix **S-**), vars data redovisats i /5/, har använts för att bestämma emissionsnivåerna för de vanligaste tågtyperna i Sverige. Både elektriska och dieseldrivna tåg ingår. Ett sammandrag av resultaten från de svenska tågen viss i figur 2. Det innehåller

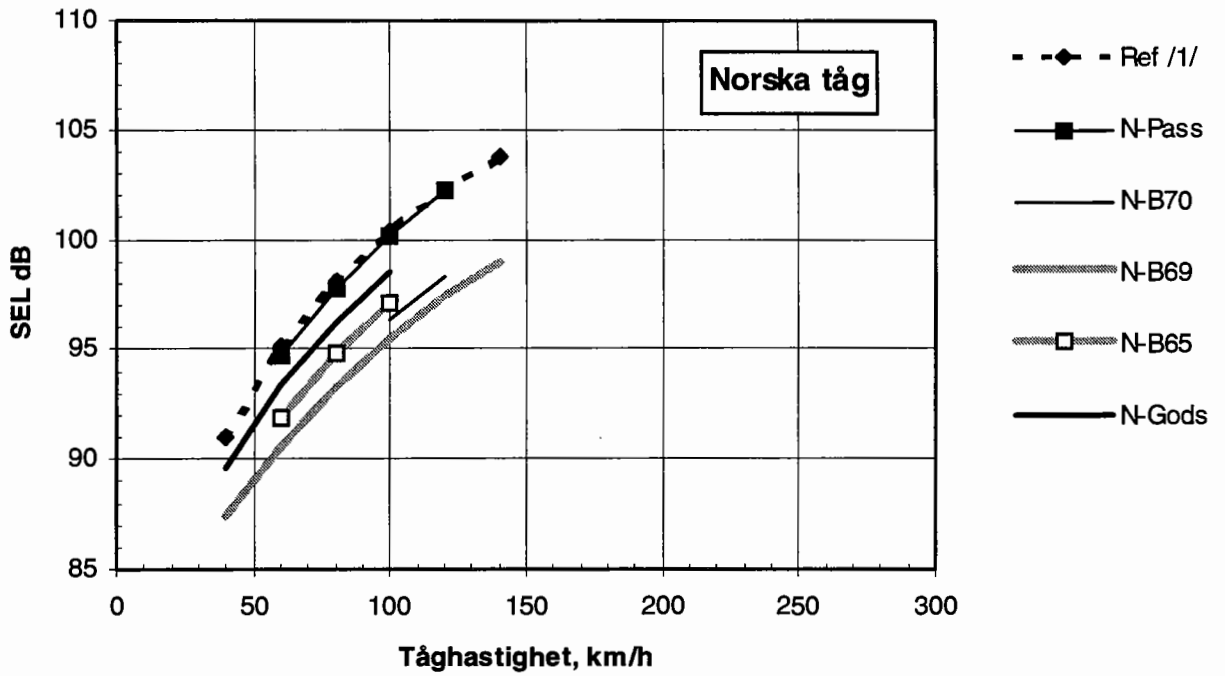
- Höghastighetspassagerartåget **X2**
- Konventionella passagerartåg, huvudsakligen med Rc lok (**PASS** och **PASSTrä**)

- Godståg, huvudsakligen med Rc lok (**Gods**)
- Godståg, huvudsakligen med T44 lok (**GodsDi**)
- Ett lokaltåg (**X10Di**), som även inbegriper typerna X10 och X12

Bokstäverna **Di** betyder dieseldrift, Trä innebär att resultaten gäller för räl lagd på träslipers. För övrigt är alla tåg eldrivna och spåret består av konventionellt ballastunderlag med helsvetsad räl på betongslipers.

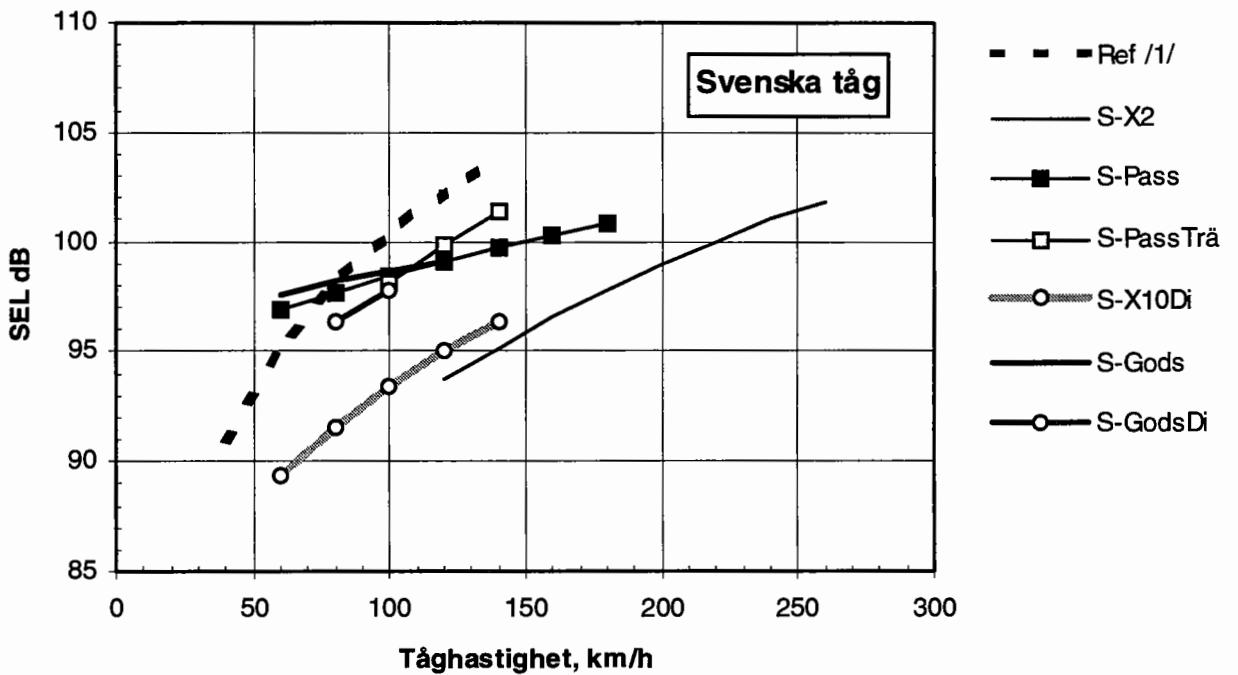
Energimedelvärdet av SEL-värdena i figurena har normaliserats till en tåglängd av 100 m och 10 m mätavstånd från spårets mittlinje, 2m över mjuk, plan mark. Banvallen antas vara i nivå med den omgivande markytan. Dessa mätta värden har jämförts med sina motsvarigheter i /1/ med tågtypskorrekturen satt till noll (0).

Metoden som används för att räkna om de mätta ljudtrycksnivåerna vid förbipassage till de ljudeffektnivåer som behövs för NMT beskrivs i kapitel 5. Preliminära data för finska tåg finns i ref. 33 och i appendix B. Data från danska tåg kommer att läggas till så snart de blir tillgängliga i användbar form.



Figur 1. Norska tåg.

Energimedelvärden av mätta ljudexponeringsnivåer (SEL-värden) för enstaka tågpassager som funktion av tåghastighet och tågtyp. Värdena är normaliserade enligt beskrivningen i texten.



Figur 2. Svenska tåg

Energimedelvärden av mätta ljudexponeringsnivåer (SEL-värden) för enstaka tågpassager som funktion av tåghastighet och tågtyp. Värdena är normaliserade enligt beskrivningen i texten.

3.2 Tankarna bakom ljudutbredningsmodellen

Teoretiskt är det möjligt att noggrant bestämma ljudnivån i en given mottagarposition när man känner, ljudkällan, marken och vädret i detalj. Till och med över tämligen plan mark blir det emellertid i de flesta verkliga situationer praktiskt taget omöjligt att beskriva dessa storheter på ett deterministiskt sätt.

Alla beräkningsmodeller har sina begränsningar och fel, vilket kräver att användaren har tillräckliga bakgrundskunskaper för att kunna utnyttja fördelarna och undgå fallgroparna. Tågbullermodellen har utarbetats för att beräkna bullernivåernas inverkan på samhällsbullret, samt för att underlätta planering och bullerbekämpning. Det förutsätts att användarna av NMT i huvudsak kommer att vara personer med teknisk bakgrund och med åtminstone någon kunskap i akustik.

Idéerna bakom valet av de grundläggande algoritmerna för beräkning av ljudutbredningen beskrivs i appendix A. Inga nya undersökningar av ljudutbredningen har gjorts särskilt för denna omarbetning.

3.3 Det praktiska bruket av modellen och dess förhållande till bullerkriterier.

NMT gäller för sommarförhållanden på marken och för en meteorologisk situation med inversion eller medvind. NMT-resultaten kan jämföras med bullernivåer som erhållits från en lämplig mätprocedur som t.ex. /13/. För användning tillsammans med bullerkriterier vid avstånd mellan spår och mottagare längre än cirka 50 m skall de observeras att de beräknade värdena representerar ett slags värsta fall som bara inträffar tidvis (t.ex. vid temperaturinversion och medvind från källa till mottagare).

Inversion inträffar ofta under natten och är mindre platsberoende än medvindssituationen. Väderstatistik kan användas för att bedöma den totala tiden då den beräknade nivån är relevant. Genom att justera för lokala långsiktiga vädervariationer, är det möjligt att införa en korrektion till de beräknade värdena och bestämma bullernivåns långtidsmedelvärde. Detta har *inte* genomförts i NMT. I många fall är det tillräckligt att slå fast hur ofta, och vid vilken tid på dygnet inversion och medvind inträffar under de kritiska vår- och sommarmånaderna, för att avgöra störningsgraden som orsakas av bullret.

3.4 Noggrannhet och begränsningar hos nordiska beräkningsmodellen för tågbuller.

Uttrycket "NMTs noggrannhet" används här för att beskriva skillnaden mellan de beräknade värdena och ett uppmätt långtidsmedelvärde med hjälp av förfaranden som t.ex. dem i /13, 18/.

Den grundläggande ljudutbredningsalgoritmen i /2/ har prövats mot tidigare mätningar, / t.ex. 17/. Därutöver har några prov utförts med tåg som källor under utvecklingen av NMT. Med sådana fakta som grund är det möjligt att få en grov men användbar bild av noggrannheten i A-vägda nivåer som erhållits med NMT. Noggrannheten i oktavbandsberäkningar blir sämre, grovt sett med en faktor 2 - och kanske ännu mer i oktavbanden 250 och 500 Hz.

Två viktiga orsaker till onoggrannheter återstår när väderförhållandena har definierats, d.v.s. ljudutstrålningen från olika tågtyper och ljudutbredningen mellan spåret och mottagaren.

3.4.1 Begränsningar i tåghastighet

NMT baseras på utförligare bullermätningar än den gamla nordiska beräkningsmodellen. Men några data saknas fortfarande. Endast ett mycket begränsat antal mätningar finns tillgängliga för tåghastigheter under 30 km/h. På platser där tåghastigheten är lägre än detta värde rekommenderas användning av bullernivåerna för (minst) 30 km/h, tills pålitliga data för lägre hastigheter har fastställts.

Vid hastigheter över 30 km/h, anvisar figurerna 1 och 2 vilka hastighetsintervall som har täckts med ljudemissionsmätningar. De uttryck för ljudutstrålningen som ges i kapitel 4.2 skall endast användas inom dessa hastighetsintervall plus/minus 10 km/h.

3.4.2 Beräkningarnas noggrannhet nära spåret. Enkel geometri.

Ljudutstrålningen från individuella tåg beror i stor utsträckning på hur hjul och räl underhålls, / se t.ex. 19,20/. Detta är ofta svårt att kvantifiera. Emissionsvärdena baseras på medelvärden från mätningar på platser med olika geometrier och vid olika driftsförhållanden, och det antas att de är representativa för gällande underhållsscheman.

Erfarenheten visar att noggrannheten hos den beräknade A-vägda ekvivalenta kontinuerliga ljudnivån vanligtvis är inom ± 2 dB och att den nästan alltid är inom ± 3 dB för mottagarpositioner närmare än 30 m från spåret, när båda spåren är synliga och elevationsvinkeln är mindre än cirka 20° . Elevationsvinkeln är vinkeln mellan banvallens plan och linjen från spårets mitt till mätpositionen mätt vinkelrätt mot spåret. Noggrannheten inkluderar både effekten av geometrin och av trafiken, och förutsätter en korrektion för de faktorer som beskrivs i sektion 4.3.2.

Vid högre elevationer tenderar NMT att överskatta bullernivåerna, i synnerhet för elektriska tåg med hastigheter över 20 km/h. En vidare diskussion av skärmeffekten, som orsakas av tågekroppen, och en översikt av lämplig litteratur finns i ref. /14, 16/. Ett begränsat antal prov tyder på att noggrannheten är ± 2 dB vid många enkla skärmande geometrier och vid elevationsvinklar mindre än 20° .

Vad beträffar beräkningen av den A-vägda maximalnivån i dessa fall så är den uppskattade noggrannheten ± 3 dB för $L_{\max M}$ och aningen mer för $L_{\max F}$.

3.4.3 Ljudutbredningseffekter

Ljudutbredningseffekter behandlas på ett mer detaljerat sätt i NMT än i den gamla beräkningsmodellen. Komplicerade geometrier kan behandlas på ett mera praktiskt sätt. När båda spåren på en lång spårsträcka är synliga (betraktat från mottagaren), blir beräkningens noggrannhet i allmänhet god. Även för extremt ojämn terräng förväntas i detta fall den totala noggrannheten för den A-vägda dygnsenergiekvivalentnivån bli cirka ± 3 dB, på upp till 300 - 500 m avstånd från spåret. Onoggrannheterna i A-vägda maximalnivåer blir troligen bara aningen större än detta. Den viktigaste anledningen till de relativt små avvikelserna är det faktum att markeffekten inte spelar någon avgörande roll för järnvägstrafikbuller vid normala farter.

En liknande onoggrannhetsgrad kan förväntas för ojämn terräng när skärmeffekterna orsakas av enkel diffraktion, nära källan eller mottagaren. Vad beträffar andra slag av ojämn terräng; t.ex. omfattande multipel diffraktion, reflexer, vegetation mm., så måste man förvänta sig större avvikelser. För att undvika onödiga fel i sådana fall, bör NMT endast användas av personer med erfarenhet av ljudutbredning utomhus.

Ref. /2/ (liksom andra "grundläggande" metoder) är i första hand avsedd för punktkällor och ljudutbredning över plan mark, med eller utan enkla skärmar. Effekten av luftens absorption är medräknad. Dessa begränsningar i metoden är för restriktiva för praktiskt bruk. Även om marken är tämligen plan ligger ofta spåren högre än marknivån och därigenom uppfylls inte de grundläggande teoretiska förutsättningarna. Under utvecklingen av NMT har det därför varit nödvändigt att bestämma hur ojämn mark skall behandlas utan att föra in oacceptabla fel. Inga dramatiska avvikelser har upptäckts, men lösningar på praktiska problem beskrivs i kapitel 4.3.

3.4.4 Ojämn terräng, ytterligare kommentarer

Det är inte känt hur väl lämpade algoritmerna i /2/ eller för den delen, andra metoder, är för ojämn terräng. Det har inte ingått i den nuvarande omarbetningen att införa radikalt nya procedurer för behandling av denna terrängtyp. Den procedur som tas upp i kapitel 4.4.1 anses vara lämplig för järnvägsbuller.

Inom det viktiga frekvensområdet 300 - 3000 Hz har banvallen en fundamentalt viktig inverkan på ljudfältet, som alstras av räl och hjul under tåget, och följaktligen även på ljudutstrålningen till omgivningen. Ballastytan har därför valts som den bästa referensen för källornas höjd även om spåret går i en skärning eller på en bank.

En följd av att välja en fast men frekvensberoende källhöjd är att storleken på den centrala delen av marken påverkas (kapitel 4.3.1). För tåg är detta bara av betydelse när marken är hård. Om summan av källhöjd och mottagarhöjd underskattas med omkring 2 meter så kommer markeffekten att överskattas med högst 0,5 dB inom alla frekvensband.

Dessa bedömningar har gjorts för beräkningar på avstånd upp till 1000 meter. Felet i den beräknade A-vägda nivån, som orsakas av införandet av proceduren för ojämn terräng i kapitel 4.4.1, förväntas bli mindre än ± 1 dB, i de flesta praktiska fallen. Det är naturligtvis inte lämpligt att använda denna procedur för andra typer av ljudkällor.

4 Den nordiska beräkningsmodellen

Beräkningsproceduren

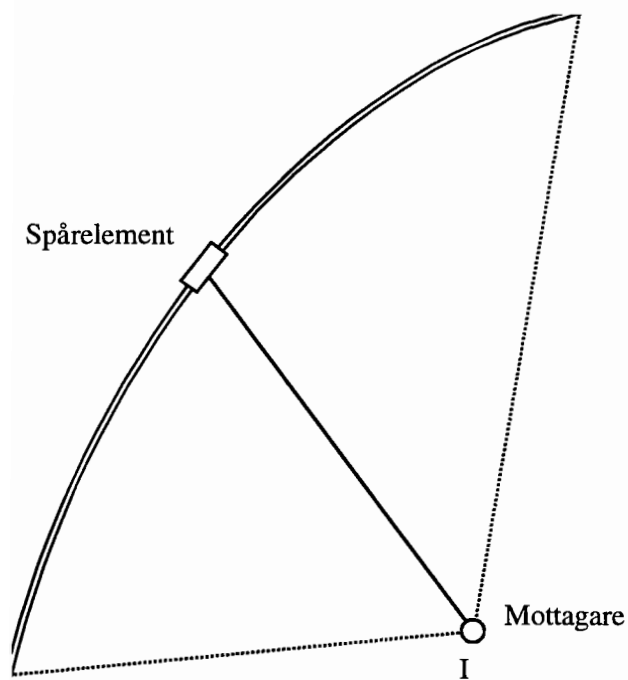
Den nya nordiska beräkningsmodellen för tågbuller (NMT) kan användas för att beräkna 24 timmars energiekvivalent nivå L_{eq24} , och maximalnivå L_{max} , för individuella tåg. Den maximala nivån för tågpassagen beräknas över tågets längd, L_{maxM} , och som en maximalnivå med tidsvägning "Fast", L_{maxF} . Beräkningarna är gjorda i oktavband (63 - 4000 Hz). Den nya nordiska beräkningsmodellen för tågbuller är i första hand avsedd för planering, bullerbedömning och bullerbekämpning.

4.1 Modellering av tåg som ljudkällor

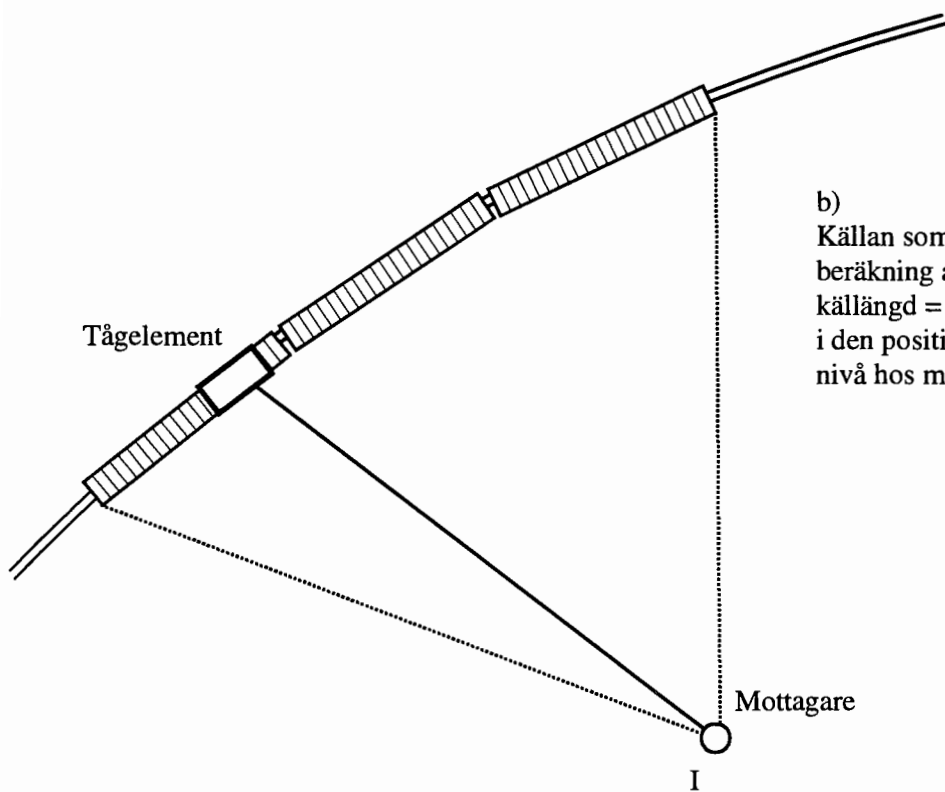
Både vid beräkning av L_{eq} och L_{max} delas källan upp i delement längs spåret, figur 4. Elementens längd bör vara kortare än 50% av avståndet mellan spår och mottagare. Den ljudeffekt som alstras av de verkliga ljudkällorna inom elementets längd ersätts med en punktkälla i elementets mitt. Punktkällan har tilldelats en höjd över rälets övre kant som är frekvensberoende. De källhöjder som skall användas i modellen framgår av figur 3.

Delljudkälla	Oktavband (Hz)						
	63	125	250	500	1000	2000	4000
Räl			—	—	—	—	
Hjul							
Motorer etc.	—	—	—				
Kurvskrik					—	—	—
Vagnar	—	—	—	—			
Bromsning					—	—	—
Källposition på spårets mittlinje (meter över rälöverkant)	2	1,5	0,8	0,3	0,4	0,5	0,6

Figur 3. Källhöjder som används i NMT. Rälens övre kant är normalt 0,2 m över banvallen.



a)
Källan som används för beräkning av L_{eq} (Total källlängd = den spårlängd som bidrar verksamt till bullernivån hos mottagaren).



b)
Källan som används för beräkning av L_{max} (Total källlängd = tåglängden. Tåget i den position som ger högst nivå hos mottagaren.)

Figur 4. Spåret och tåget delas upp i korta källelement när man beräknar L_{eq} respektive L_{max} . Varje element behandlas som en punktljudkälla.

4.2 Källors ljudeffektnivåer.

4.2.1 24-timmars energiekvivalent nivå, L_{eq24} .

Varje tågpassage ger upphov till en "akustisk energidos" i en given mottagarposition, följd av en lång period av tystnad. Om "doserna" från alla tåg som passerar ett typiskt dygn fördelas jämnt över tiden erhåller man en 24 timmars energiekvivalent nivå, L_{eq24} . I detta fall är hela spårets längd viktig och varje delelement av spåret antas generera samma mängd ljudenergi, såvida inte tågets hastighet eller spårets kondition varierar, figur 4a. Bidragen från varje spårelement beräknas med hjälp av proceduren i kapitlen 4.3 och 4.4 och adderas slutligen till summan, L_{eq24} , för en given mottagarposition. (I praktiken begränsar man sig till de spårelement som ger betydande bidrag vid mottagarplatsen).

