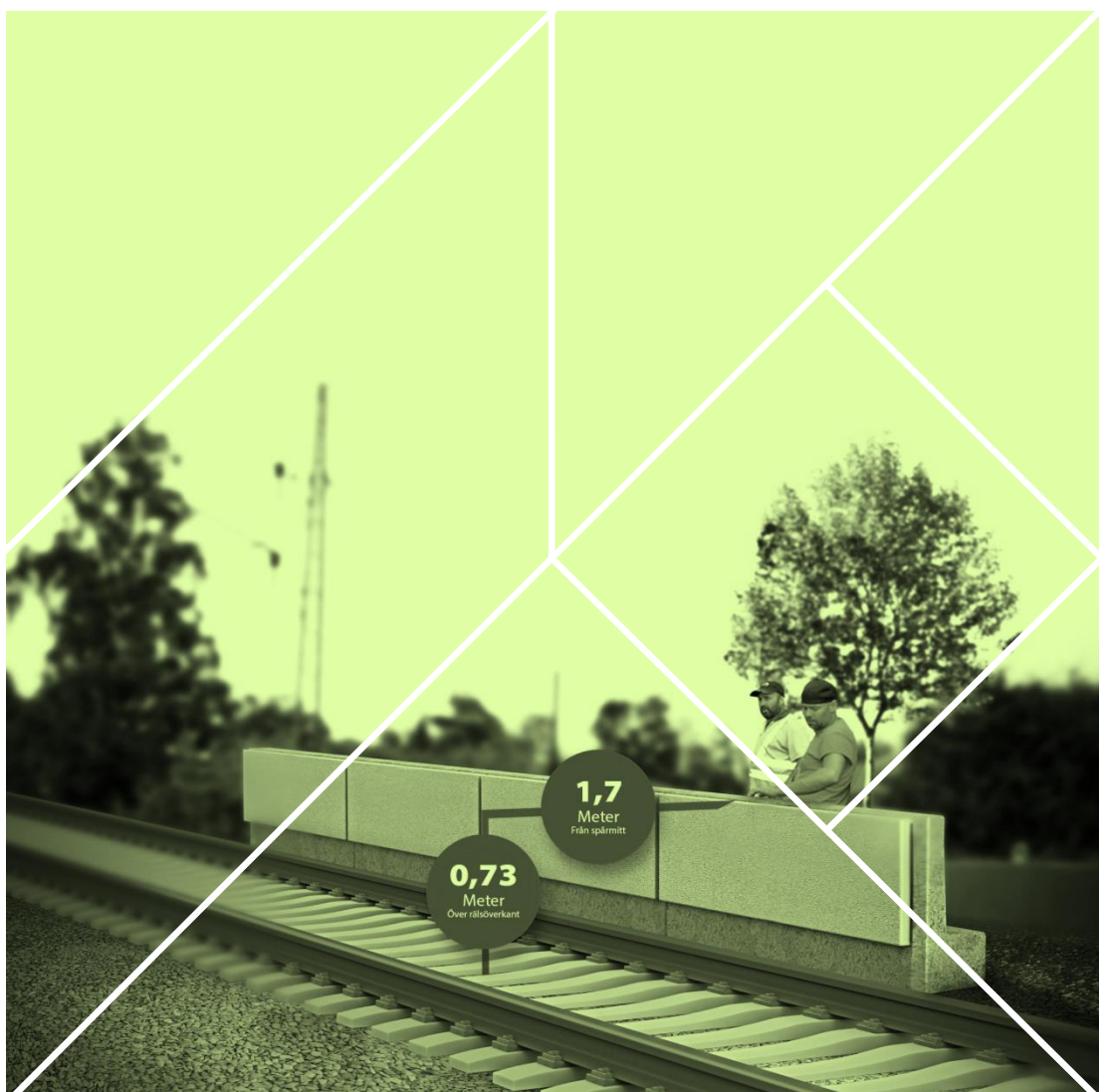


RAPPORT R01 258250

AKUSTISK PRESTANDA S-BLOCK



Uppdrag: 250862, Akustisk utvärdering av S-block

Titel på rapport: RAPPORT R01 258250

Status: Slutrapport

Datum: 2015-08-31

Medverkande

Beställare: Z-bloc Norden AB

Kontaktperson: Nicklas Erlandsson

Konsult: Tyréns AB

Uppdragsansvarig: Gustav Grundfelt

Handläggare: Gustav Grundfelt

Kvalitetsgranskare: Anders Lindgren

Revideringar

Revideringsdatum ÅR-MÅN-DAG

Version: Namn, Företag

Initialer: Namn, Företag

Författare:

Datum: ÅR-MÅN-DAG

Handlingen granskad av:

Datum: ÅR-MÅN-DAG

Tyréns AB
118 86 Stockholm
Besök: Peter Myndes Backe 16

Tel: 010 452 20 00
www.tyrens.se

Säte: Stockholm
Org.Nr: 556194-7986

Sammanfattning

Tyréns akustikavdelning har fått i uppdrag att sammanställa resultat från ljudmätningar gjorda på spårnära skärmar och utifrån dessa ta fram tabeller där ljudreduktionen presenteras för varje tågtyp. Utöver samställningsarbetet av tidigare genomförda mätningar har även nya mätningar inom uppdraget gjorts.

För att kunna räkna på tågbuller utan att vara beroende av kommersiella bullerberäkningsprogram exempelvis SoundPlan har inom projektet en "handräkningsmetod" utvecklats. Denna metod redovisas i slutet av denna rapport.

Innehållsförteckning

1	Uppdragsbeskrivning	5
2	Syfte.....	5
3	Metod.....	5
4	Begränsningar i metoden.....	6
4.1	Kommentarer	6
5	Sammanställning av resultat	7
5.1	Var gäller redovisade värden.....	7
5.2	RCx (S-Pass) [- 5 dBA-enheter].....	7
5.3	X10p Roslagsbanan [- 10 dBA-enheter].....	8
5.4	X2 (SJ 2000) [- 5 dBA-enheter].....	8
5.5	Godståg [- 6 dBA-enheter].....	9
5.6	X40 (Dubbeldäckaren) [- 5 dBA-