Det är möjligt att bestämma den ljudeffekt, som genereras per meter spårlängd, L_{w0} , när tågtypen, hastigheten och trafikvolymen är känd, utgående från ljudemissionsmätningar. Ljudeffektnivån kan uttryckas som

$$L_{w0} = a \lg(v/100) + 10 \lg(l_{24}) + b \quad \text{dB re } 10^{-12} \text{ W} \quad (1)$$

där

a,b = värden som anges i Appendix B

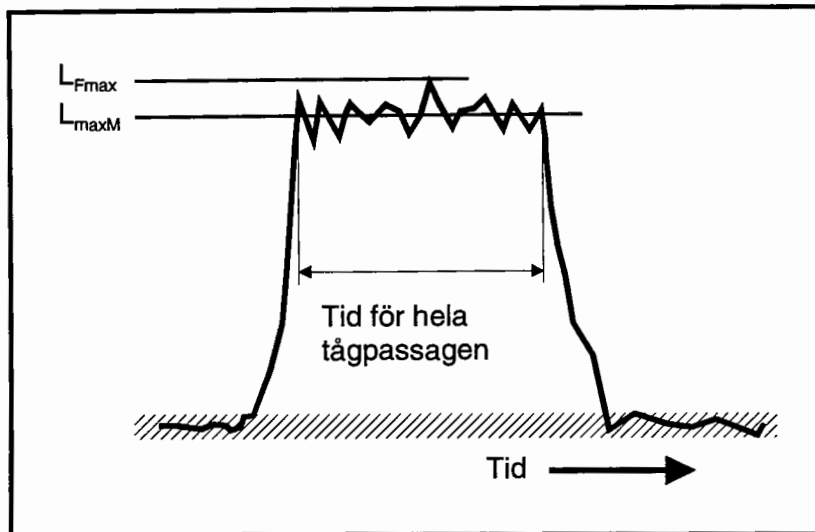
l_{24} = Total tåglängd som passerar under ett typiskt dygn av en given tågtyp i meter.

v = Hastigheten för en given tågtyp i km/h

Data för andra tåg kan läggas till när tillräckligt många mätningar har utförts, och ett officiellt godkännande har erhållits, se kapitel 5.

4.2.2 Den maximala bullernivån

Kombinationen tågtyp, fart och tåglängd som ger den högsta bullernivån vid passagen avgör den maximala ljudnivån, L_{max} , i en given mottagarposition. Endast tåg i regelmässigt bruk på den ifrågavarande bandelen behöver tas med. "Nivåsignaturen" för ett enskilt tåg visas som exempel i figur 5. Maximalnivån kan uttryckas antingen som energimedelvärde över tågets längd, L_{maxM} , eller som den högsta nivå med tidsvägning "F (Fast)".



Figur 5. Exempel på nivåsignatur för ett passerande tåg.

$L_{\max M}$ Beräkningsmodellen baseras på energimedelvärden erhållna ur emissionsdata från tågen som är omnämnda i avsnitt 3. Det förutsätts att varje tåglängdsenhet genererar samma ljudeffekt. Denna ljudutstrålning per meter tåglängd, L_{wt} , fås ur uttrycket

$$L_{wt} = a \lg (v/100) + 10 \lg (v) + 43,8 + b \quad \text{dB re } 10^{-12} \text{ W} \quad (2)$$

där

a, b = värden angivna i appendix B

v = hastigheten för en given tågtyp

Tåget måste placeras i den position på spåret som ger den högsta nivån i mottagarpositionen (iteration kan bli nödvändig). Varje mottagare har sin egen "L_{max} relevant" position för tåget. Tåget representeras med en linjekälla vars längd är lika med tågets längd och som delas upp i delelement på samma sätt som vid beräkningen av L_{eq24} . Bidragen från varje tågelement beräknas enligt proceduren i kapitlen 4.3 och 4.4, och läggs ihop för att ge summan, $L_{\max M}$, för en given mottagarposition.

$L_{\max F}$, Mätningar visar att differensen mellan $L_{\max M}$ och $L_{\max F}$ i huvudsak beror på två faktorer: Avståndet till tåget och om tåget är diesel- eller eldrivet, /t.ex. 27, 28, 29/. Följande korrekationer har valts:-

$$L_{\max F} = L_{\max M} + 3 - (3d_c / 100) \quad \text{dB, för eldrivna tåg} \quad (3a)$$

$$L_{\max F} = L_{\max M} + 6 - (3d_c / 100) \quad \text{dB, för dieseldrivna tåg} \quad (3b)$$

där

d_c = avståndet från mottagaren till tågets centrum i meter

För $d_c > 100$ m (eldrivna tåg) och $d_c > 200$ m (dieseldrivna tåg), antas $L_{\max F}$ bli lika med $L_{\max M}$. Uttrycken används för alla frekvensband. En del mätningar har visat att differensen ($L_{\max F} - L_{\max M}$) minskas om skärmar förekommer, men denna effekt har ignorerats här /29/.

4.2.3 Korrektion för spårunderhåll, ΔL_c .

$\Delta L_c = 0$ används för spår med ballast och helsvetsad räls på betong- eller träslipers, och underhållsförhållandena som är typiska för landet ifråga. Om räl- eller hjulyta är grövre än normalt, skall $\Delta L_c = +1$ till $+3$ dB användas. För mycket grov räl och/eller grova hjul, används $\Delta L_c = +4$ till $+6$ dB.

För särskilt väl underhållna spår kan $\Delta L_c = -1$ till -3 användas. Om räl och hjul alltid har mycket jämnt löpande ytor, kan större negativa värden användas ($\Delta L_c = -4$ till -6) användas. Användningen av negativa värden baseras på väl dokumenterade och tillförlitliga fältmätningar.

Det är nödvändigt att försäkra sig om att inte effekten av underhållstandarden redan är inberäknad i tågtypskorrekturen, ΔL_t , innan man avviker från värdet $\Delta L_c = 0$. I annat fall skall följande värden för korrekturen användas för delsträckor bestående av:-

Räl med skarv	$\Delta L_c = +3$ dB	
10 m spårlängd för vardera av växlar och korsningar	$\Delta L_c = +6$ dB	
Delsträckor på bro utan ballast	$\Delta L_c = +6$ dB	
Delsträckor på bro med ballast	$\Delta L_c = +3$ dB	(4)

4.3 Ljudutbredningen

Efter att ha delat upp ljudkällan i element av punktkällor, som omnämns i kapitel 4.1 och 4.2, beräknas ljudbidraget i mottagarpositionen från varje punktkälla i tur och ordning med hänsyn tagen till avstånd, luftabsorption, markeffekter, skärmar och så vidare efter vad som krävs. Ref. /2/ beskriver en praktisk metod för beskrivning av ljudutbredningen över plan terräng som används här. Följande är en kortfattad beskrivning av de viktigaste aspekterna på ljudutbredningen kopplade till buller från spårbunden trafik. Ljudnivån i oktavband vid mottagaren från en ensam ljudkälla kan uttryckas som

$$L_p = L_w + \Delta L_c + \Delta L_d + \Delta L_a + \Delta L_g + \Delta L_s + \Delta L_v + \Delta L_r \quad (5)$$

där

L_w = Ljudeffektnivån i oktavband för källan erhållen från kapitel 4.2.1 eller 4.2.2, för beräkning av L_{eq24} respektive L_{max} .

ΔL_c = Korrektionen för spårunderhåll enligt kapitel 4.2.3.

ΔL_d = Avståndsdämpningen till följd av spridning enligt definition i kapitel 4.3.1.

ΔL_a = Luftabsorptionen enligt definition i kapitel 4.3.2.

ΔL_s = Skärmeffekt enligt definition i kapitel 4.3.3, med kommentarer och tillägg för hårda skärmar i 4.4.2. Hindret eller del av marken som mest effekt används i fall med multipla skärmar.

ΔL_g = Markeffekten enligt definition i kapitel 4.3.4, med definitioner för ojämn terräng i kapitel 4.4.1.

ΔL_v = Effekten av vegetation, enligt definition i /2/, 4.6. Frivilligt i NMT.

ΔL_r = Effekten av reflekterande ytor andra än marken, enligt beskrivning i /2/, kapitel 4.4. Frivilligt i NMT med undantaget att $\Delta L_r = 0$ till 3 dB för alla oktavband i mottagarpositioner nära byggnaders fasader, 4.3.5.

Dessa faktorer beräknas i tur och ordning för var och en av de sju oktaverna 63 - 4000 Hz. Bidragen från varje källelement adderas inom varje oktavband varefter de A-vägda bullernivåerna kan bestämmas.

4.3.1 ΔL_d , Avståndsdämpningen till följd av spridning

Varje delelement i linjekällan behandlas som en rundstrålande punktkälla. ΔL_d är oberoende av frekvensen och alltid negativ.

$$\Delta L_d = -10 \lg(4\pi R^2) \quad \text{dB} \quad (6)$$

där

R = längden på den väg ljudet tar från källa till mottagare i meter

4.3.2 ΔL_a . Luftabsorptionen.

ΔL_a ökar med frekvensen, och är alltid negativ. Korrektionen innefattar även förluster på grund av energiomvandling och molekylär relaxation i luften, och erhålls ur

$$\Delta L_a = -\alpha_a R \quad \text{dB} \quad (7)$$

där

R = längden på den väg ljudet tar från källa till mottagaren, meter

α_a = dämpningskoefficienten enligt tabell 1

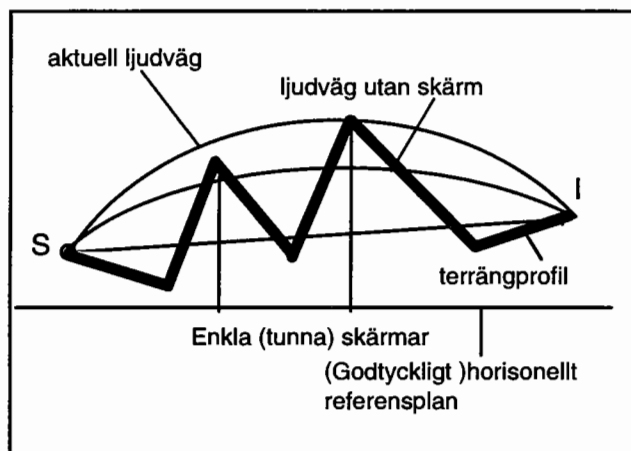
Värdet på α_a beror på luftens fuktighet, tryck och temperatur. För planeringsändamål rekommenderas att använda relativ fuktighet, RH = 70% och lufttemperaturen 15°C. Inverkan av lufttrycket försummas.

Oktavband (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000
α_a (dB/m)	0,000	0,000	0,001	0,002	0,004	0,007	0,017

Tabell 1. Dämpningskoefficienten α_a .

4.3.3 ΔL_S . Skärmeffekten

Använd "terrängprofilen" dragen genom källan (S) och mottagaren (I) enligt beskrivning i figur 6a. Kullar, skärmar och hinder som korsar linjen SI behandlas som enkla, tunna skärmar. Skärmeffekten ökar med frekvensen och eftersom dominerande delar av tågbullret alstras av hjul och räl vid frekvenser omkring 1000 Hz, blir skärmar ofta ett effektivt sätt att minska bullret. Om mer än en skärm korsar linjen SI så används den vars överkant ger den största effekten vid beräkningarna. Se även kapitel 4.4.1.



Figur 6a. Terrängprofil och förenkling av skärmar.

Det förutsätts att skärmens längd är mycket större än dess höjd. Om hindrets "effektiva längd" är mindre än 3 gånger dess "effektiva höjd", måste en korrektion beräknas enligt /2/. Den förenklade skärmgeometrien och viktiga parametrar visas i figur 6b. H_s , H_i , H_g och H_j är höjder i förhållande till ett gemensamt referensplan (t.ex. havsytan). Beräkningen består av tre steg:

Bestäm läget för punkterna K, Q och T.

Punkten Q ligger alltid högre än punkt K; avståndet QK blir:

$$D_h = (d_1 d_2) / (16 d) \quad (8)$$

Avståndet QT är skärmens effektiva höjd, h_e . Om Q befinner sig nedanför T, så blir h_e positiv. Om Q ligger över T, så blir h_e följaktligen negativ:

$$h_e = KT - \Delta_h \quad \text{om K ligger nedanför T} \quad (9)$$

$$h_e = -(KT + \Delta_h) \quad \text{om K ligger ovanför T} \quad (10)$$

2. Bestäm differensen i ljudöverföringsvägsträcka, δ

$$\delta = ST + TI - SQ - QI \quad \text{om K ligger nedanför T} \quad (11)$$

$$\delta = 2SI - SQ - QI - ST - TI \quad \text{om K ligger ovanför T} \quad (12)$$

3. Bestäm värdet på ΔL_S (F = oktavbandets mittfrekvens):

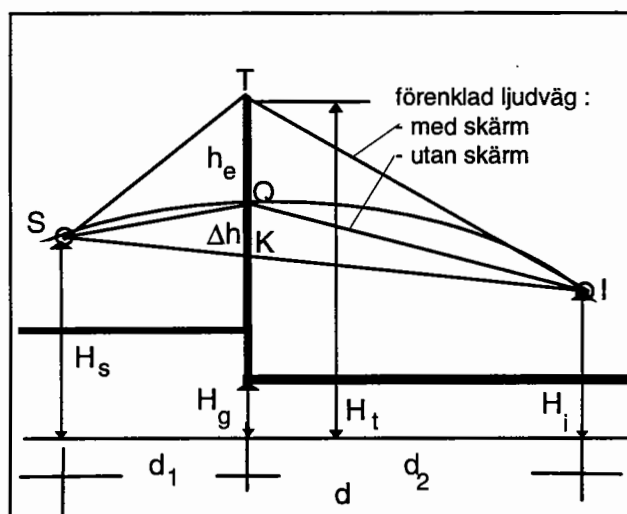
$$\Delta L_S = -10 C_h \lg(0,094 \delta F + 3) \quad (13)$$

Om $\Delta L_S > 0$ dB, sätt $\Delta L_S = 0$ dB

Om $\Delta L_S < -20$ dB, sätt $\Delta L_S = -20$ dB

$$C_h = F (H_t - H_g) / 250 \quad (14)$$

Om $C_h > 1$, sätt $C_h = 1$

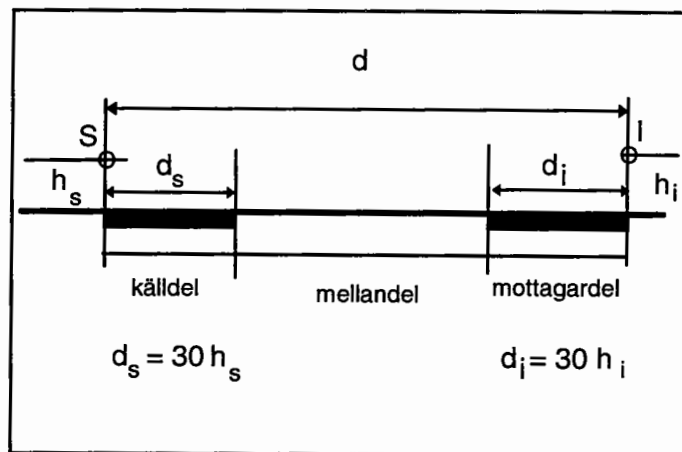


Figur 6b. Geometriska parametrar för en enkel skärm.

4.3.4 ΔL_g . Markeffekten, plan mark.

Ljudutbredningen kommer nästan alltid att påverkas av markytan. Markeffekten, ΔL_g , bestäms av markens egenskaper, källans och mottagarens höjd, typ av markyta, avståndet mellan källa och mottagare och om det finns skärmar i ljudvägen eller inte. Hur man behandlar ojämn terräng behandlas i kapitel 4.4.1.

Figur 7 visar de viktigaste geometriska parametrarna. S är källan och I mottagaren. I detta stadium antas markytan vara plan men inte nödvändigtvis horisontell. Avståndet från källan till mottagaren, mätt parallellt med markytan, d , delas i tre delar: källdelen, d_s , mottagardelen, d_i , och mellandelen. $d - (d_s + d_i)$. Varje del bidrar till markeffekten, ΔL_g . Längderna d_s och d_i definieras i figur 7. När $(d_s + d_i) \geq d$, existerar ingen mellandel och dess bidrag till markeffekten är noll, se /2/ för detaljer. d_s och d_i är alltid mindre än eller lika med d . h_s och h_i är källan respektive mottagarens höjd. Värdet på de tre korrektionstermerna beror på käll- och mottagarhöjderna.



Figur 7. Geometriska markparametrar.

Markens akustiska egenskaper karaktäriseras med en faktor G , som beror på markytans porositet som visas i tabell 2. I skrivande stund rekommenderas $G = 1$ för yta av normalt bibehållen ballast av grovt grus, under räl och slipers.

Typ av markyta	G	Beskrivning
"Hård mark"	0	Asfalt, tät/hårdpackat grus, betong, vatten, berg och liknande ytor som kan anses akustiskt hårda.
"Porös mark"	1	Ballastyta under räl/slipers och alla ytor lämpliga för växt av vegetation anses som akustiskt porösa: t.ex. gräsmark, jordbruksmark med eller utan vegetation, skog, hedar och trädgårdar.
"Delvis porös mark"	$p/100$	Om en procentuell del av markytan är porös och resten är hård, fås markfaktorn G ur uttrycket $G = p/100$

Tabell 2. Marktyper och markfaktor G .

Markkorrektionen ΔL_g består av tre bidrag som vart och ett kan hänföras till sin del av ytan: en källdel, en mottagardel och en mellandel:

$$\Delta L_g = \Delta L_{g,s} + \Delta L_{g,i} + \Delta L_{g,c} \quad (15)$$

Värdena på vart och ett av bidragen i (15) kan beräknas i oktavband med uttrycken som sammanfattats i tabell 3.

Oktavband mittfrekvenser, (Hz)	$\Delta L_{g,s}$ eller $\Delta L_{g,i}$ (dB)	$\Delta L_{g,c}$ (dB)
63	1.5	3 m
125	1.5 - G a(h)	3 m (1 - G _c)
250	1.5 - G b(h)	3 m (1 - G _c)
500	1.5 - G c(h)	3 m (1 - G _c)
1000	1.5 - G d(h)	3 m (1 - G _c)
2000	1.5 (1 - G)	3 m (1 - G _c)
4000	1.5 (1 - G)	3 m (1 - G _c)
$a(h) = 1.5 + 3.0 e^{-0.12 \cdot (h-5)^2} [1 - e^{-d/50}] + 5.7 e^{-0.09 \cdot h^2} [1 - e^{-2.8 \cdot 10^{(-6) \cdot d^2}}]$ $b(h) = 1.5 + 8.6 e^{-0.09 \cdot h^2} [1 - e^{-d/50}]$ $c(h) = 1.5 + 14.0 e^{-0.46 \cdot h^2} [1 - e^{-d/50}]$ $d(h) = 1.5 + 5.0 e^{-0.9 \cdot h^2} [1 - e^{-d/50}]$ $m = 0 \quad \text{när } d \leq 30 (h_s + h_i)$ $m = 1 - 30 (h_s + h_i) / d \quad \text{när } d > 30 (h_s + h_i)$ $\text{om } m < 0: \quad \text{sätt } m \text{ till noll}$		

Tabell 3. Uttryck som skall användas i ekvation 15

$\Delta L_{g,s}$ för att beräkna $\Delta L_{g,s}$ för källdelen, ersätt G och h i uttrycken i tabell 3:

$$G = G_s \quad (16)$$

$$h = h_s, \text{ eller} \quad (17)$$

$$h = h_s + h_e (1 - d_{s1}/d) \quad (18)$$

Ekvation 18 används i stället för ekv. 17 när:

$h_s < 5$ m och det finns betydande skärmning, t.ex. när den dominerande skärmens effektiva höjd, h_e , är positiv.

$\Delta L_{g,i}$ Beräkning av $\Delta L_{g,i}$ för mottagardelen sker analogt med beräkningen av $\Delta L_{g,s}$ ovan. Ersätt G och h i uttrycken i tabell 3:

$$G = G_i \quad (19)$$

$$h = h_i, \text{ eller} \quad (20)$$

$$h = h_i + h_e (1 - d_{i2}/d) \quad (21)$$

Ekvation 21 används i stället för ekv. 20 när:

$h_i < 5\text{ m}$ och det finns betydande skärmning, t.ex. när den dominerande skärmens effektiva höjd, h_e , är positiv.

$\Delta L_{g,c}$ $\Delta L_{g,c}$ från mellandelen beräknas enligt tabell 3.

om h_s (alternativt h_{sc} från kapitel 4.4.1) eller h_i (alternativt h_{ic} från kapitel 4.4.1) är mindre än 5 m och det finns betydande skärmning, t.ex. när den dominerande skärmens effektiva höjd, $h_e > 0$, så används ekv. 18 och ekv. 21 i uttrycket för m i tabell 3.

4.3.5 ΔL_r . Effekten av reflekterande ytor. Byggnadsfasader.

I beräkningspunkter, som ligger nära byggnader, kommer nivåerna att bli påverkade av både direktljud från tågkällorna och reflexljud från byggnadens fasad. I positioner mellan 0,5 och 2 m från en byggnad är det lämpligt att använda fasadkorrektionen,

$$\Delta L_r = 3 \quad \text{dB} \quad (22)$$

I positioner mellan 2 och 20 meter från byggnaden

$$\Delta L_r = 3 - 3d_f/20 \quad \text{dB} \quad (23)$$

där

d_f är avståndet till fasaden. När d_f är större än 20 m, $\Delta L_r = 0$ dB

4.4 Ljudutbredning. Ytterligare definitioner och tillägg till grundekvationerna

Metoden som beskrivs i /2/ är inte tillräckligt definierad i alla situationer, som är relevanta för beräkning av tågbuller. Följande definitioner och tillägg har visat sig vara nödvändiga för att lösa ett antal vanliga praktiska problem.

4.4.1 Ojämn terräng

/2/ ger otillräcklig vägledning för behandling av ojämn terräng. För att kunna beräknas med NMT behöver inte de tre delarna av markytan ha samma höjd, vara parallella eller horisontella. Följande definitioner har antagits:-

Källdelen. Källhöjden, h_s , är fastställd och definierad att vara lika med de värden som ges i figur 3, plus rälhöjden. Detta innebär att övre ytan av banvallen definieras att representera markytan under ljudkällan oberoende av den verkliga utsträckningen av denna yta i riktning mot mottagaren. Denna definition används bara vid beräkningen av markeffekten. Markfaktorvärdet $G = 1$ rekommenderas för den källdel som motsvarar ballasten.

Mottagardelen. Det blir ofta tillräckligt att använda höjden hos markytan direkt under mottagaren som mottagardelens höjd. I fall med ojämn terräng där denna punkt inte är representativ för ytan inom $30 h_i$, blir det nödvändigt att välja ett medelvärde för marknivån och att justera mottagarhöjden, h_i , och markfaktorn, G , i förhållande till detta.

Mellandelen är den del, som återstår utav hela avståndet, d , mellan källa och mottagare när $(d_s + d_i)$ dragits från. Vid mottagarhöjder större än 2 m och källhöjder som definierats här blir inverkan av mellandelen märkbar först när $d > 75-125$ m.

Figur 8 visar ett exempel på en förenklad, ojämn terräng. Varje skärm som kommer i fråga behandlas för sig, t.ex. genom att först finna den punkt på terrängprofilen som ger den högsta skärmeffekten, och sedan följa procedurerna i /2/. För att bestämma inverkan av markens mellandel, beräknas medelhöjden på markytan, H_{gg} . H_{gg} jämförs med H_{si} , som är medelhöjden på den räta linjen mellan en punkt på marken rakt under källan och en motsvarande punkt rakt under mottagaren (¹).

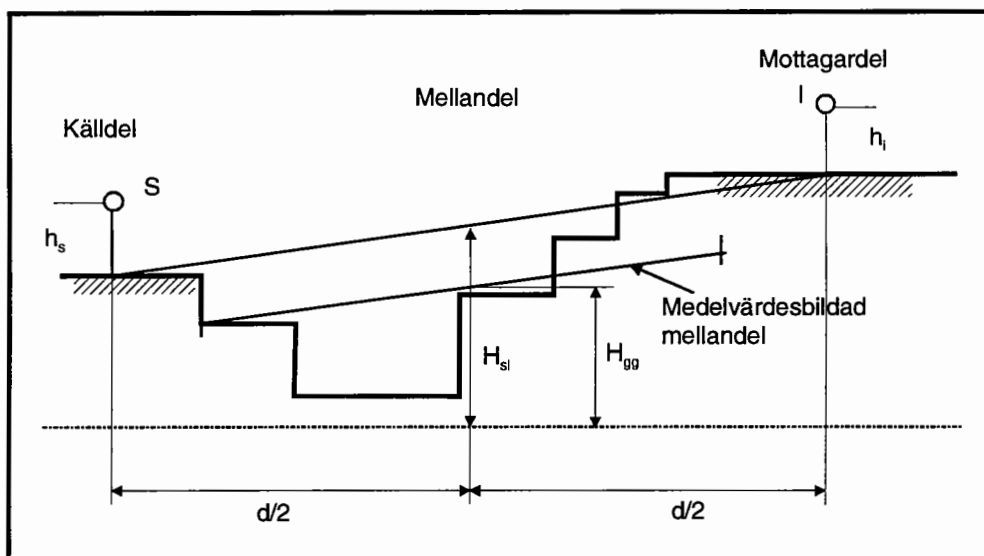
¹ För att vara exakt "rakt under" skall ersättas med "vinkelrätt mot markytan medelplan under källan eller mottagaren" om dessa ytor inte är horisontella.

De korrigerade höjderna som skall användas vid beräkningar av markeffekten orsakad av mellandelen blir således

$$h_{sc} = h_s + (H_{si} - H_{gg}) \quad \text{meter} \quad (24)$$

$$h_{jc} = h_j + (H_{si} - H_{gg}) \quad \text{meter} \quad (25)$$

Minimivärdena på h_{sc} och h_{jc} är noll.



Figur 8. Bestämning av markens medelhöjd (H_{gg}) för markens mellandel, när ytan är ojämn

4.4.2 Skärmar.

I fall då skärmar står nära spåret, kommer en hård markyta vid sidan om spåret ofta att reflektera en avsevärd mängd ljudenergi tillbaka på de stora tågytorna och minska verkan av skärmen. I fall när det blir nödvändigt att använda en reflekterande skärm, minskas skärmeffekten ΔL_S , enligt följande korrektion

$$\Delta L_S' = (1 - 5 / 3d_1) \times \Delta L_S \quad \text{dB} \quad (26)$$

där

d_1 = avståndet från källan till skärmen, mätt horisontellt längs riktningen mellan källa och mottagare. Om $(1 - 5 / 3d_1) < 0,7$ används värdet $\Delta L_S' = 0,7 \Delta L_S$.

I ojämn terräng sätts H_{gg} lika med höjden på den lägsta ytan, vars storlek är av betydelse, i terrängen.

Ljudöverföring runt skärmars ändrar (den "horisontella" överföringen) skall tas med där detta är nödvändigt. Ekvation (26) grundar sig på en begränsad mängd fältdata./31,32/.

5 Att lägga till nya tåg.

5.1 Den nordiska beräkningsmodellen för tågbuller, NMT.

De ljudeffektnivåer som återges i appendix B baseras på fältmätningar utförda enligt de riktlinjer som antagits av projektgruppen, /30/. Ytterligare tåg kan läggas till när nya mätningar har utförts efter samma riktlinjer. Syftet med mätningarna är att bestämma (SEL) för en given tågtyp, spårtyp och hastighetsintervall i oktavbanden 63 - 4000 Hz. Mätavståndet skall vara 7,5 - 30 m från spårets mitt. Hela höjden på de båda rälerna måste vara synlig från mätpunkten, vars elevation skall vara mindre än 20 ° (se kapitel 3.4.2).

SEL_m används här som beteckning på medelvärdet av mätta ljudexponeringsnivåer i oktavband för kompletta tågpassager med en tågtyp, inom ett smalt hastighetsintervall. SEL_m innefattar markeffekten. SEL_m normaliseras sedan till en tåglängd på 100 m och en mätposition 10 m från spårets mittlinje, 2 m över rälets överkant, vilket ger resultat av den typ som visas i figur 1 och 2. Därefter måste algoritmerna i NMT användas för att korrigera för markförhållandena på mätplatsen. Det resulterande , normaliserade ljudexponeringsvärdet, betecknas SEL_n. SEL_n och a- och b- värdena innefattar alltså inte markeffekten. Parametrarna a och b används för att bestämma de två typerna av ljudnivåer som beskrivs i kapitlen 4.2.1 och 4.2.2. Den formella normaliseringsprocessen kan beskrivas med följande steg:-

a) Korrigera för tåglängden, med hjälp av uttrycket

$$\Delta SEL_t = 10 \lg (l_t / 100) \quad \text{dB} \quad (27)$$

i alla oktavband. l_t är den verkliga tåglängden

b) Korrigera för avståndet, med hjälp av uttrycket

$$\Delta SEL_d = 10 \lg (d / 10) \quad \text{dB} \quad (28)$$

i alla oktavband. d är det vinkelräta avståndet från mätplatsen till ljudkällan på spårets mittlinje.

c) Bestäm markeffekten i oktavband, ΔL_{gm} med hjälp av algoritmerna i kapitel 4, källhöjderna på mittlinjen i figur 3 och geometrin på mätplatsen.

d) Konvertera från mätt ljudexponeringsnivå till normaliserad ljudexponeringsnivå för tåg 1 med hjälp av uttrycket

$$SEL_{n1} = SEL_{m1} - \Delta SEL_t + \Delta SEL_d - \Delta L_{gm} \quad \text{dB} \quad (29)$$

Det är nu möjligt att finna energimedelvärden av oktavbandsvärden (SEL_n) för flera tåg av samma typ inom samma hastighetsintervall. Hastighetsintervallet får inte vara större än 20 km/h, åtminstone tre tåg och minimum 500 m tåglängd rekommenderas ingå i medelvärdet, /27/.

SEL_n är en funktion av tåghastigheten och eftersom värdena är bestämda för olika hastigheter är det möjligt att härleda detta samband. Ännu så länge har det visat sig tillräckligt att använda ett linjärt samband för varje oktavband, t.ex.

$$SEL_n = a \lg(v/100) + c \quad \text{dB} \quad (30)$$

där

a, c = konstanter erhållna ur mätningar

v = tåghastighet i km/h

L_{w0} , medelvärdet av ljudeffektnivån för ljudet som utstrålas per meter spår från en tågtyp vid en given hastighet, kan uttryckas som lika med

$$L_{w0} = SEL_n - 10 \lg(100) - 10 \lg(24 \times 3600) + 16^* = SEL_n - 53,5, \text{ eller}$$

$$L_{w0} = a \lg(v/100) + b \quad \text{dB/m spår} \quad (31)$$

för varje meter tåg som passerar under ett dygn (24 h). $b = c - 53,5$. Konstanterna a och b kan erhållas för varje oktavband från regressionsanalys av SEL_n värden. Resultaten skall kontrolleras mot A-vägda SEL_n värden, och justeras om det är nödvändigt genom iteration. Värdena på a och b används även för att finna L_{wt} (ekv. 2).

* SEL_n är normaliserat till 100 m och en position 10 m från spårets mittlinje. Det går att visa genom integrering att en rät linjekälla som strålar ut L_w per meter kommer att ge en ljudtrycksnivå ungefär lika med $L_w - 16$ dB på 10 meters avstånd.

5.2 NMT Handräkningsmetod

5.2.1 Referensnivån för den A-vägda kontinuerliga ekvivalenta nivån under ett dygn.

Den A-vägda referensnivån för en tågtyp med typkorrektionen noll (kapitel 6.1.1), definieras av uttrycket

$$L_{\text{ref0}} = 23,5 \lg (v/100) + 10 \lg (l_{24}/1000) + 61 \quad \text{dB} \quad (32)$$

där

v = tågets hastighet

l_{24} = totala längden tåg som passerar under ett dygn.

L_{ref0} gäller för en position 10 m från spårets mittlinje, 2 m över *plan, mjuk mark*. Marken antas vara i nivå med banvallens övre yta. För att finna tågtypskorrektionen, ΔL_t (kapitel 6.1.2.) för ett nytt tåg används följande procedur:

- Finn de mätta, normaliserade oktavbandsnivåerna i referenspositionen för varje hastighetsintervall, för det ifrågavarande tåget, med effekten av plan, mjuk mark inkluderad, enligt nedan.

$$SEL_{\text{ng}} = SEL_m + \Delta SEL_t + \Delta SEL_d - \Delta L_{\text{gm}} + \Delta L_{\text{gref}} \quad \text{dB} \quad (33)$$

där

ΔL_{gref} = markeffekten över *plan, mjuk mark i referenspositionen*

ΔL_{gm} = markeffekten i mätpositionen

De övriga definitionerna finns i kapitel 5.1.

- Summera oktavbandsnivåerna för att erhålla A-vägd SEL i varje hastighetsintervall, SEL_{Ang} .
- Jämför dessa normaliserade mätta värden med referensnivån, L_{ref0} , för $l_{24} = 100$ m, för att finna tågtypskorrektionen

$$\Delta L_t = SEL_{\text{Ang}} - L_{\text{ref0}}$$

$$\Delta L_t = SEL_{\text{Ang}} - 23,5 \lg (v/100) - 10 \lg (100/1000) - 61$$

$$\Delta L_t = SEL_{\text{Ang}} - 23,5 \lg (v/100) - 51 \quad \text{dB} \quad (34)$$

5.2.2 Referensnivån för maximalnivån vid tågtypskorrekturen noll.

Referensnivån för den A-vägda energimedelvärdesbildade maximalnivån med tågtypskorrekturen noll (se kapitel 6.2.1), fås ur uttrycket

$$L_{\text{Mref0}} = 33,5 \lg v + 27,8 \quad \text{dB} \quad (35)$$

där

v = tågets hastighet, km/h

L_{Mref0} gäller för en position 10 m från spårets mittlinje, 2 m över *plan, mjuk mark*. Marken antas vara i nivå med banvallens övre yta. Tågtypskorrekturen, ΔL_t , är identisk med värdet som bestämts för den A-vägda, ekvivalenta, kontinuerliga 24 timmarsnivån (kapitel 5.2.1).

6 NMT - manuell

En förenklad handräkningsmetod.

Den nordiska beräkningsmodellen för tågbuller beskriven i kapitel 3 och 4, är ganska omfattande och den är inte lämpad för manuell beräkning. Datorprogram baserade på modellen utgör en investering i tid och pengar som inte är motiverad för alla användare.

För några enkla geometrier är det möjligt att få en korrekt beskrivning av bullernivåerna med mycket enklare medel. I andra fall kan det vara tillräckligt att få en uppfattning av de ungefärliga bullernivåer som uppkommer vid en given trafiksituation. Dessa exempel visar på prognosbehov, som kan fyllas med den manuella metod, som beskrivs i detta kapitel. Metoden ersätter den gamla nordiska modellen, /1/. Den kan användas oberoende av NMT för uppskattning av 24-timmars A-vägd ekvivalentnivå och den maximala ljudnivån för ett ändligt antal geometrier, och för interpolation mellan dessa.

Fastän den manuella metoden i första hand är avsedd för fall där terrängen inte förändras nämnvärt utefter spåret, kan den ändå användas i enkla situationer med varierande geometri längs spåret. Detta innebär att ändliga skärmar och kurviga spår kan täckas in genom att dela spåret i "uppdelade spårsträckor". Beräkningarna upprepas för varje del av spårsträckan i tur och ordning. De resulterande ekvivalentnivåerna adderas. Den högsta maximalnivån som erhålls används som slutresultat för denna parameter. Flera spår tillsammans behandlas på samma sätt, med speciell uppmärksamhet på möjliga skillnader i skärmeffekter. Oskärmda dubbelspår, med mittlinjerna mindre än 10 m isär och räalhöjder inom 0,5 m, kan ofta behandlas som ett enkelspår placerat halvvägs mellan de två verkliga spåren.

6.1 Den kontinuerliga 24-timmars ekvivalentnivån (L_{Aeq24}).

Den beräknade 24-timmars ekvivalentnivån gäller för de ljudutbredningsförhållanden som beskrivs i kapitel 3 och 4, vid trafikförhållanden som är representativa för platsen ifråga (t.ex. årsmedelvärde). Den totala tåglängden, i meter per 24 timmar, och tågens medelhastighet måste bestämmas ur kända trafikdata, för varje tågtyp i tur och ordning. Om den verkliga tågastigheten inte kan uppskattas, används hastighetsgränsen som gäller på platsen för beräkningarna. Beräkningarna består av flera steg:-

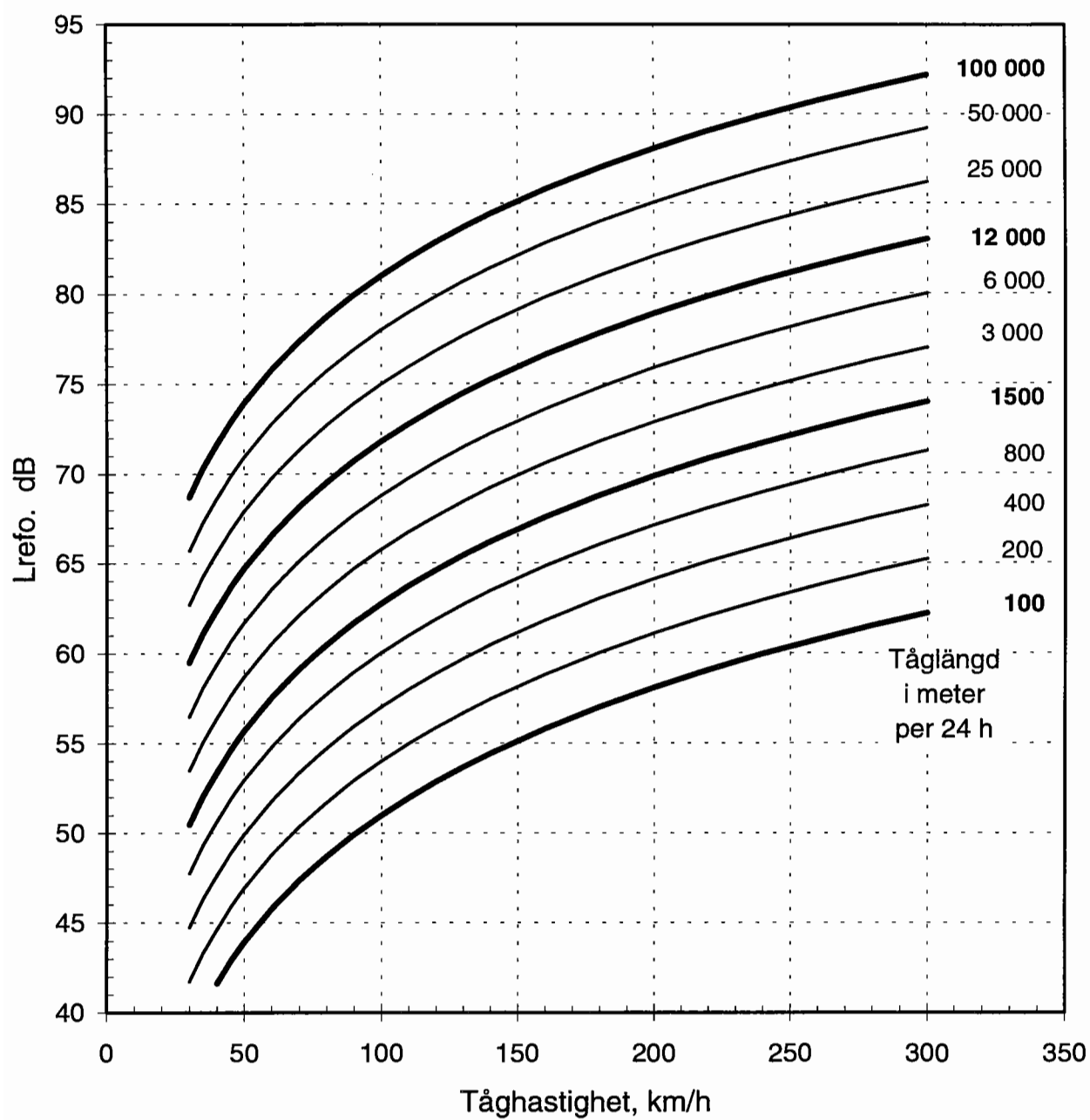
- s1. Den A-vägda kontinuerliga 24-timmars ekvivalentnivån på 10 m avstånd från spåret med typkorrektionen noll, L_{ref0} , erhålls från kapitel 6.1.1.
- s2. Tågtypskorrektionen, ΔL_t , bestäms för varje tågtyp för sig, med hjälp av 6.1.2. Bidraget från tågtyp n till den sammanlagda 24-timmars referensnivån, $L_{refn} = L_{ref0} + \Delta L_{tn}$.
- s3. Addition av bidragen från de olika tågtyperna för att erhålla den sammanlagda 24-timmars referensnivån på 10 m avstånd, L_{ref} . Kapitel 6.1.3.
- s4. Korrektion för spårunderhåll, ΔL_c , erhållen från 6.1.4.
- s5. Korrektion för ändlig spårlängd, ΔL_α , enligt 6.1.4.
- s6. Fasadkorrektion, ΔL_r , erhålls från 6.1.6.
- s7. Ljudnivåminskningen, ΔL_r , mellan referenspositionen och mottagarpositionen bestäms för en passande geometri med hjälp av diagrammen i slutet av kapitel 6.

Dessa steg, som slutligen leder till den A-vägda kontinuerliga 24-timmars ekvivalentnivån vid mottagaren, erhålls ur uttrycket

$$L_{Aeq24} = L_{ref} + \Delta L_c + \Delta L^a + \Delta L_r + \Delta L \quad \text{dB} \quad (36)$$

Om järnvägen har delats upp i partiella spårlängder (eller skilda spår), så måste proceduren upprepas och bidragen måste adderas med hjälp av figur 11, för att erhålla den sammanlagda ljudnivån för alla spårelementen.

Om man efterfrågar bullernivån under en kortare tidsperiod än 24 timmar, till exempel för h timmar med totalt l_h meter tåg som passerar, så kan denna enkelt erhållas genom att räkna om trafikvolymen till ett motsvarande 24-timmarsvärde ($l_{24} = l_h \times (24/h)$), och sedan använda figur 9 direkt för att erhålla ett värde för L_{ref0} , som gäller för 24 h-timmarsperioden. Korrektionerna nedan påverkas inte av valet av tidsperiod.



Figur 9.
 Referensnivån för beräkning av den ekvivalenta kontinuerliga 24-timmars ljudnivån
 (med tågtypskorrekturen noll)

6.1.1 Referensnivån med tågtypskorrekturen noll, L_{ref0} .

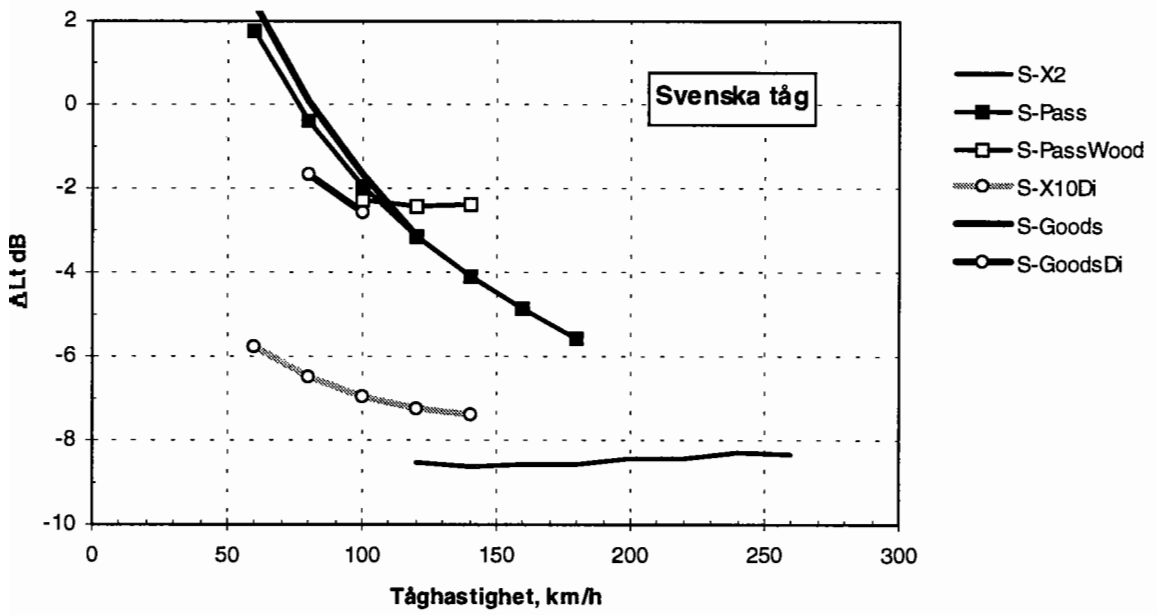
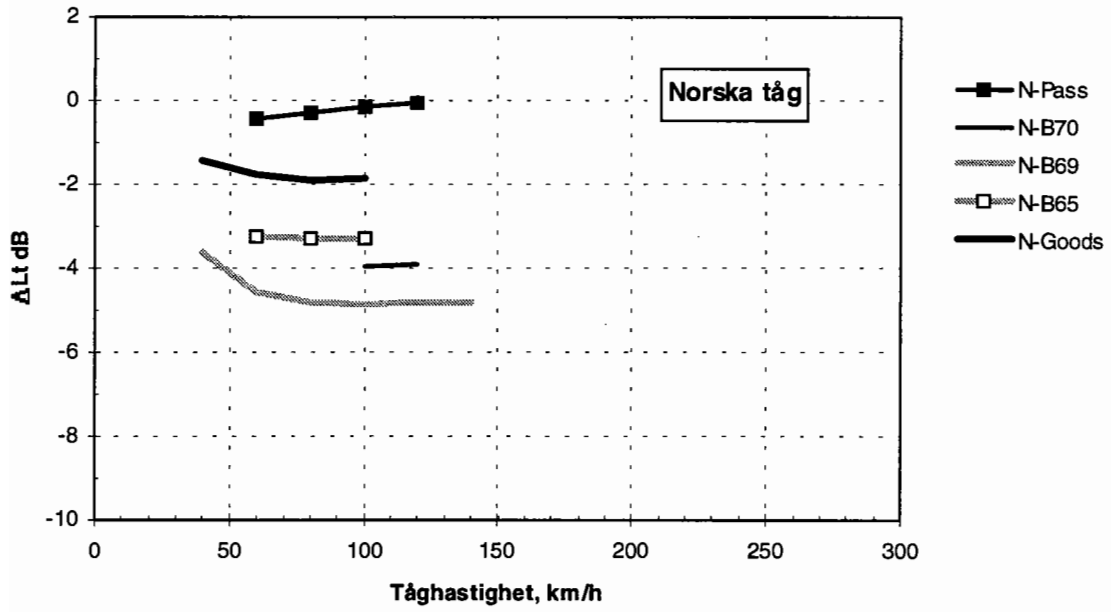
L_{ref0} är den A-vägda kontinuerliga ekvivalenta ljudnivån i referenspositionen, 10 m från spårets mittlinje och 2 m över rälets överkant. Den kan erhållas ur figur 9, när tåghastigheten och trafikvolymen är känd, och den gäller för tågkorrekturen noll dB. Spåret antas bestå av helsvetsad räl på betongslipers lagda på ett konventionellt underlag av ballast och underballast. Banvallens övre yta antas ligga i nivå med den omgivande, mjuka marken. Trafikvolymen beskrivs som den totala tåglängd som passerar under 24 timmar.

6.1.2 Tågtypskorrekturen, ΔL_t .

Varje tågtyp har sina ljudutstrålningsegenskaper och dessa växlar som funktion av tågets hastighet. Mätningar har gjorts på många nordiska tågtyper. De resultat som var tillgängliga i passande form vid slutet av 1995 visas i figur 10. Ytterligare tåg kan läggas till efter det att mätresultaten konverterats enligt proceduren i kapitel 5. Tågtypskorrekturen i figur 10 redovisas i förhållande till ett "grundtåg" (noll dB korrektion) ur figur 9.

$\Delta L_t = 0$ skall användas för eldrivna tåg i hastighetsintervallet 30 - 150 km/h när inga eller otillräckliga mätningar finns tillgängliga. En tämligen god underhållsstandard på spår och hjul förutsätts för alla tågtyper.

För tåg som inte omfattas av den här modellen kan de tågtypskorrekturen, som tidigare använts i de nordiska länderna tillsammans med /1/, tillämpas tills uppdaterade resultat finns tillgängliga.



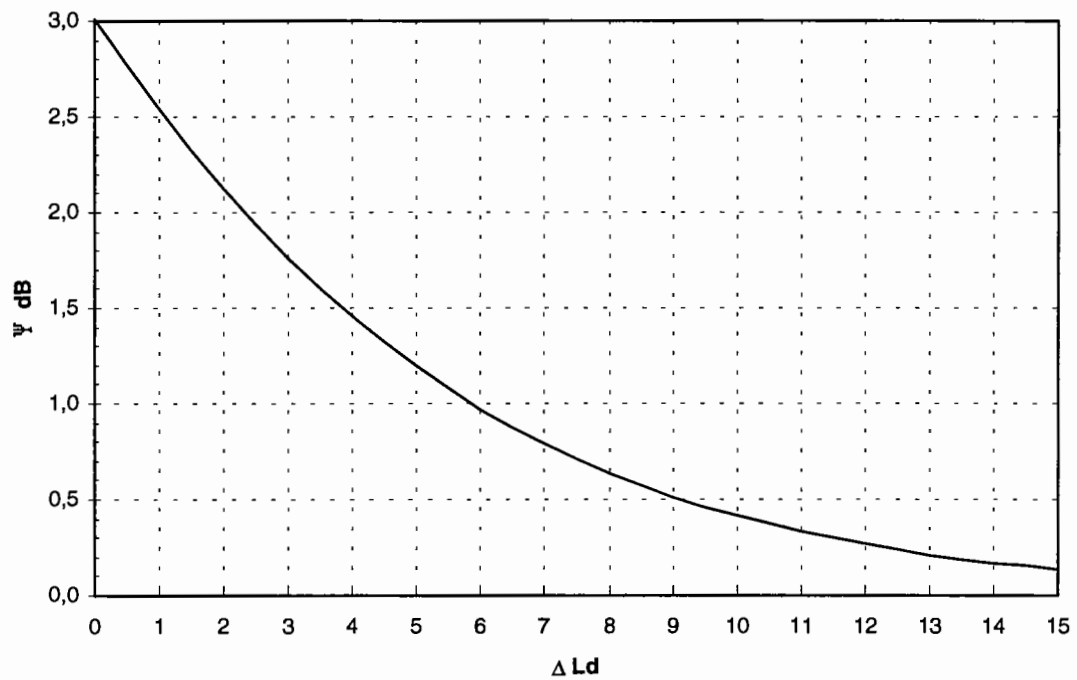
Figur 10. Tågtypskorrekturen, ΔL_t

6.1.3 Summering av ljudnivåer.

Ljudbidragen från två enskilda tåg (eller skilda spårsträckor eller spår), kan adderas med nedanstående procedur.

- Välj ut två ljudnivåer som skall adderas (t.ex. L_1 och L_2). Börja med de högsta nivåerna.
- Dra i från den minsta från den största för att erhålla differensen, ΔL_d .
- Använd figur 11 för att finna värdet Ψ när ΔL_d är känd.
- Addera Ψ till den högsta av L_1 och L_2 för att erhålla summan av de båda värdena, L_{1+2} .
- Välj ut nästa nivå, L_3 , som skall adderas till L_{1+2} , och upprepa steg a till d för att erhålla L_{1+2+3} . Fortsätt tills alla värden har adderats och den sammanlagda nivån $L_{1+2+3+4+\dots}$, har erhållits.

Samma steg kan användas för att summera ljudbidrag från flera spår eller delsträckor.



Figur 11. Summering av bullernivåer

6.1.4 Korrektion för spårunderhåll, ΔL_c .

$\Delta L_c = 0$ används för spår med ballast och helsvetsad räl på betong- eller träslipers, och för underhållsförhållandena, som är typiska för landet ifråga. Om räl- eller hjulyta är grövre än normalt, skall $\Delta L_c = +1$ till $+3$ dB användas. För mycket grov räl och/eller grova hjul, använd $\Delta L_c = +4$ till $+6$ dB.

För särskilt väl underhållna spår kan $\Delta L_c = -1$ till -3 användas. Om räl och hjul alltid har mycket jämnt löpande ytor, kan större negativa värden användas ($\Delta L_c = -4$ till -6). Användningen av negativa värden skall baseras på väl dokumenterade och tillförlitliga fältmätningar.

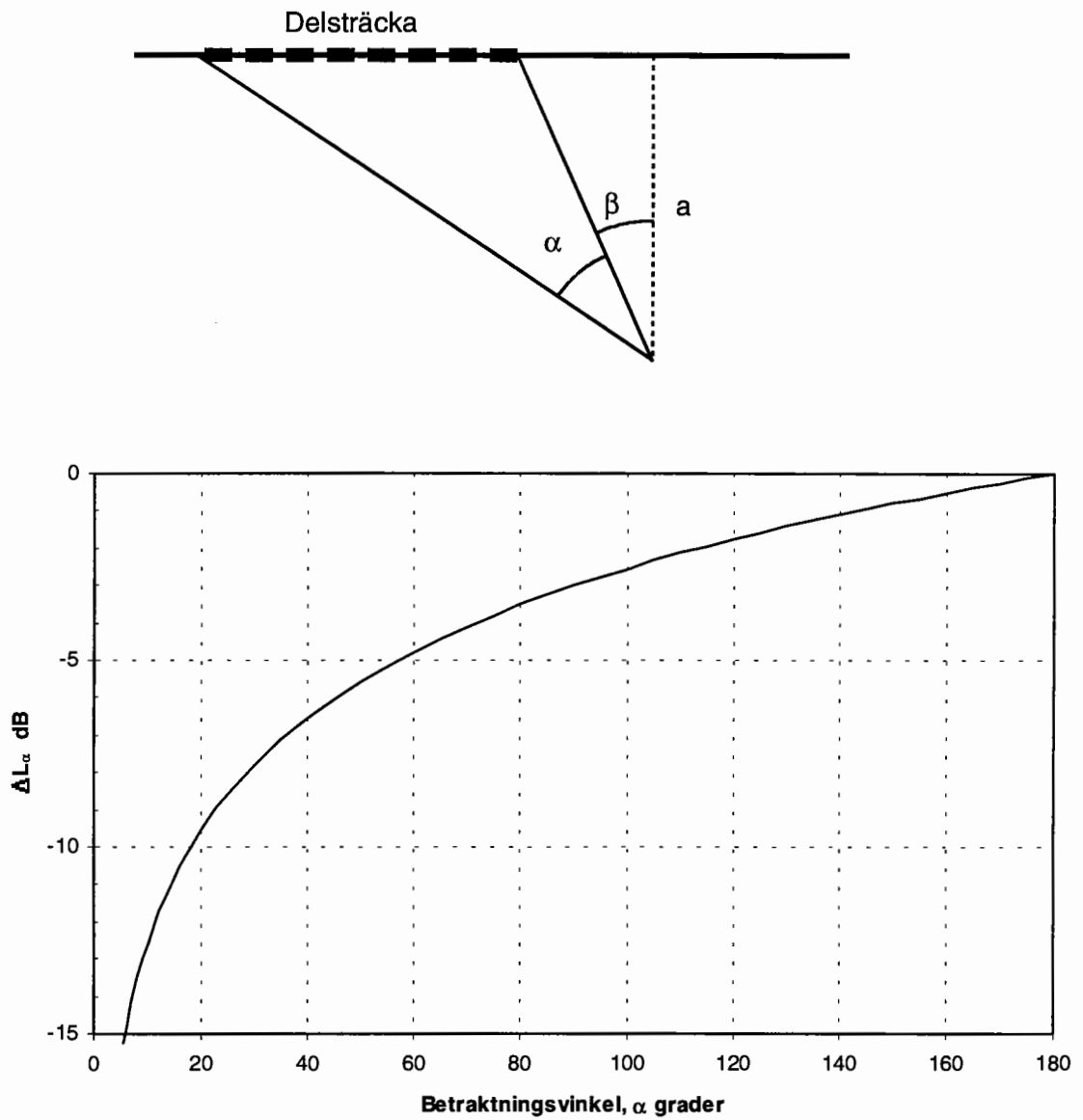
Det är nödvändigt att man försäkras om att inte effekten av underhållstandarden redan är medräknad i tågtypskorrektionen, ΔL_t , innan man avviker från värdet $\Delta L_c = 0$. I annat fall skall följande värden för korrektionen användas för delsträckor bestående av:-

Räl med skarv	$\Delta L_c = +3$ dB	
10 m spårlängd för vardera av växlar och korsningar	$\Delta L_c = +6$ dB	
Delsträckor på bro utan ballast	$\Delta L_c = +6$ dB	
Delsträckor på bro med ballast	$\Delta L_c = +3$ dB	(37)

6.1.5 Korrektion för ändlig spårlängd, ΔL_α

Referensvärdet gäller för ett rakt och oändligt långt spår, t.ex. ett spår som täcker 180 graders vinkel sett från mottagaren. I många praktiska fall bidrar endast en del av spåret signifikant till bullret vid mottagaren. Antag att denna del upptar en vinkel α sett från mottagaren. Det kan visas att ljudtrycket är direkt proportionellt mot denna vinkel (fig. 12). Ljud som genereras på delsträckan med vinkeln α antas vara oberoende av vinkeln β i detta fall.

Ofta är spåret inte rakt eller terrängen inte helt plan, och det kan vara många partiella skärmar längs spåret eller delar av spåret kan ligga på broar osv. Detta gör det nödvändigt att dela spåret i raka delsträckor täckande var sin betraktningvinkel. Uppdelningen skall göras så att spårets riktning, geometri och markförhållanden varierar så lite som möjligt inom varje delsträcka.



Figur 12. Korrektion för betraktningvinkeln, α .

Anm.:

Den manuella metoden är inte användbar för att beräkna ljudnivåer från enkla dominerande delsträckor med sneda vinklar (β större än omkring 30 grader).

6.1.6 Fasadkorrektionen, ΔL_r

I beräkningpunkter, som ligger nära byggnader, kommer nivåerna att bli påverkade av både direktljud från tågkällorna och reflexljud från byggnadens fasad. I positioner mellan 0,5 och 2 m från en byggnad är det lämpligt att använda fasadkorrektionen,

$$\Delta L_r = 3 \quad \text{dB} \quad (38a)$$

I positioner mellan 2 och 20 meter från byggnaden

$$\Delta L_r = 3 - 3d_f/20 \quad \text{dB} \quad (38b)$$

där

d_f är avståndet till fasaden. När d_f är större än 20 m är $\Delta L_r = 0$ dB

6.1.7 Ljudnivåminskningen, ΔL .

Korrektionen ΔL innefattar effekten av avstånd, luftabsorption, mark och skärmar. För ett oändligt långt tåg och ett begränsat antal geometrier kan den fås ur diagrammen i slutet på kapitel 6. Värdet på parametern, ΔL , visas som funktion av avståndet från spåret och höjden över marknivån för varje geometri och markbeskaffenhet för sig. Det antas att markytan under källan har goda ljudabsorberande egenskaper (ballast, $G = 1$). Resten av markytan kan antingen vara hård eller mjuk, vilket anges med MJUK eller HÅRD överst på varje sida.

Avståndet som används vid beräkning av ΔL är det vinkelräta avståndet från mottagaren till spårets mittlinje, a , eller det vinkelräta avståndet från mottagaren till förlängningen av mittlinjen till en delsträcka som det visas i figur 12. Ett lämpligt vinkelrätt tvärsnitt skall väljas i överensstämmelse med den genomsnittliga geometrin längs delsträckan.

Korrektionen ΔL kan bestämmas för avstånd mellan spår och mottagare upp till 100 m. För längre avstånd hänvisas till kapitel 6.2.5.

6.2 Den maximala ljudnivån (L_{AmaxM} och L_{AFmax}).

Den manuella metoden för beräkning av maximalnivån är mycket lik den som beskrivits för beräkning av ekvivalentnivån. Den typiska tåglängden i meter och medelhastigheten måste bestämmas för varje tågtyp för sig. Om den verkliga tågastigheten inte kan uppskattas, används hastighetsgränsen på den ifrågavarande sträckan. Beräkningen består av flera steg:-

- s8. Den maximala ljudnivån på 10 m avstånd från spåret, över mjuk mark, med typkorrektionen noll, L_{Mref0} , bestämd enligt kapitel 6.2.1.
- s9. Tågtypskorrektionen, ΔL_t , bestäms för varje tåg för sig med hjälp av figur 10. Den maximala ljudnivån från tågtyp n, $L_{Mrefn} = L_{Mref0} + \Delta L_{tn}$.
- s10. Korrektion för tåglängd (eller ändlig spårlängd, om denna är kortare), ΔL_α , bestämd enligt kapitel 6.1.5.
Det är nu lämpligt att välja den tågtyp som ger det högsta värdet på $(L_{Mrefn} + \Delta L_\alpha)$. Det är bara den tågtypen som behöver tas med i den fortsatta beräkningen.
- s11. Korrektion för spårförhållande, ΔL_c , bestämd enligt kapitel 6.1.4.
- s12. Fasadkorrektionen, ΔL_r , bestämd enligt kapitel 6.1.6.
- s13. Ljudnivåminskningen, ΔL , mellan referenspositionen och mottagarpositionen bestäms för den bäst lämpade geometrin med hjälp av diagrammen i slutet på kapitel 6.

Dessa steg leder till den högsta A-vägda medelnivån för en tågpassage vid mottagarpositionen,

$$L_{AmaxM} = L_{Mref} + \Delta L_\alpha + \Delta L_c + \Delta L_r + \Delta L \quad \text{dB} \quad (39)$$

L_{AFmax} , den A-vägda maximalnivån med tidsvägning F ("fast") kan bestämmas enligt nedan:

$$L_{AFmax} = L_{AmaxM} + 3 - (3d_c/100) \quad \text{dB, för eldrivna tåg} \quad (40)$$

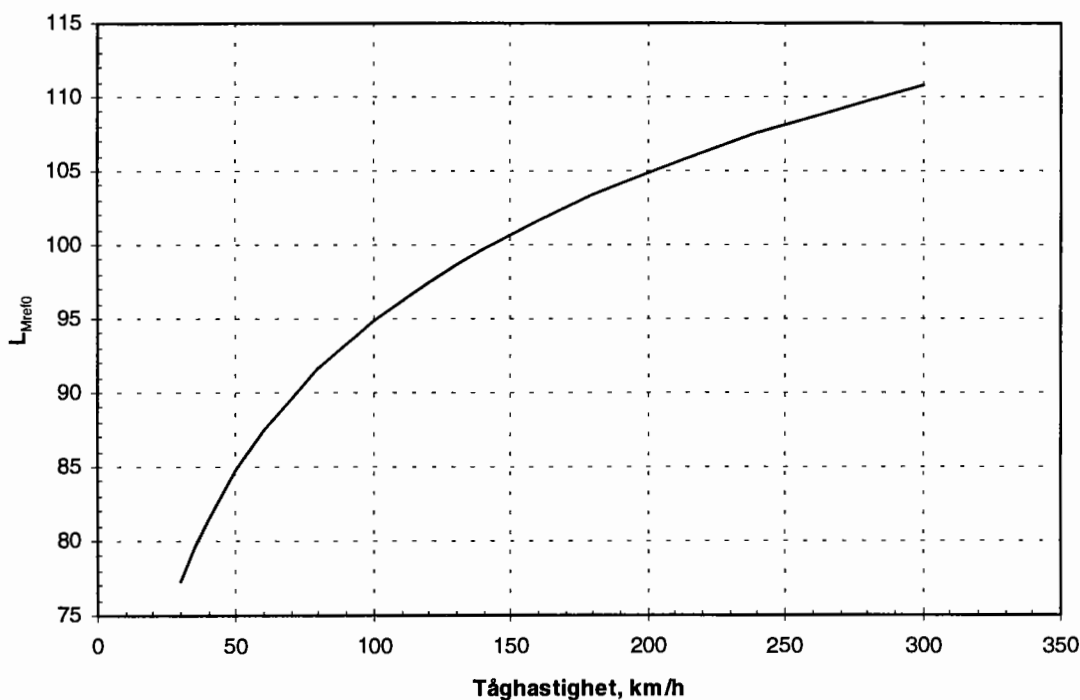
$$L_{AFmax} = L_{AmaxM} + 6 - (3d_c/100) \quad \text{dB, för dieseltåg} \quad (41)$$

För $d_c > 100$ m (eldrivna tåg) och $d_c > 200$ m (dieseltåg), $L_{AFmax} = L_{AmaxM}$.

Om det inte är uppenbart vilken tågposition som ger den högsta ljudnivån hos en given mottagare, måste processen upprepas.

6.2.1 Referensnivån vid tågtypskorrekturen noll, L_{Mref0} .

L_{Mref0} är den maximala A-vägda ekvivalenta ljudtrycksnivån i referenspositionen (se 4.2.2), 10 m från spårets mittlinje och 2 m över rälets överkant. Den kan erhållas ur figur 13 när man känner tågets hastighet och gäller vid noll dB tågkorrektur och ett oändligt långt tåg. Spåret antas bestå av helsvetsad räl på betongslipers lagda på ett konventionellt underlag av ballast och underballast. Banvallens övre yta antas ligga i nivå med den omgivande, mjuka marken.



Figur 13.

Referensvärdet för beräkning av maximalnivån (tågtypskorrektur = noll och oändlig tåglängd), L_{Mref0}

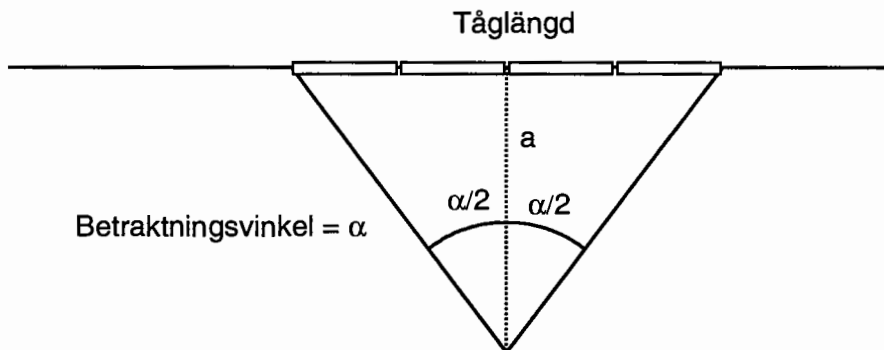
6.2.2 Korrektion för tågtyp, ΔL_t

Tågtypskorrektionen fås ur figur 10. Observera villkoren för giltighet i kapitel 6.1.2.

6.2.3 Korrektion för ändlig tåglängd, ΔL_{α} ,

Referensvärdet i figur 13 gäller för ett rakt och oändligt långt spår, t.ex. ett spår som täcker 180 graders vinkel sett från mottagaren. I alla praktiska fall upptar tåglängden endast en vinkel α sett från mottagaren. Detta innebär att figur 12 kan användas med spårets delsträcka ersatt med tåglängden. Om ingen skärmning förekommer bestäms normalt maximalnivån av ett tåg i den position som visas i figur 14.

Anm.: I vissa fall kan det inträffa att längden på den delsträcka, som används i beräkningarna är mindre än tåglängden. I sådana fall avgörs vinkeln α av delsträckans längd. Valet av det bullrigaste tåget, som det beskrivs i kapitel 6.2, steg 10, kan i så fall också påverkas.



Figur 14.

Den vanligaste betraktningens vinkeln, α , för ett tåg vid beräkning av den maximala ljudnivån.

6.2.4 Korrektion för spårets kondition, ΔL_c .

Använd de värden som ges i kapitel 6.1.4.

6.2.5 Ljudnivåminskningen, ΔL .

Korrekturen ΔL innefattar effekten av avstånd, luftabsorption, mark och skärmar. För ett oändligt långt tåg och ett begränsat antal geometrier kan den fås ur diagrammen i slutet på kapitel 6. Värdet på parametern ΔL visas som funktion av avståndet från spåret och höjden över marknivån för varje geometri och markbeskaffenhet för sig. Det antas att markytan under källan har goda ljudabsorberande egenskaper (ballast, $G = 1$). Resten av markytan kan antingen vara hård eller mjuk, vilket anges med MJUK eller HÅRD överst på varje sida.

Avståndet som används vid beräkning av ΔL är det vinkelräta avståndet från mottagaren till spårets mittlinje, a , eller det vinkelräta avståndet från mottagaren till förlängningen av en delsträckas mittlinje som det visas i figur 12. Ett lämpligt vinkelrätt tvärsnitt skall väljas i överensstämmelse med den genomsnittliga geometrin längs delsträckan.

ΔL anges för avstånd upp till $a = 100$ m. För längre avstånd skall man normalt inte använda NMT för handräkning. Om det är nödvändigt kan en skattning av ΔL både för L_{eq} och L_{max} vid avstånd mellan $a = 100$ m och $a = 300$ m, erhållas med uttrycket

$$\Delta L_{100 \rightarrow 300} = \Delta L_{100} - 10 \lg(a/100) \quad \text{dB} \quad (41)$$

där

$\Delta L_{100} =$ värdet av ΔL vid 100 m för den ifrågakvarande geometrin.

6.3 Noggrannhet

Den totala noggrannheten av NMT beskrivs i kapitel 3.4. Handräkningsmetoden ger resultat som normalt ligger inom $\pm 1,5$ dBA från beräkningar med NMT för de geometrier som beskrivs nedan. Skillnaderna uppstår i första hand därför att medelspektra har använts för tågens bulleremission och för att markeffekt, skärmar och luftabsorption har beräknats för en nästan oändlig linjekälla vid bestämning av ΔL .

Handräkningsmetoden skall inte användas för beräkning av ljudnivåer från enskilda, dominerande delsträckor eller tågpositioner med "sneda" vinklar (b större än omkring 30 grader i figur 12).

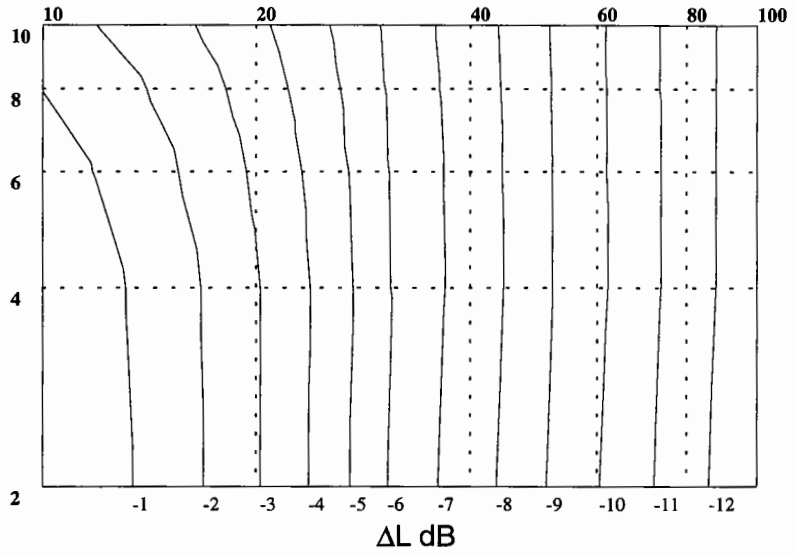
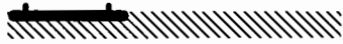
MJUK 1 - 3

ΔL dB

NORMALT, BALLASTAT SPÅR, AKUSTISKT MJUK MARK, ELDRIVNA TÅG.

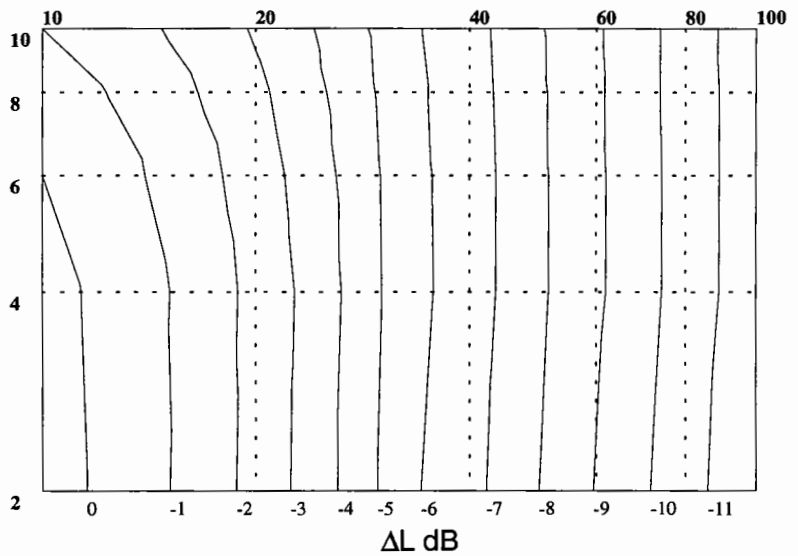
Höjd över marknivå. Avstånd från spårets mittlinje (m):-

1. Banvall i nivå med markytan.



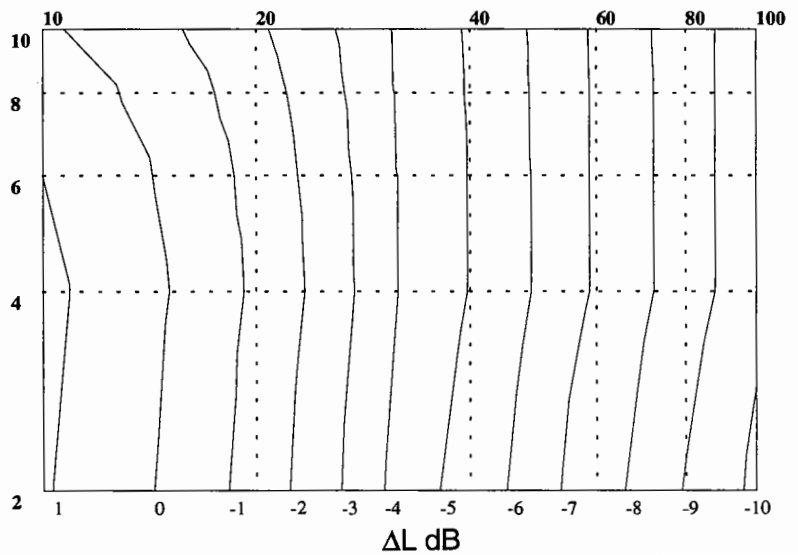
2. Banvall 0,5 m över markytan.

Bankens kant 3 m från spårets mittlinje, 0,3 m under banvallens övre yta



3. Banvall 2m över markytan.

Bankens kant 3 m från spårets mittlinje, 0,3m under banvallens övre yta



MJUK 4 - 6 ΔL dB

NORMALT, BALLASTAT SPÅR, AKUSTISKT MJUK MARK, ELDRIVNA TÅG.

4. Mjuk skärm.

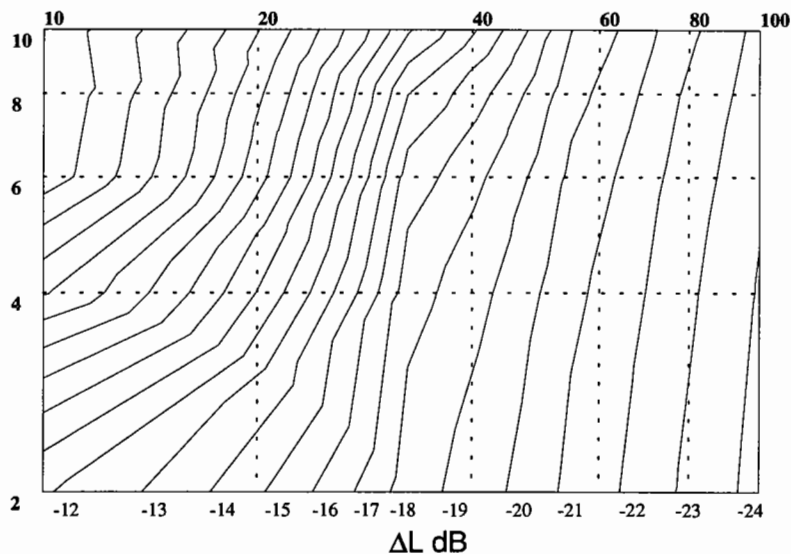
Banvall

i nivå med markytan.

Skärm med ljudabsorberande yta mot spåret. Skärmens avstånd från spårets mittlinje = 4 m. Skärmhöjd = 2 m över spårytan.



Höjd över marknivå. Avstånd från spårets mittlinje (m):-

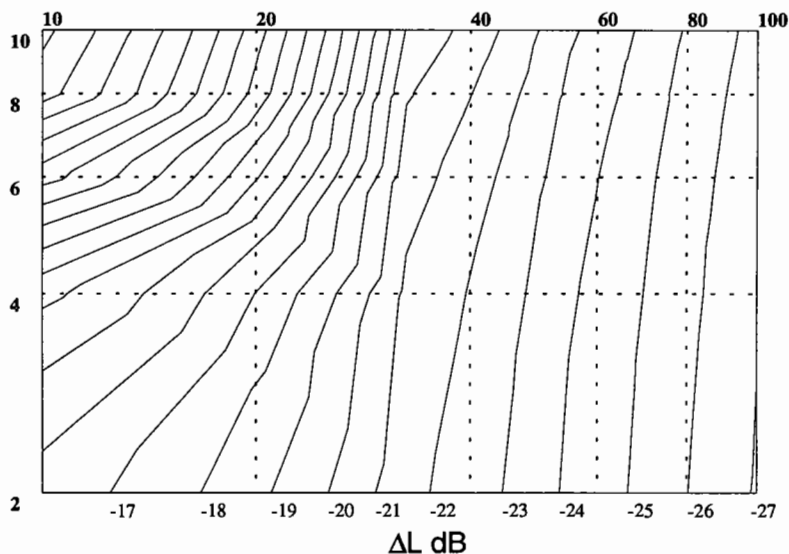


5. Mjuk skärm.

Banvall

i nivå med markytan

Skärm med ljudabsorberande yta mot spåret. Skärmens avstånd från spårets mittlinje = 4 m. Skärmhöjd = 3 m över spårytan.

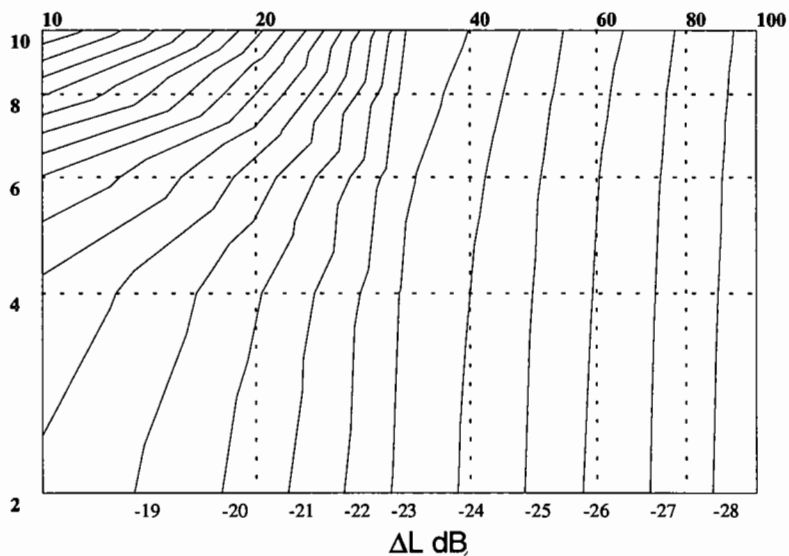


6. Mjuk skärm.

Banvall

i nivå med markytan.

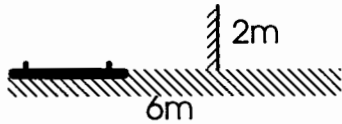
Skärm med ljudabsorberande yta mot spåret. Skärmens avstånd från spårets mittlinje = 4 m. Skärmhöjd = 4 m över spårytan.



MJUK 7 - 9 ΔL dB

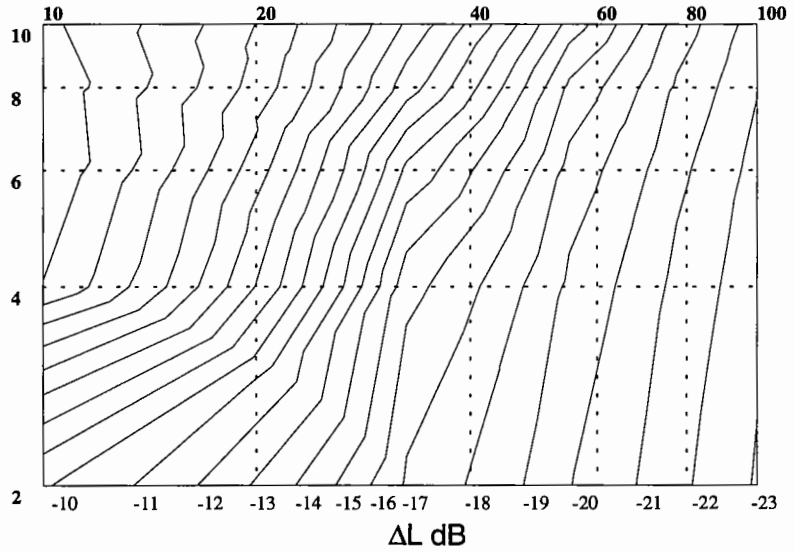
7. Mjuk skärm.
Banvall
i nivå med markytan.

Skärm med
ljudabsorberande yta mot
spåret. Skärmens avstånd
från spårets mittlinje = 6 m.
Skärmhöjd = 2 m över
banvallen.



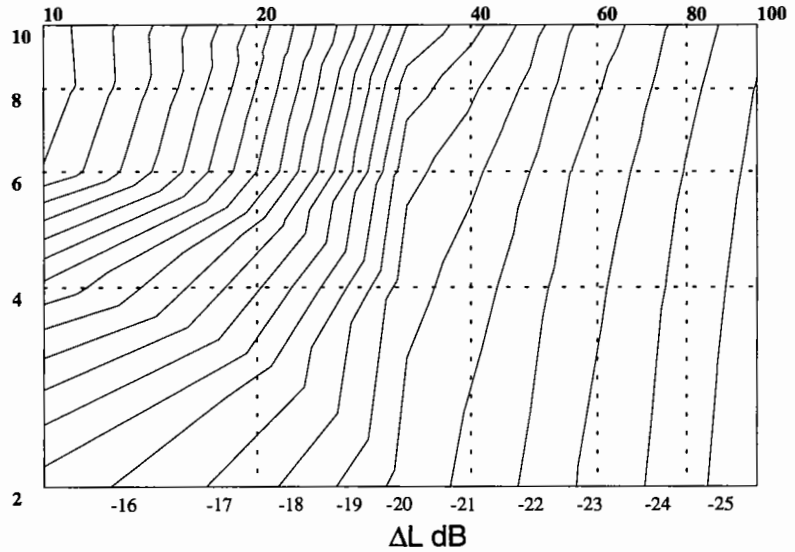
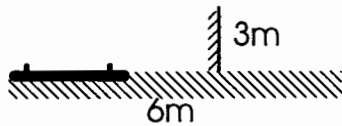
NORMALT, BALLASTAT SPÅR, AKUSTISKT MJUK MARK,
ELDRIVNA TÅG.

Höjd över marknivå. Avstånd från spårets mittlinje (m):-



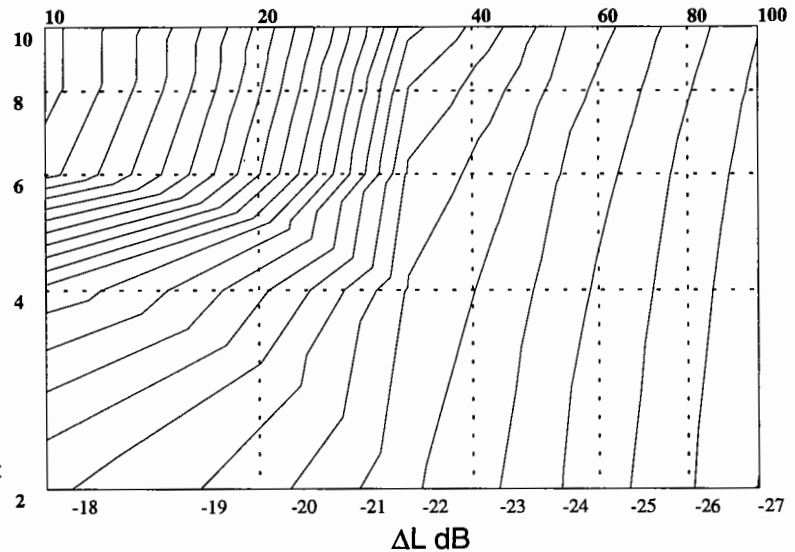
8. Mjuk skärm.
Banvall
i nivå med markytan.

Skärm med
ljudabsorberande yta mot
spåret. Skärmens avstånd
från spårets mittlinje = 6 m.
Skärmhöjd = 3 m över
banvallen.



9. Mjuk skärm.
Banvall
i nivå med markytan.

Skärm med
ljudabsorberande yta mot
spåret. Skärmens avstånd
från spårets mittlinje = 8 m.
Skärmhöjd = 4 m över
banvallen.

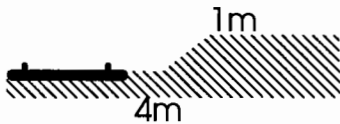


MJUK 10 - 12 NORMALT, BALLASTAT SPÅR, AKUSTISKT MJUK MARK, ELDRIVNA TÅG.

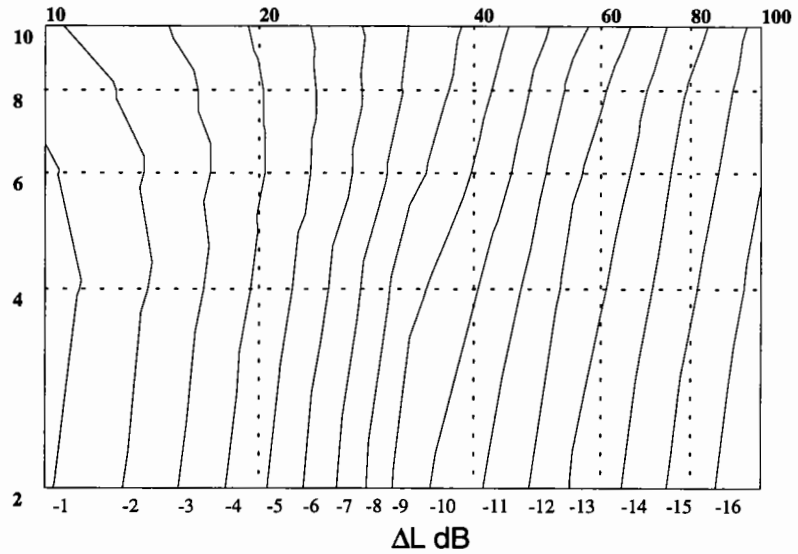
ΔL dB

10. Mjuk skärning.
Banvall
lägre än marknivån

Skärningens kant 1 m över
banvallen, 4 m från spårets
mitt. Jord eller motsvarande
mjuk yta mot tåget.

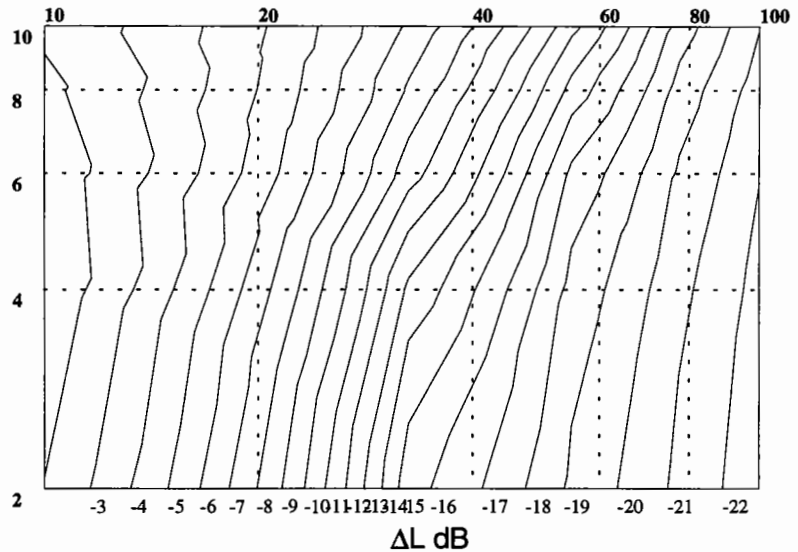
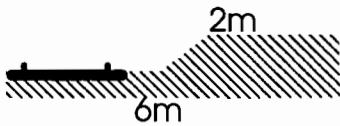


Höjd över marknivå. Avstånd från spårets mittlinje (m):-



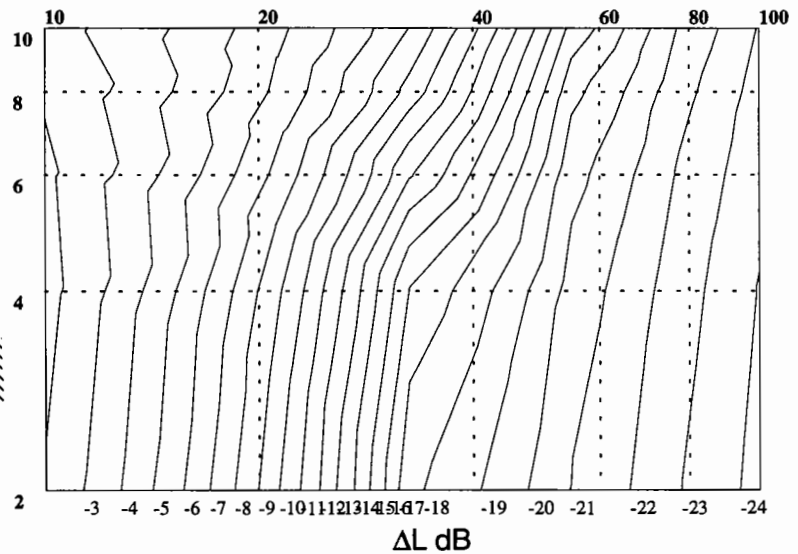
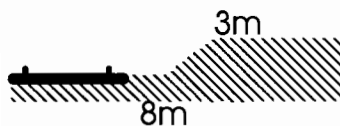
11. Mjuk skärning.
Banvall
lägre än marknivån

Skärningens kant 2 m över
banvall, 6 m från spårets
mitt. Jord eller motsvarande
mjuk yta mot tåget.



12. Mjuk skärning.
Banvall
under marknivån

Skärningens kant 3 m över
Banvall, 8 m från spårets
mitt. Jord eller motsvarande
mjuk yta mot tåget.



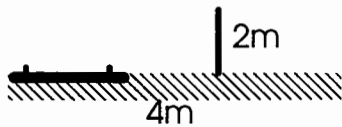
MJUK 13 - 15

NORMALT, BALLASTAT SPÅR, AKUSTISKT MJUK MARK, ELDRIVNA TÅG.

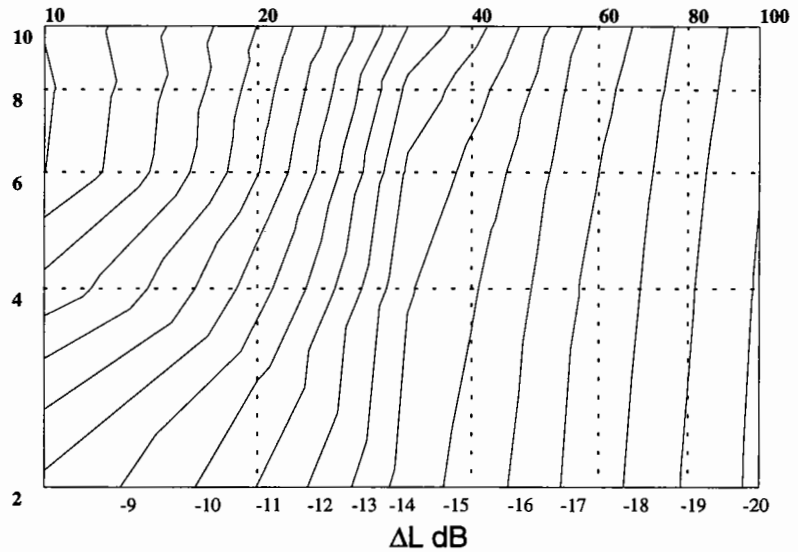
ΔL dB

13. Hård skärm.
Banvall
i nivå med markytan.

Skärm med hård yta mot spåret. Skärmens avstånd från spårets mittlinje = 4 m. Skärmhöjd = 2m över banvallen.

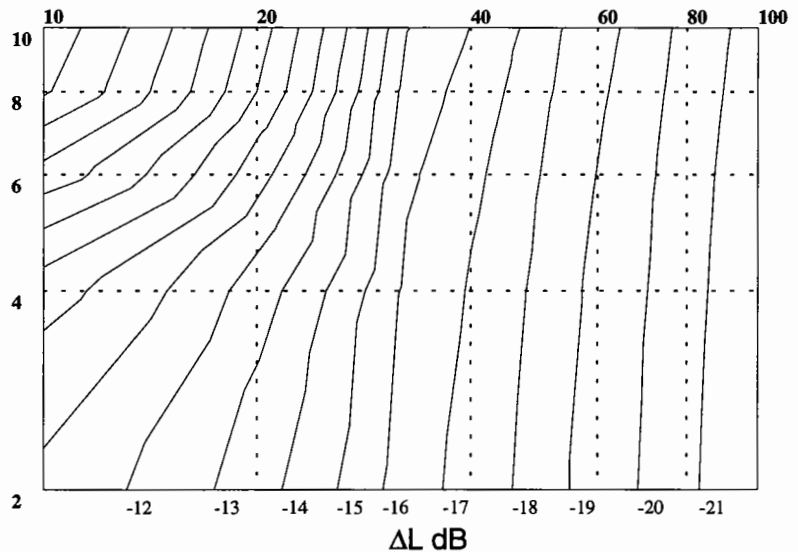
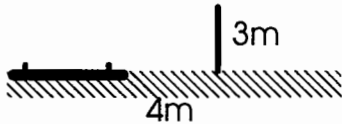


Höjd över marknivå. Avstånd från spårets mittlinje (m):-



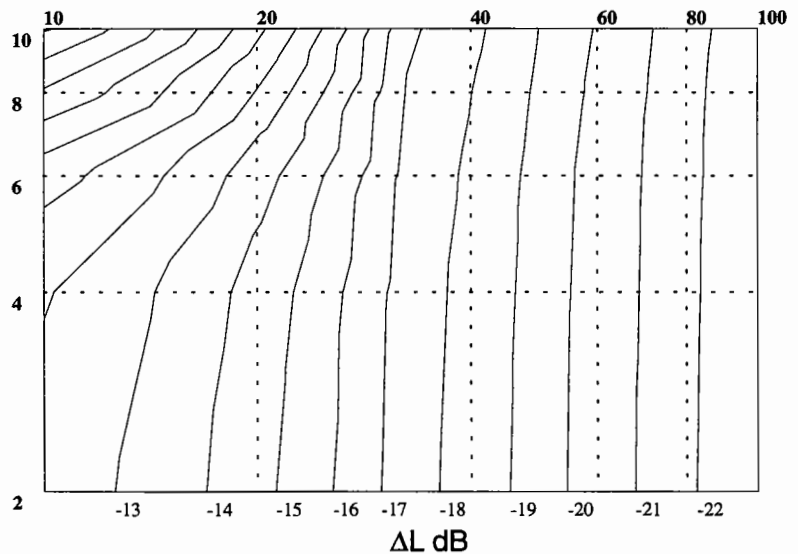
14. Hård skärm.
Banvall
i nivå med markyta

Skärm med hård yta mot spåret. Skärmens avstånd från spårets mittlinje = 4 m. Skärmhöjd = 3m över banvallen.



15. Hård skärm.
Banvall
i nivå med markytan.

Skärm med hård yta mot spåret. Skärmens avstånd från spårets mittlinje = 4 m. Skärmhöjd = 4m över banvall



MJUK 16 - 18

NORMALT, BALLASTAT SPÅR, AKUSTISKT MJUK MARK, ELDRIVNA TÅG.

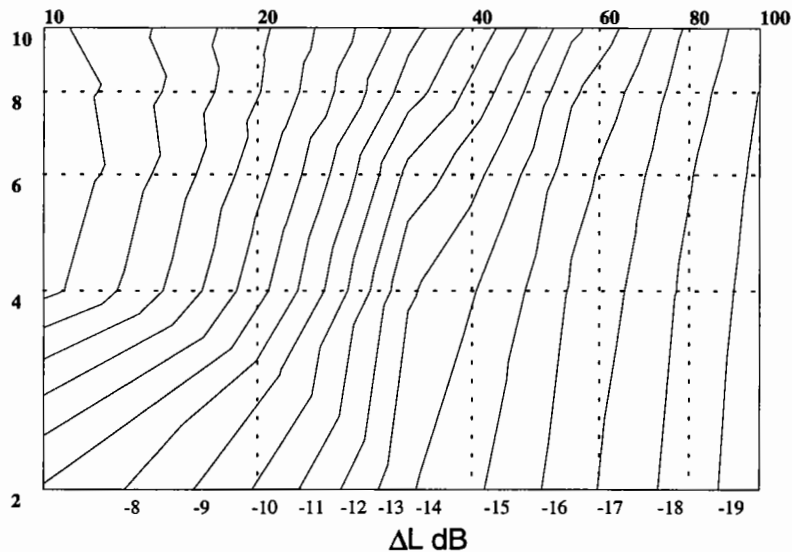
ΔL dB

16. Hård skärm.
Banvall
i nivå med markytan.

Skärm med hård yta mot spåret. Screen Avstånd från spårets mittlinje = 6 m. Skärmhöjd = 2m över Banvallen.

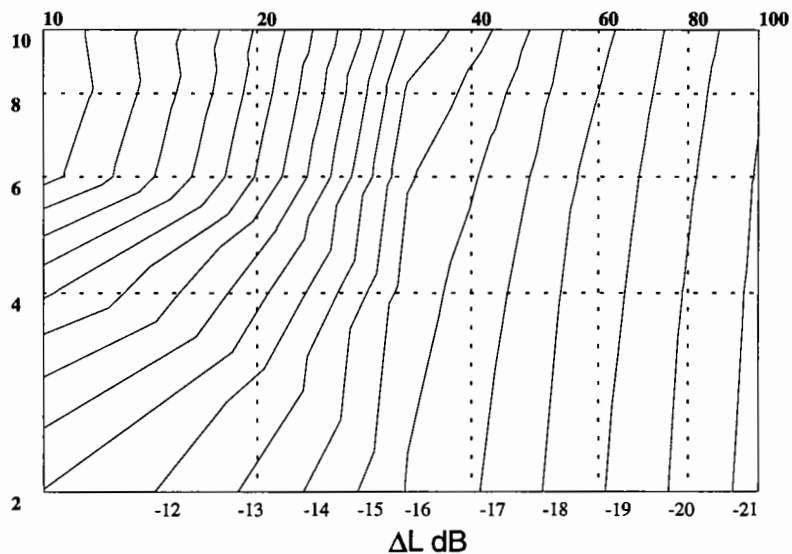
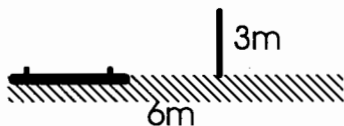


Höjd över marknivå. Avstånd från spårets mittlinje (m):-



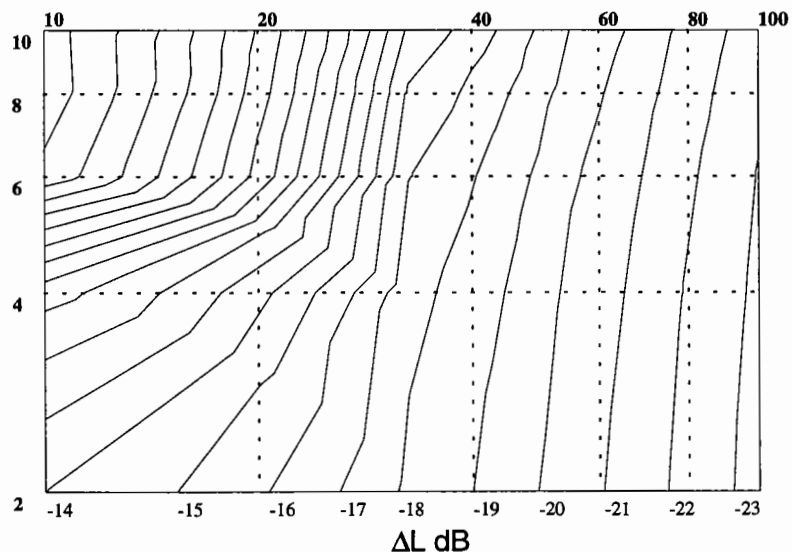
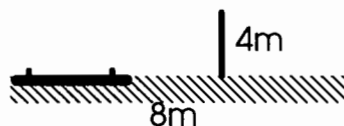
17. Hård skärm.
Banvall
i nivå med markytan.

Skärm med hård yta mot spåret. Skärmavstånd från spårets mittlinje = 6 m. Skärmhöjd = 3 m över Banvallen.



18. Hård skärm.
Banvall
i nivå med markytan.

Skärm med hård yta mot spåret. Skärmavstånd från spårets mittlinje = 8 m. Skärmhöjd = 4 m över Banvallen.

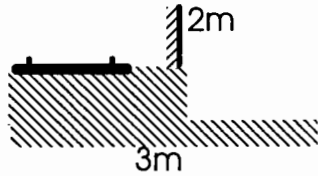


MJUK 19 - 21 NORMALT, BALLASTAT SPÅR, AKUSTISKT MJUK MARK, ELDRIVNA TÅG.

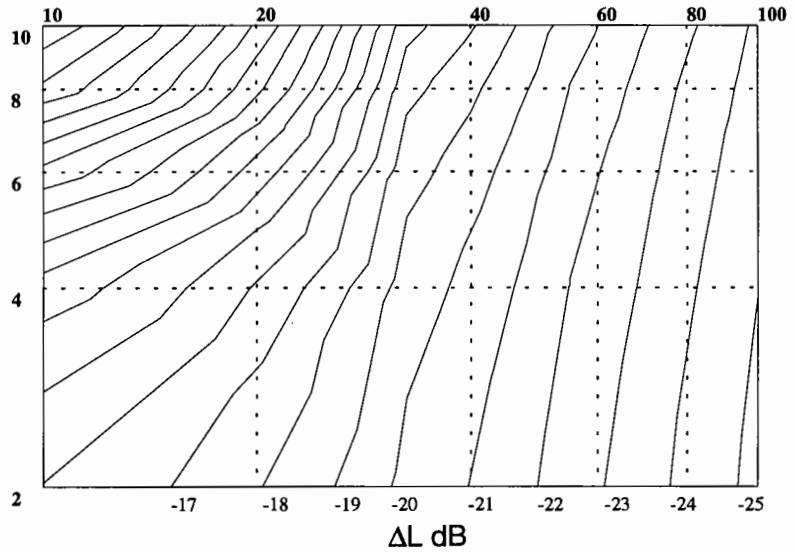
ΔL dB

19. Mjuk skärm.
Banvall
2 m över markytan.

Skärm med ljudabsorberande yta mot spåret placerad på bankens kant 3 m från spårets mittlinje, Skärnhöjd = 2 m över banvallen.

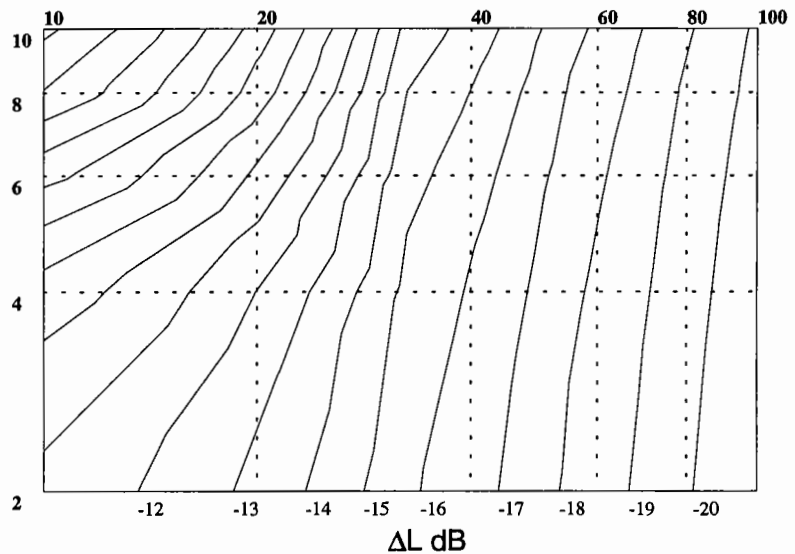
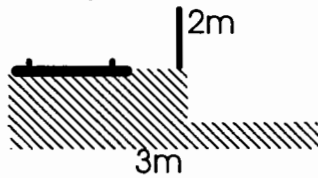


Höjd över marknivå. Avstånd från spårets mittlinje (m):-



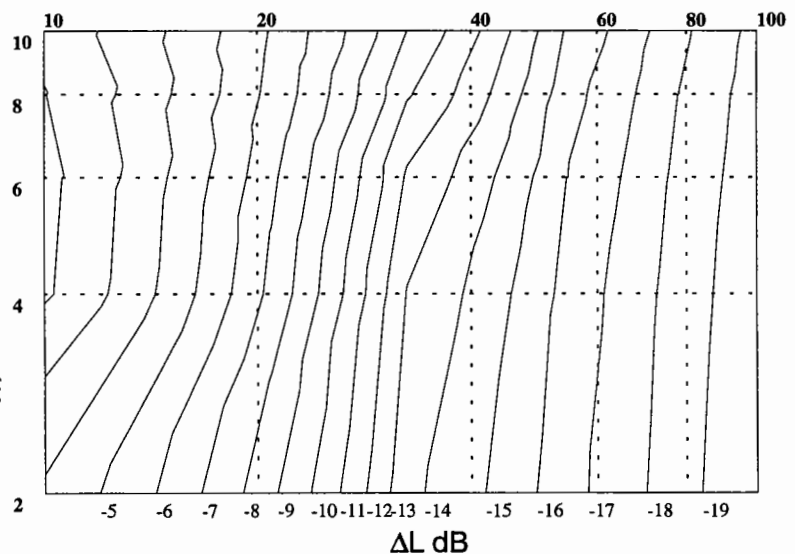
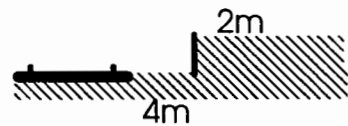
20. Hård skärm.
Banvall
2 m över markytan.

Skärm med hård yta mot spåret placerad på bankens kant 3 m från spårets mittlinje, Skärnhöjd = 2 m över banvallen.



21. Hård skärning.
Banvall
lägre än marknivån

Skärningens kant 2 m över banvallen, 4 m från spårets mitt. Berg eller liknade hård yta mot tåget.



HÅRD 1 - 3

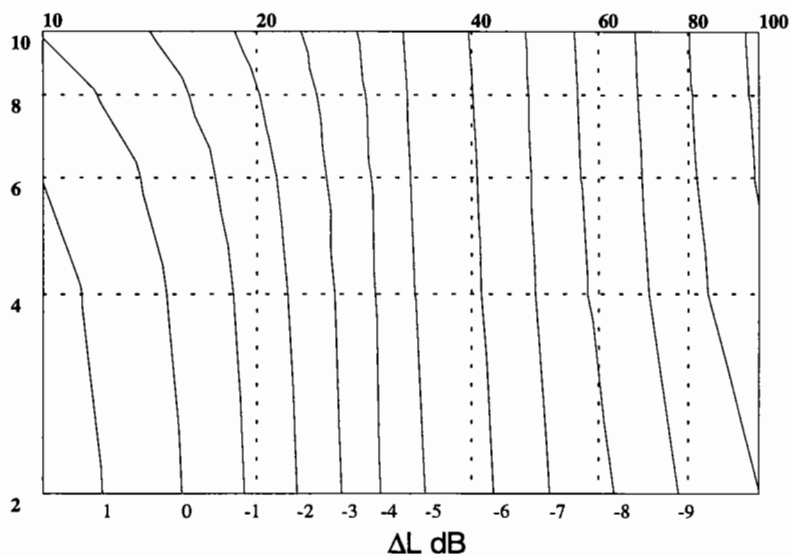
ΔL dB

1. Banvall
i nivå med
hård markyta.



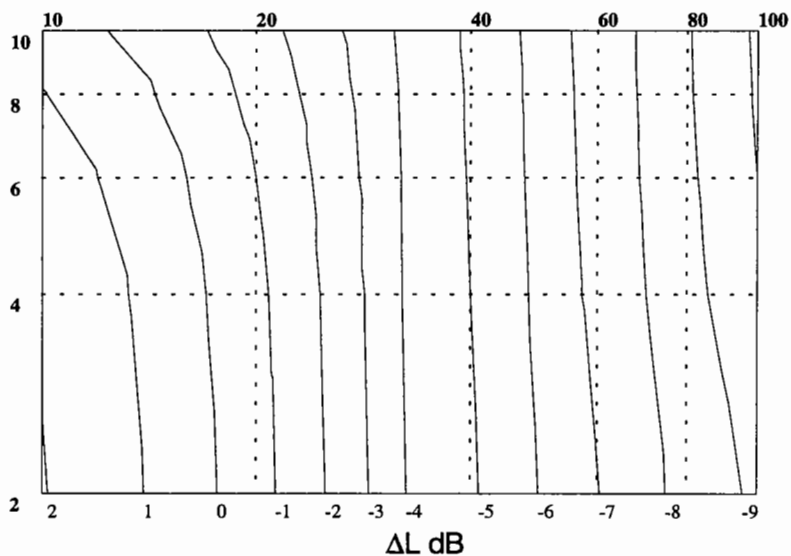
NORMALT, BALLASTAT SPÅR, AKUSTISKT HÅRD MARK,
ELDRIVNA TÅG.

Höjd över marknivån. Avstånd från spårets mittlinje (m):-



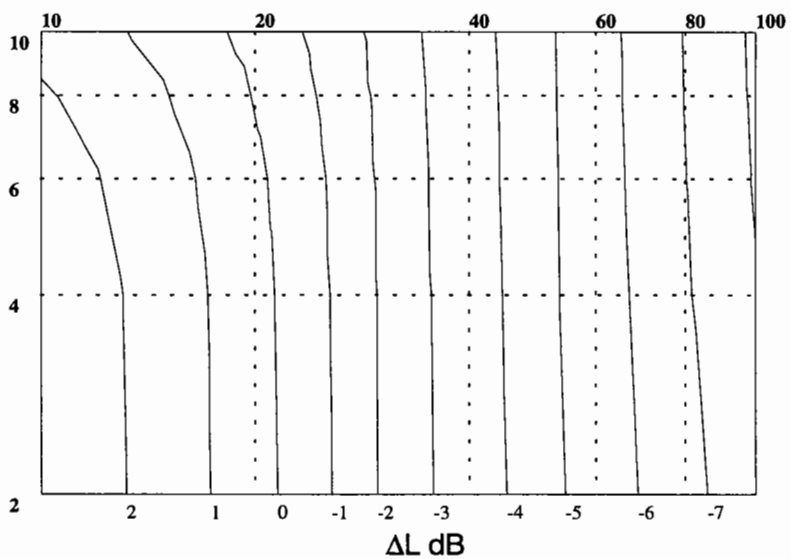
2. Banvall
0,5 m över
hård markyta.

Bankens kant 3 m från
spårets mittlinje, 0,3 m under
banvallens övre yta



3. Banvall
2 m över
hård markyta.

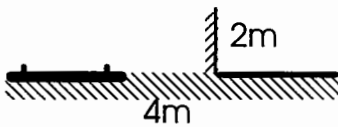
Bankens kant 3 m från
spårets mittlinje, 0,3 m under
banvallens övre yta



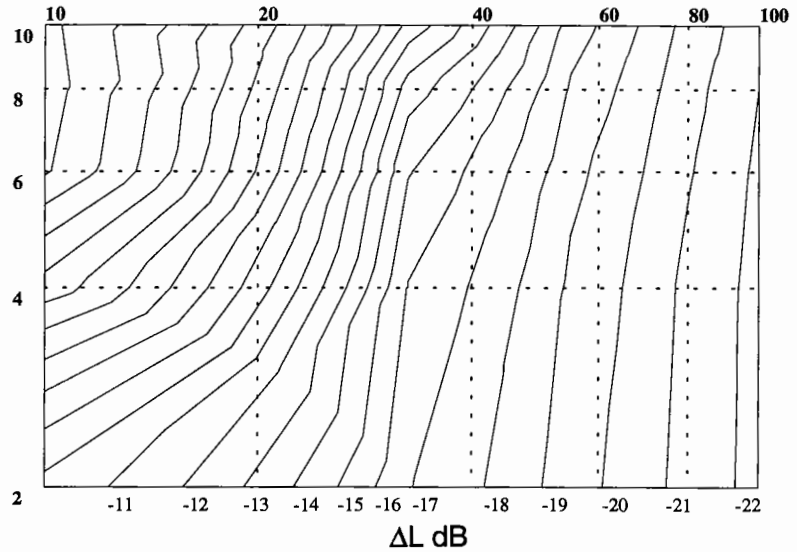
HÅRD 4 - 6 ΔL dB

NORMALT, BALLASTAT SPÅR, AKUSTISKT HÅRD MARK, ELDRIVNA TÅG.

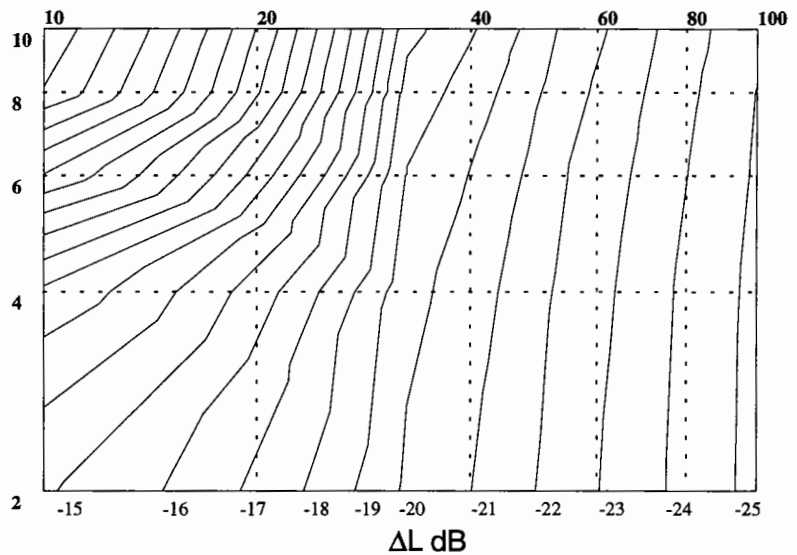
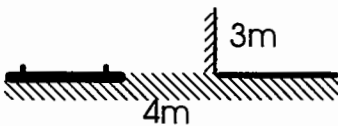
4. Mjuk skärm.

Banvall
i nivå med
hård markyta.Skärm med
ljudabsorberande yta
mot
spåret. Skärmavstånd från
spårets mitt linje = 4 m.
Skärmhöjd = 2 m över
banvallen.

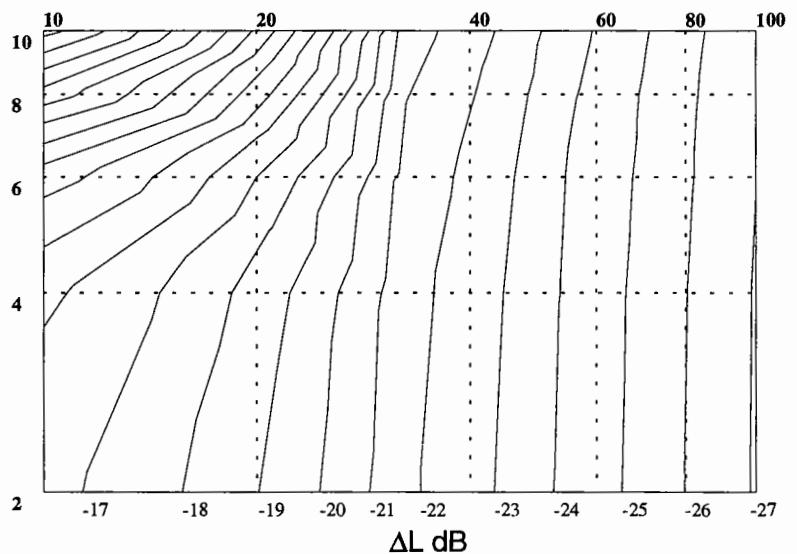
Höjd över marknivån. Avstånd från spårets mittlinje (m):-



5. Mjuk skärm.

Banvall
i nivå med
hård markytaSkärm med
ljudabsorberande yta
mot
spåret. Skärmens avstånd
från spårets mittlinje = 4 m.
Skärmhöjd = 3 m över
banvallen.

6. Mjuk skärm.

Banvall
i nivå med
hård markyta.Skärm med
ljudabsorberande yta
mot
spåret. Skärmens avstånd
från spårets mittlinje = 4 m.
Skärmhöjd = 4 m över
banvallen

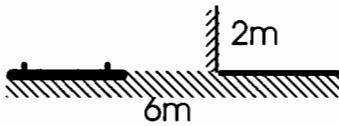
HÅRD 7 - 9 ΔL dB

NORMALT, BALLASTAT SPÅR, AKUSTISKT HÅRD MARK, ELDRIVNA TÅG.

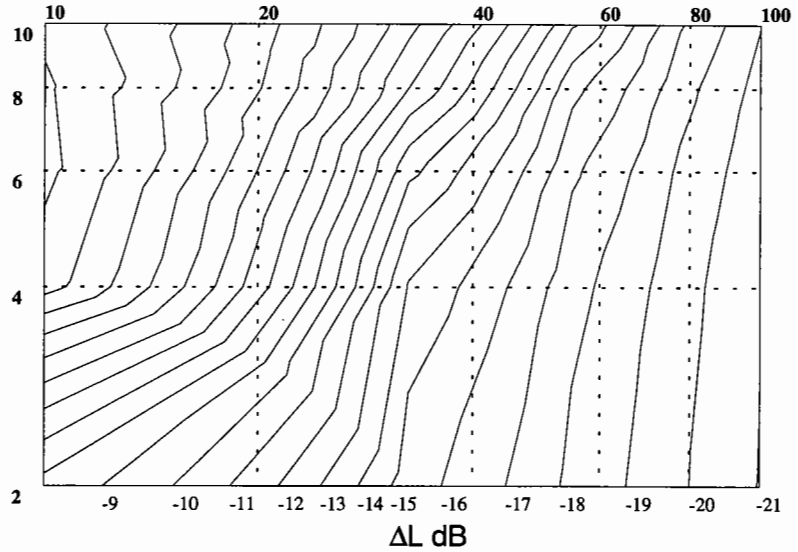
7. Mjuk skärm.

Banvall
i nivå med
hård markyta.

Skärm med
ljudabsorberande yta mot
spåret. Skärmens avstånd
från spårets mittlinje = 6 m.
Skärmhöjd = 2 m över
banvallen.

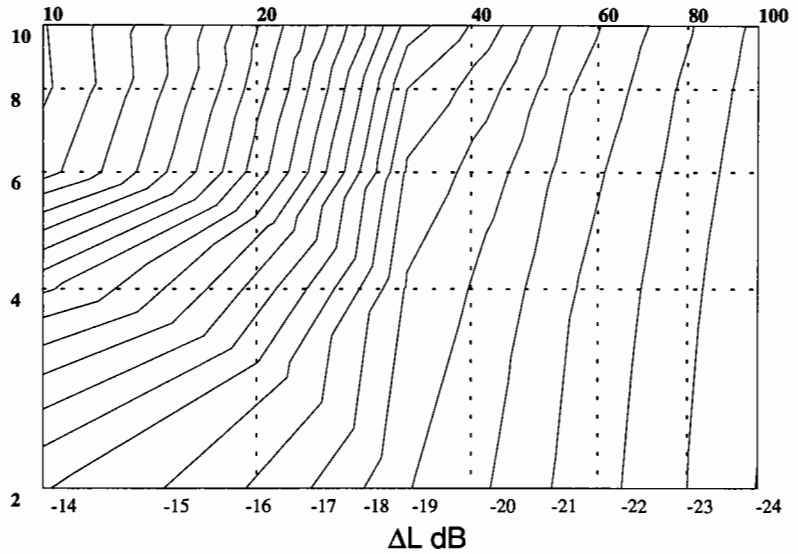
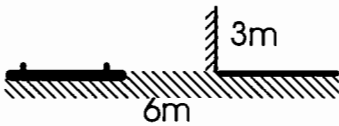


Höjd över marknivån. Avstånd från spårets mittlinje (m):-

**8. Mjuk skärm.**

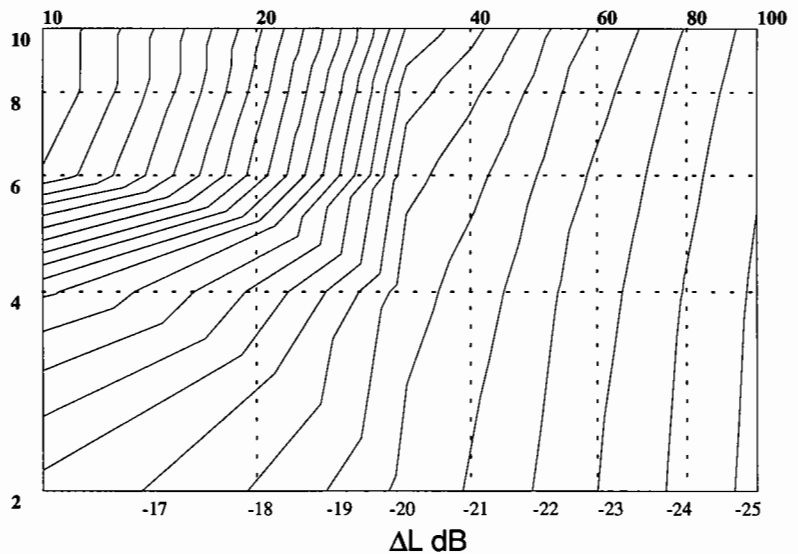
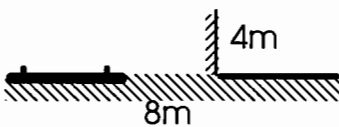
Banvall
i nivå med
hård markyta.

Skärm med
ljudabsorberande yta mot
spåret. Skärmens avstånd
från spårets mittlinje = 6 m.
Skärmhöjd = 3 m över
banvallen.

**9. Mjuk skärm.**

Banvall
i nivå med
hård markyta.

Skärm med
ljudabsorberande yta mot
spåret. Skärmens avstånd
från spårets mittlinje = 8 m.
Skärmhöjd = 4 m över
banvallen.



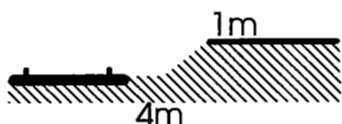
HÅRD 10 - 12

NORMALT, BALLASTAT SPÅR, AKUSTISKT HÅRD MARK, ELDRIVNA TÅG.

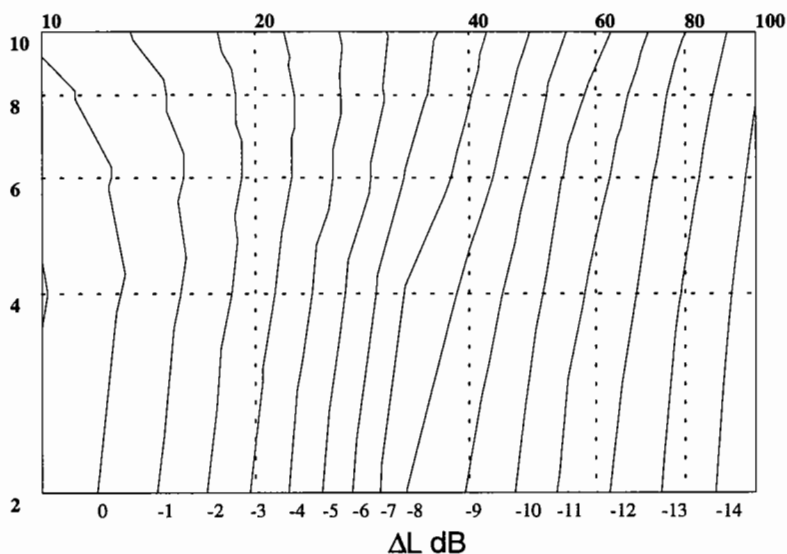
ΔL dB

10. Mjuk skärning.
Ballast
under hård markyta

Skärningens kant 1 m över
banvall, 4 m från spårets
mitt. Jord eller liknande mjuk
yta mot tåget.

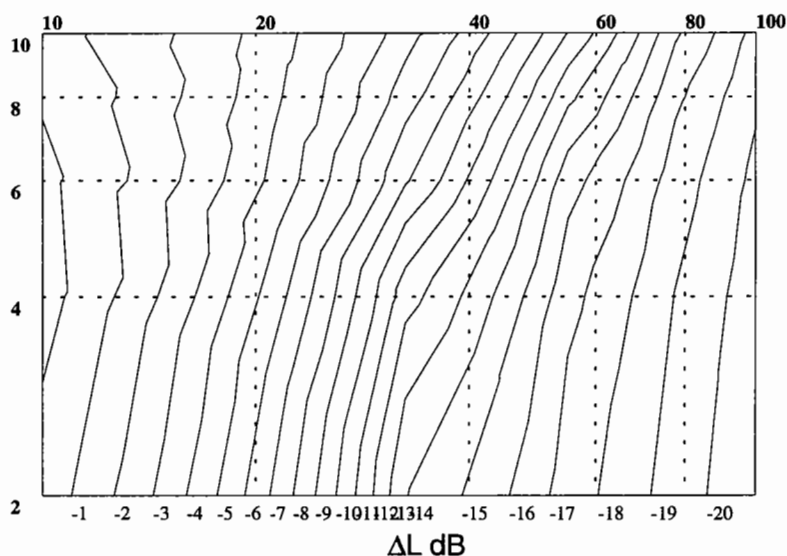
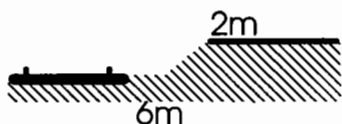


Höjd över marknivån. Avstånd från spårets mittlinje (m):-



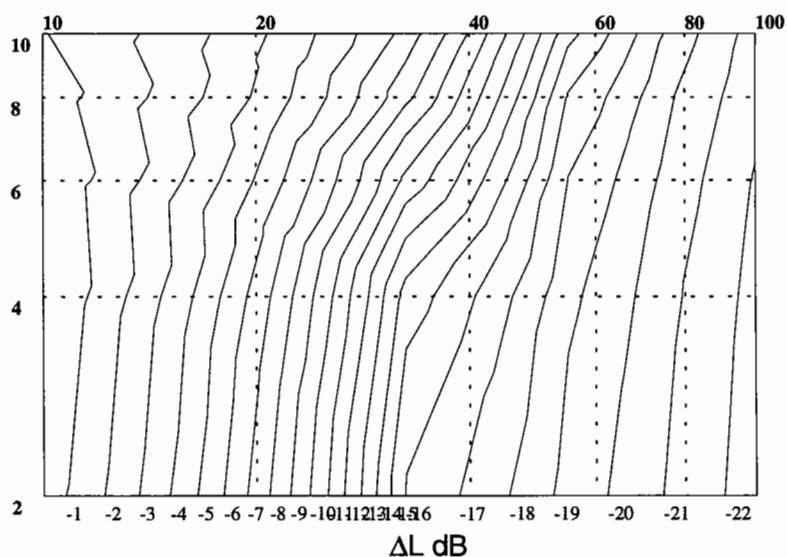
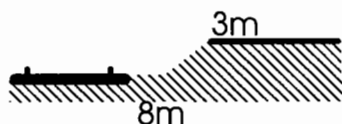
11. Mjuk skärning.
Ballast
under hård markyta

Skärningens kant 2 m över
banvall, 6 m från spårets
mitt. Jord eller liknande mjuk
yta mot tåget.



12. Mjuk skärning.
Ballast
under hård markyta

Skärningens kant 3 m över
banvall, 8 m från spårets
mitt. Jord eller liknande mjuk
yta mot tåget.



HÅRD 13 - 15

NORMALT, BALLASTAT SPÅR, AKUSTISKT HÅRD MARK,
ELDRIVNA TÅG.

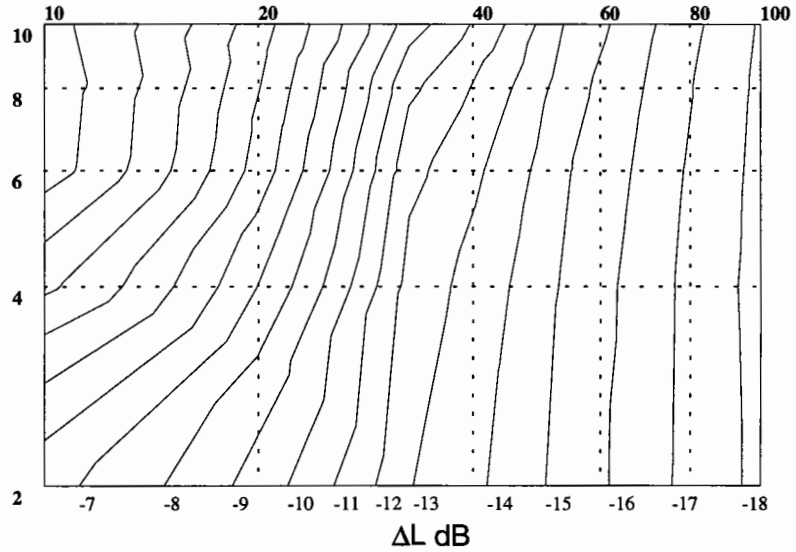
ΔL dB

13. Hård skärm.
Banvall
i nivå med
hård markyta.

Skärm med hård yta mot
spåret. Skärmens avstånd
från spårets mittlinje = 4 m.
Skärmhöjd = 2 m över
banvallen.

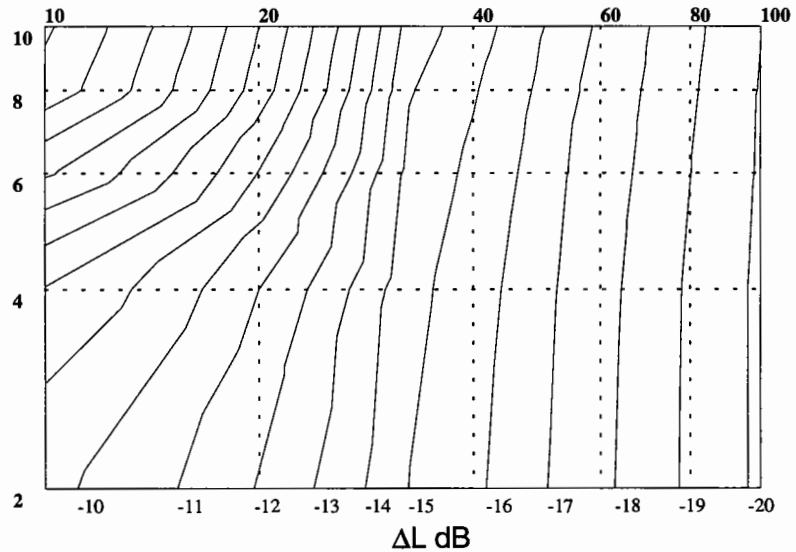


Höjd över marknivån. Avstånd från spårets mittlinje (m):-



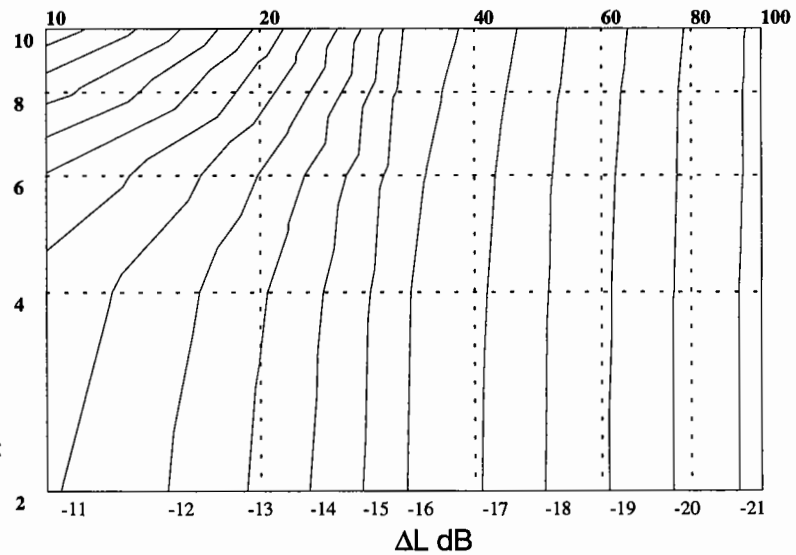
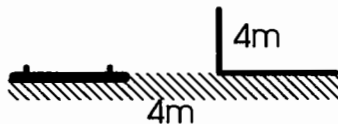
14. Hård skärm.
Banvall
i nivå med
hård markyta

Skärm med hård yta mot
spåret. Skärmens avstånd
från spårets mittlinje = 4 m.
Skärmhöjd = 3 m över
banvallen.



15. Hård skärm.
Banvall
i nivå med
hård markyta.

Skärm med hård yta mot
spåret. Skärmens avstånd
från spårets mittlinje = 4 m.
Skärmhöjd = 4 m över
banvall



HÅRD 16 - 18

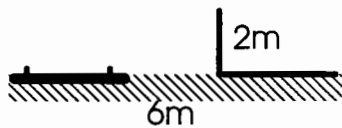
NORMALT, BALLASTAT SPÅR, AKUSTISKT HÅRD MARK,
ELDRIVNA TÅG.

ΔL dB

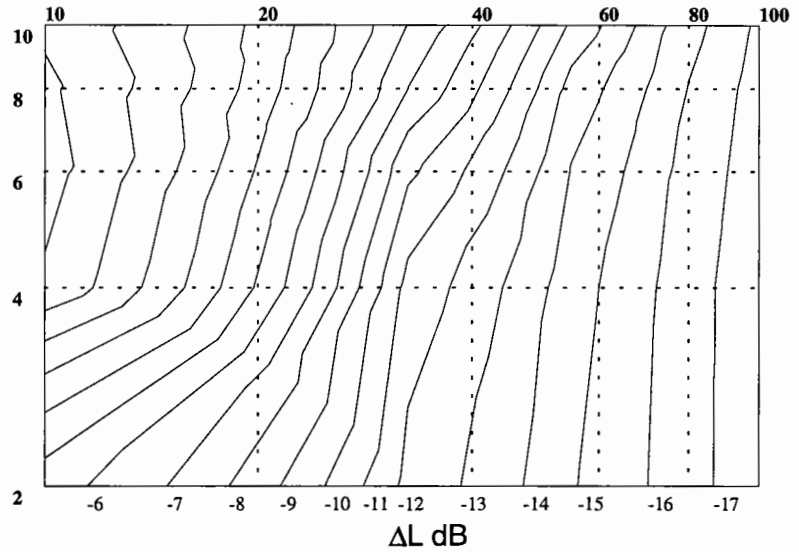
16. Hård skärm.

Banvall
i nivå med
hård markyta.

Skärm med hård yta mot
spåret. Skärmens avstånd
från spårets mittlinje = 6 m.
Skärmhöjd = 2 m över
banvallen.

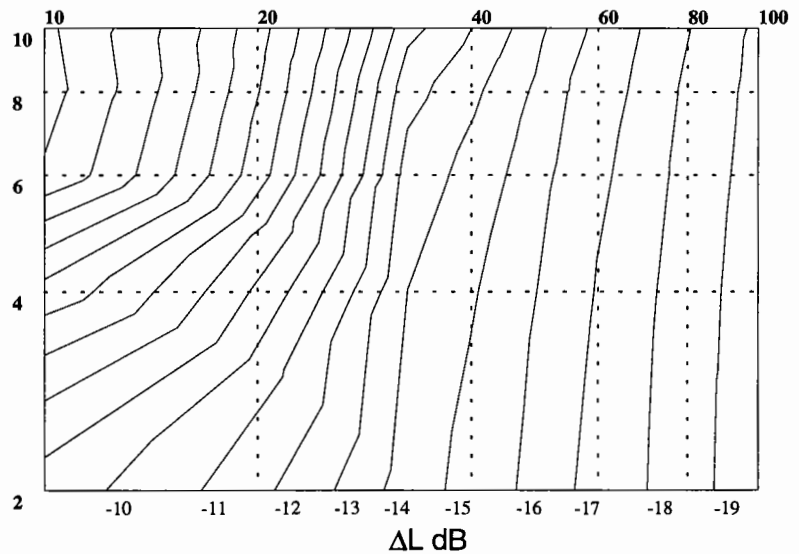
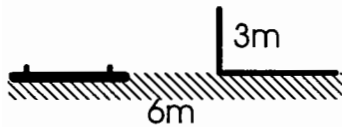


Höjd över marknivån. Avstånd från spårets mittlinje (m):-

**17. Hård skärm.**

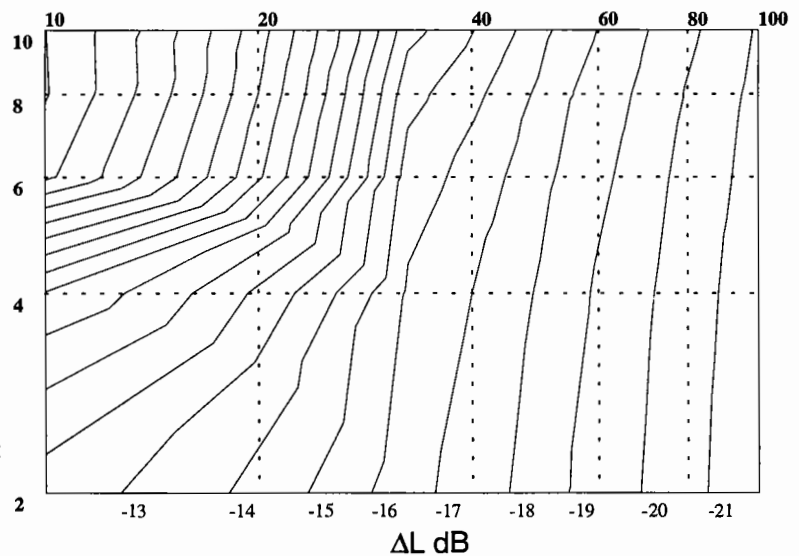
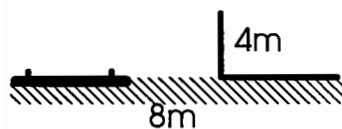
Banvall
i nivå med
hård markyta.

Skärm med hård yta mot
spåret. Skärmavstånd från
spårets mittlinje = 6 m.
Skärmhöjd = 3 m över
banvallen.

**18. Hård skärm.**

Banvall
i nivå med
hård markyta.

Skärm med hård yta mot
spåret. Skärmavstånd från
spårets mittlinje = 8 m.
Skärmhöjd = 4 m över
banvallen.



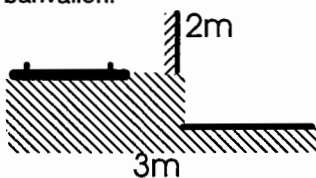
HÅRD 19 - 21

NORMALT, BALLASTAT SPÅR, AKUSTISKT HÅRD MARK, ELDRIVNA TÅG.

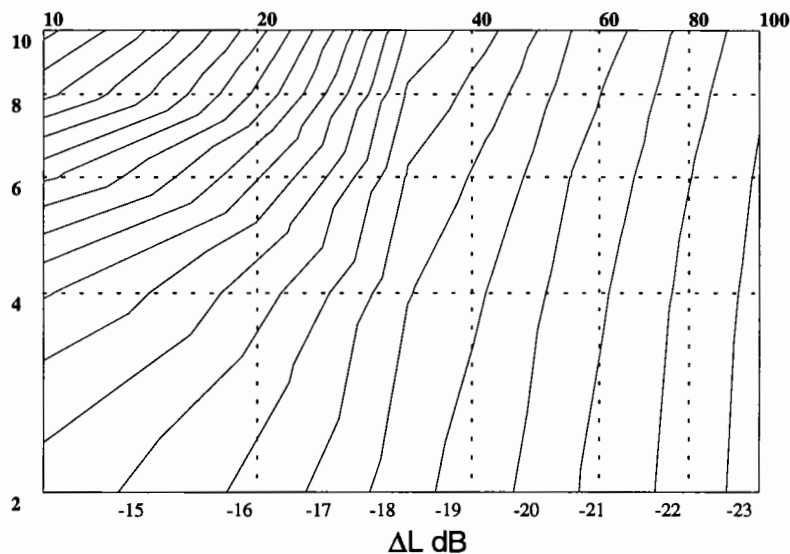
ΔL dB

19. Mjuk skärm.
Banvall 2 m över
hård markyta.

Skärm med
ljudabsorberande yta mot
spåret placerad på bankens
kant 3 m från spårets
mittlinje,
Skärmhöjd = 2 m över
banvallen.

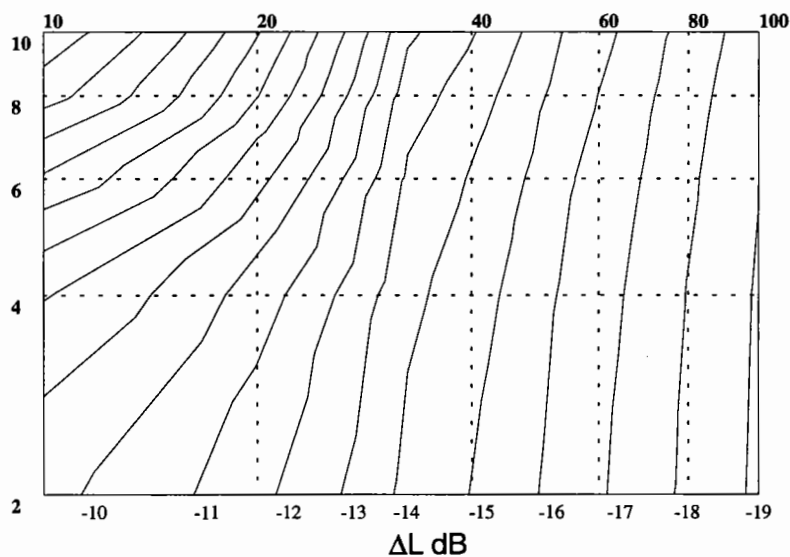
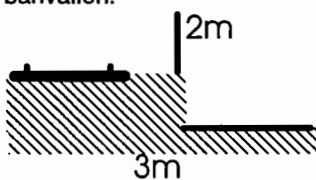


Höjd över marknivån. Avstånd från spårets mittlinje (m):-



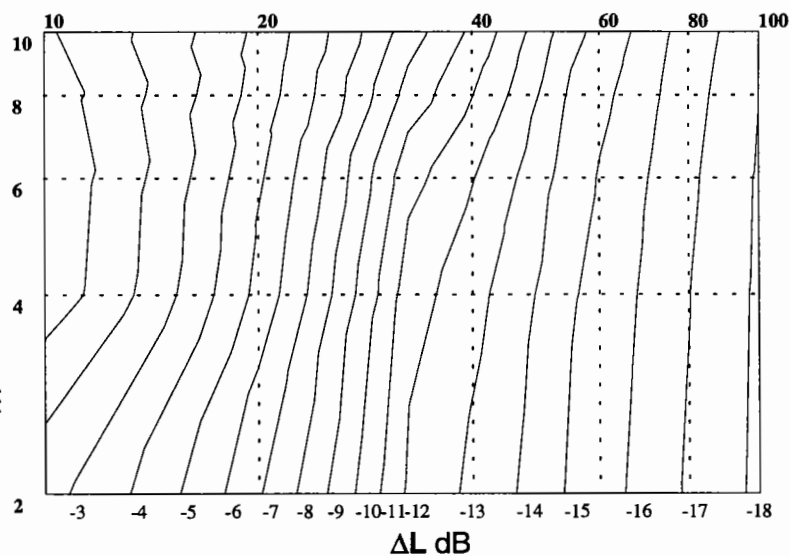
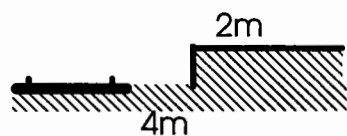
20. Hård skärm.
Banvall 2 m över
hård markyta.

Skärm med hård yta på
sidan mot spåret, placerad
på bankens kant 3 m från
spårets mittlinje,
Skärmhöjd = 2 m över
banvallen.



21. Hård skärning.
Banvall 2 m under
hård markyta

Skärningens kant 2 m över
banvall, 4 m från spårets
mitt. Berg eller motsvarande
hård yta mot tåget..



7 Definitioner och förklaringar.

Parametrar som används inom ett enskilt kapitel beskrivs endast där.

d	Avståndet från källa till mottagare i m.
d_f	Avståndet från mottagaren till en byggnads yttervägg i m.
ΔL	Inverkan av geometri och avstånd, som den används i den manuella metoden, i dB.
ΔL_c	Korrektionen för spårets kondition i dB.
ΔL_α	Korrektionen för betraktningvinkeln, som den används i den manuella metoden, i dB
ΔL_F	Korrektion för ljudreflektion i fasader i dB
ΔL_t	Korrektion för tågtyp, som den används i den manuella metoden, i dB.
G	Markfaktorn. Ett mått på porositeten i markytan. G = 0 används för en akustiskt hård yta, G = 1 för en ljudabsorberande yta.
h_s	Källans höjd mätt från banvallens övre yta i m.
Immissionpunkt	se mottagare
L_{eqT}	Den generella beteckningen för den ekvivalenta (kontinuerliga) ljudtrycksnivån under ett tidsintervall T.
L_{eq24}	Den ekvivalenta (kontinuerliga) ljudtrycksnivån under 24 timmar. * Frekvens vägning eller oktavband har ej specificerats. Defineras i /26/.
L_{Aeq24}	den A-vägda ekvivalenta (kontinuerliga) ljudtrycksnivån under 24 timmar. * ofta används det kortare uttrycket ekvivalentnivån.
L_{max} L_{max F} L_{maxM}	De generella beteckningarna för den maximala ljudtrycksnivån med eller utan de nedan specificerade tidsvägningarna. Frekvensvägning eller oktavband är ej specificerade*.
L_{Amax}	Den maximala A-vägda ljudtrycksnivån, tidsvägningen är ej specificerad*.
L_{AmaxF}	Den maximala A-vägda ljudtrycksnivån med tidsvägning "F" (FAST).*
L_{AmaxM}	Den maximala A-vägda energimedelvärdesbildade ljudtrycksnivån (ungefär detsamma som med tidsvägning "S") för en tågpassage. Tiden för medelvärdesbildningen är densamma som tiden det tar för tåget att passera mätpositionen.*

* I NMT är dessa värden energimedelvärdesbildade. De innehåller slumpmässiga variationer orsakade av

- slumpmässiga atmosfäriska förändringar inom ett "inversions-/medvindsfönster" som föreslås i /23/
- variationer i marknivån ungefär, som de man får ur digitala kartor med 0,5 - 1 m upplösning.
- tidsvariationer hos markens egenskaper, orsakade av väder och årstid (dock inte snö och is).

Alla ljudtrycksnivåer i denna rapport anges i dB rel. 20 μPa

L_w	Den generella beteckningen för ljudeffekten som strålas ut runtom i riktningar nära horisontalplanet. Frekvensvägning eller oktavband har inte specificerats, (dB rel. 1 pW) Två värden används i NMT.
L_{wt}	används för att beteckna den alstrade ljudeffekten i oktavband per meter tåglängd vid beräkning av L_{max} för en given tågtyp och hastighet.
L_{WO}	används för att beteckna den alstrade ljudeffekten i oktavband per meter tåglängd vid beräkning av L_{eq24} för en given trafiksituation.
L_{AW}	Den rundstrålande A-vägda ljudeffekten i närheten av horisontalplanet (dB rel. 1 pW). L_{AWt} och L_{AWo} , kan beräknas ur deras motsvarande oktavband.
L_{ref}	Referensvärde som används i den manuella metoden för den kontinuerliga 24-timmars ekvivalentnivån på ett avstånd av 10 m från spårets mitt, 2 m över plan mjuk mark i dB(A). Banvallens övre yta antas ligga i nivå med omgivande markyta.
L_{Mref}	Referensvärdet för den maximala medelnivån på ett avstånd av 10 m från spårets mitt, 2 m över plan mjuk mark i dB(A). Banvallens övre yta antas ligga i nivå med omgivande markyta.
Ljudnivå	se ljudtrycksnivå
Prognos- eller beräkningspunkt	se mottagare
Mottagare	Den position i vilken man valt att beräkna det mottagna bullret, t.ex. immisionspunkten = prognos- eller beräkningspunkten.
SEL	SEL-värde, bullerdos. Den generella beteckningen för den totala ljudenergin från ett förbipasserande tåg, normaliserad till 1 s integrationstid. Se kapitel 5. Det A-vägda SEL-värdet betecknas ofta L_{AE} i litteraturen.
Ljudexponeringsnivå	se SEL

Ljudeffektnivå	se L_w .
Ljudtrycksnivå	en allmän beteckning för L_{eq24} , L_{max} och varianter. Även uttryck som ljudnivå och den mer subjektiva formen bullernivå är vanligt förekommande.
Skärm	Skärmparametrarna definieras i sektion 4.3.2 och 4.4.2
SEL_n	SEL-värdet normaliserat enligt beskrivning i sektion 5.
Källa	Vid beräkning av L_{eq} , är källan lika med tågtrafiken på den del av spåret, som ger det viktigaste bidraget till ljudnivån i en given mottagarposition. Vid beräkning av L_{max} är källan lika med den position, som ger den högsta ljudnivån. Ett antal punktljudkällor kan användas för att simulera trafik respektive tåg.
Terräng	Markytan från en punkt rakt under källan till en punkt rakt under mottagaren.
l_{24}	Totala längden i meter av en given tågtyp, som passerar under en typisk 24-timmarsperiod.
l_h	Totala längden i meter av en given tågtyp, som passerar under en godtycklig h-timmarsperiod.
v	Hastigheten för en given tågtyp i km/h

8 Referenser

1. M. Ringheim:
Noise from railway traffic. KILDE report 67a, Voss, 1984.
2. J. Kragh:
Environmental noise from industrial plants. General prediction method.
Lydteknisk Laboratorium, Lyngby, Report no.32, 1982.
3. M. Ringheim:
Noise measurements on electrically driven trains.
KILDE Report 148, Voss, 1985.
4. M. Ringheim, F. Eikeland:
Støy fra elektrisk drevne tog, 1993.
KILDE rapport R671, Voss, 1994.
5. C. Göransson, T. Ström:
Externt buller från svenska tågtyper.
Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut.
SP rapport 1994:24, Borås 1994.
6. Anon
Finnish train noise database. VTT Building Technology, Espoo, 1994.
7. H.E.A. Brackenhoff et al.
Handleiding meten en reheners industrielawaai.
ICG Rapp IL-HR-13-01, Holland 1981.
8. Verein Deutscher Ingenieure.
Schallausbreitung im Freien. VDI 2714, Tyskland 1988.
9. International Organization for Standardization.
Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 2.
Draft ISO 9613-2, 1996.
10. M. Ringheim:
Revisjon av Nordisk Reknemetode for jernbanestøy.
KILDE rapport R634, Voss, 1993.

11. M.Ringheim:
Status for arbeidet med revisjon av Nordisk Reknemetode for
Jernbanestøy,
KILDE notat N476, Voss, 1994.
12. M.Ringheim:
Background material for the Nordic rail traffic noise prediction method.
KILDE report 130, Dec. 1984.
13. C.Göransson:
Buller från spårbunden trafik - förslag til mätmetod.
Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Akustik,
rapport 1995:40, Borås 1995.
14. M.Ringheim:
Måling av direktivitet frå elektrisk drevne tog.
KILDE rapport R323, Voss, 1989.
15. M.Ringheim:
Noise emission from electric trains. Directivity effects.
Internoise -88, p.1371-1373, Avignon 1988.
16. M.Ringheim:
Direktivitet i lydavstråling frå tog.
KILDE rapport R236, Voss, 1987.
17. Jørgen Kragh:
Noise from industrial plants. Measurements and predictions.
Nordforsk Miljøvårdsserien. Publikation 1984:1, Stockholm 1984.
18. Statens Naturvårdsverk:
Metod för immissionsmätning av externt industribuller, Stockholm 1982.
19. J.T.Christensen:
Hjul - skinnestøjprosjektet. "Runde hjul og glatte skinner",
DSB Måleteknik rapport nr. MO38/92, København 1992.
20. Savoir course:
Noise and vibration from rail transport systems,
Lecture notes, Beekbergen, 1992.

21. S.J.Franke, G.W.Swenson:
A brief tutorial on the fast field program (FFP) as applied to sound propagation in air. Applied Acoustics 27, 203-215, 1989.
22. H.G.Jonasson:
How to expand the meteorological window for noise immission measurements.
Nordtest workshop, Borås, 1988.
23. J.Kragh et al:
Ny meteorologisk ramme for måling af extern støj fra virksomheder, Lydteknisk Inst., rapport nr. 148, Lyngby 1990.
24. M. Ringheim
Prediction methods for shooting noise and explosions
KILDE notat N562, Voss 1995.
25. J. Jakobsen, E. Falch
Noise from shooting ranges. Revision of the Joint Nordic Prediction method.
NORDTEST project 1151-94, AV412/95,
DELTA og KILDE Akustikk a/s, 1995.
26. ISO
Acoustics - Description and measurement of environmental noise -
ISO 1996/1
Basic quantities and procedures, The international Organisation for Standardization, 1982.
27. C. Göransson
Mätning av maximala bullernivåer från tåg, med tidsvägning F og S.
Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Akustik,
delrapport 94F36057, Borås 1994.
28. J. Kragh, O. Carlsen
Støj fra accelerende tog.
Lydteknisk Laboratorium, rapport LL1260/82, Lyngby 1982
29. M. Ringheim
Sammenfatting av støydata (SEL) for norske tog med elektrisk drift
KILDE N459 and unpublished background material, Voss 1994
30. M. Ringheim
Jernbanestøy. Dokumentasjon av togstøydata for Nordisk reknemetode for jernbanestøy. KILDE notat N383, Voss 1993.

31. U.J. Kurze
Abschirmung an Bahnanlagen.
Acustica vol.45, 304 - 315, 1980
32. J.J.A. van Leeuwen
Investigation of noise prediction models of acoustic barriers along
railway lines.
DGMR report R.93.165.A, The Hague, 1994.
33. R. Eurasto
The Finnish train data for the Nordic prediction method for train noise.
VTT document dated 9. Sept. 1996.

Appendix A.

Ytterligare kommentarer till några av kapitlen i den nordiska beräkningsmodellen för tågbuller (NMT)

Tankarna bakom ljudutbredningsmetoden. (Kapitel 3.2)

Arbetet med att skapa praktiska beräkningsmetoder för ljudutbredning utomhus är en övning i "realistisk problemlösningsföretag för att minska beräkningsinsatsen samtidigt som man beaktar de viktigaste atmosfäriska och markeffekterna" /21/.

Att göra de tredimensionella beräkningarna fordrar avsevärd datorkraft till och med i de få fall när markens egenskaper är kända i detalj och atmosfären är stabil och förutsägbar.

Det finns flera olika beräkningsmodeller tillgängliga, och många individuella metoder inom varje typ, /24/. för att välja vilka förenklingar, som kan accepteras, när man utvecklar en beräkningsmetod är det viktigt att man har en klar uppfattning om

- avsikten med den önskade prognosen
- vem skall använda den
- acceptabla och nödvändiga förenklingar

Syftet med den här behandlade tågbullermodellen är att förutsäga bullernivåer, som är användbara för samhällsplanering, uppskattning av bullerstörningar och bullerbekämpning. Det förutsätts att de som använder NMT i första hand är personer med teknisk bakgrund och att dessa har nödiga kunskaper i akustik. En förenklad, manuell beräkning har utvecklats för användare med mindre kunskaper i akustik (kapitel 6).

Rådande kunskaper om samhällsbuller avgör vilka enheter som skall användas för att beskriva bullret, och kommer även kommer att påverka de acceptabla graden av förenkling. För närvarande och inom den närmaste framtiden kommer A-vägd ljudtrycksnivå och oktavbandsnivåer vara acceptabla.

Frekvensområdet 300 - 3000 Hz är viktigt för alla tågtyper. Detta innebär att terräng, byggnader och detaljer i vegetationen med mått på 1 - 0,1 m påverkar järnvägsbullrets utbredning. Framför allt betyder det att markytan nästan alltid måste betraktas som ojämn och icke homogen.

Det är också uppenbart att det medium (luft), i vilket ljudutbredningen sker, inte är homogent och stabilt och att markens och vegetationens reflekterande, spridande och böjande egenskaper varierar med tiden. Givetvis genereras inte heller ljudet av punktkällor.

Ett sätt att hantera detta uppenbara kaos är att använda sig av energimedelvärden för bullernivån, som innefattar de slumpmässiga variationer som orsakats av

- atmosfäriska tidsvariationer (inom väldefinierade meteorologiska ramar)
- variationer i marknivån (t.ex. inom 0,5 - 1m, motsvarande upplösningen hos digitala kartor)
- tidsvariationer i markytans akustiska egenskaper beroende på väder och årstid (inverkan av snö- och is-täckt mark ingår inte i NMT)

Detta motsvarar i det stora hela tankarna bakom ljudutbredningsmodellen i /2/, som ger resultat motsvarande en meteorologisk inversions-/medvindssituation, t.ex. som den definieras i /22,23/. Idéerna gäller för såväl bestämning av L_{eqT} som L_{max} . Andra faktorer som var avgörande vid valet av algoritmerna i /2/ som bas för NMT var :

- Åtskilliga andra beräkningsmetoder i Skandinavien använder denna bas. Ett viktigt undantag är vägtrafikbullermodellen som utvecklades innan /2/ fanns tillgänglig.
- I Holland och Tyskland används i grunden samma metod och den är föreslagen till ISO metod, /7,8,9/
- Tankarna bakom /2/ är fortfarande högaktuella och kan vidareutvecklas allteftersom nya kunskaper blir tillgängliga.

Man kunde i stället ha valt att som alternativ sätta de meteorologiska ramarna runt en "neutral" atmosfär (t.ex. vindstill och ingen temperaturgradient). Detta hade krävt definitioner på vad som menas med med- och motvindsförhållanden. Idén med en neutral atmosfär hade kanske förenklat skapandet av beräkningsmetoden men förefaller inte att kunna ge resultat, som är mer relevanta än /2/, för planeringsändamål. En nackdel med att välja en metod baserad på en approximativt neutral atmosfär är de problem, som uppstår när den skall verifieras i fält och vid kontrollmätningar.

Ekvivalentnivån för andra tider än 24 timmar (Kapitel 4.2.1)

Om man behöver ekvivalentnivån för h timmar med trafikvolymen l_h meter, kan detta erhållas helt enkelt genom att räkna om trafikvolymen till en volym motsvarande 24 timmar ($l_{24} = l_h \times (24/h)$).

Det beräknade värdet l_{24} används för att finna L_{w0} -värdet för h -timmarsperioden, och på så sätt kan man finna ljudnivån för den önskade perioden. (ekv. 5 i kapitel 4.3). Korrektionen i kapitel 4.3 påverkas inte av valet av tidsperiod.

Ojämn terräng (Kapitel 4.4.1).

Källhöjderna som används i modellen finns beskrivna i figur 3. Vilken av de verkliga källorna, som dominerar ljudutstrålningen i respektive oktavband, är inte helt utrett, och det är därför viktigt att undvika de fallgropar, som uppstår, då man använder en enda källhöjd, när ljudkällan i verkligheten är utbredd mellan slipers och pantograf. Måtten på h_s och h_i ingår i beräkningarna för frekvenserna 125 - 1000 Hz, men oktavbanden 125 och 250 Hz är av liten betydelse för spårbunden trafik. Vid 500 och 1000 Hz antar h_s värdena 0,5 resp 0,6 m och värdena på d_s blir 18 och 19 m, när ballastens översida ligger i jämnhöjd med omgivande marken och för källhöjder enligt figur 3 (rälens överkant 0,2 m över ballastytan). Det vanligaste fallet att ballastytan inte ligger i nivå med den omgivande marken kan ses som exempel på det allmänna fallet med ojämn mark, 4.4.1.

Detta leder till två möjliga lösningar på problemet att definiera d_s och d_i :-

- Den formella definitionen av en medelhöjd för markytan. Detta måste ske genom iteration, eftersom denna höjd påverkar källhöjden och därmed markytans utsträckning, vilket i sin tur påverkar markytans höjd och typ.
- Definitionen av ett fastställt värde på d_s och/eller d_i
- Ett "manuellt" val av en passande marknivå för d_s och/eller d_i .

Metod b) har valts för källan och c) för mottagaren för att förenkla beräkningarna.

Markfaktorn $G = 1$ kan användas för den del av källdelen av markytan som utgörs av ballast. Ballastens porositet varierar beroende på grustyp och inblandning av jord e.dyl. Med tanke på att frekvensområdet 300 - 300 Hz alltid är viktigt är det att rekommendera att använda $G = 1$ både vid omräkning av mätta data till ljudeffektnivåer och vid beräkning av ljudnivåer med hjälp av modellen.

Med hård mark närmast ballasten, (eller om ballasten ersatts med en hård yta), uppskattas ett lämpligt G -värde med hjälp av tabell 2 i kapitel 4.3.4.

Korrektion för spårunderhåll, ΔL_c . (Kapitel 6.1.4).

Dessa värden kan komma att justeras när lämpliga, väl dokumenterade mätresultat blir tillgängliga.



Appendix B.

Tågbullerdata erhållna ur mätningar.

Typ Klass	N-Pass Pass	N-Gods Gods	N-B65 Pass	N-B70 Pass	Alla 4 typerna Pass/Gods	N-B69 Pass	
Drift	EI	EI	EI	EI	EI	EI	
Frekvens (Hz)	b	b	b	b	a	b	a
63	33	36	32	30	10	34	0
125	31	34	32	29	14	33	0
250	35	38	36	33	9	36	-6
500	44	45	44	42	14	43	14
1000	44	42	42	41	28	40	28
2000	41	38	36	36	25	34	25
4000	37	36	27	31	24	29	24

Tabell B1 a. Norska tåg
 Värden på konstanterna *a* och *b* som funktion av tågtyp och frekvens.
Se kapitel 3.4.1 beträffande begränsningar av tåghastighet.

Typ	S-X2		S-Pass		S-Pass/W		S-X10		S-GodsDi		S-Gods	
Klass	Pass		Pass		Pass		Pass		Gods		Gods	
Drift	El		El		El		El		Diesel		El	
Sliper	Betong		Betong		Trä		Betong		Betong		Betong	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Frekvens (Hz)												
63	22	29	8	31	10	30	10	33	-12	36	0	32
125	25	28	0	32	0	31	6	33	-12	39	0	34
250	20	33	0	37	0	40	0	35	-12	41	0	40
500	12	35	-10	40	-5	45	0	37	12	45	5	44
1000	16	36	5	42	20	42	20	37	12	40	5	42
2000	29	33	15	40	35	38	25	35	20	39	5	40
4000	30	27	5	35	35	32	20	28	18	33	5	34

Tabell B1 b. Svenska tåg

Värden på konstanterna a och b som funktion av tågtyp och frekvens.

Se kapitel 3.4.1 beträffande begränsningar av tåghastighet.

Typ	F-Sm		F-Sr1		F-Gods		R-Gods	
Klass	Pass		Pass		Goods		Goods	
Drift	El		El		Huvudsakligen El		Huvudsakligen El	
Slipers	Betong		Betong		Trä		Betong	
	a	b	a	b	a	b	a	b
Frekvens. (Hz)								
63	29	39	24	28	-13	31	-1	37
125	14	30	36	25	3	33	22	44
250	-3	27	9	32	1	39	14	46
500	15	32	36	34	23	45	31	49
1000	26	34	39	35	27	42	30	46
2000	20	33	31	35	17	36	32	45
4000	18	27	24	30	14	33	26	39

*Tabell B1 c. Finska tåg, på spår av god kvalitet.
Värden på konstanterna a och b som funktion av tågtyp och frekvens.
Se kapitel 3.4.1 beträffande begränsningar av tåghastighet.*

F-Sm = Det finska elektriska lokaltåget enhet Sm1 och Sm2, i hastighetsintervallet 60 - 120 km/h.

F-Sr1 = Passagerartåg draget av elloket Sr1, i hastighetsintervallet 100 - 140 km/h.

F-Gods = Godståg med finska vagnar, i hastighetsintervallet 60 - 100 km/h.

R-Gods = Godståg med ryska vagnar, i hastighetsintervallet 60 - 80 km/h.



RAPPORT 4935

Buller från spårburen trafik

Nordisk beräkningsmodell

DENNA RAPPORT ÄR EN SVENSK ÖVERSÄTTNING av rapporten "Railway Traffic Noise - Nordic Prediction Method" som publicerats i Nordiska ministerrådets serie Tema Nord. 1996:524.

Beräkningsmodellen, som är en revidering av den gemensamma nordiska beräkningsmodellen för buller från spårburen trafik som kom 1984, kan användas för beräkning av bullernivåer i närheten av järnvägar och andra typer av spårburna trafiksystem. Viktiga synpunkter på bakgrundsmaterialet och en beskrivning av beräkningsalgoritmer ingår. I praktiken blir det nödvändigt att implementera beräkningsmodellerna i datorprogram.

Rapporten innehåller även en förenklad "manuell beräkningsmodell" som är en direkt ersättning till den gamla nordiska beräkningsmodellen för tågbuller. Denna metod är huvudsakligen avsedd för preliminära bullerberäkningar.

Beräkningsmodellen innehåller ingen bedömning av bullers effekter på människan.



Nordiska Ministerrådet

ISBN 91-620-4935-6
ISSN 0282-7298

NATURVÅRDSVERKET FÖRLAG

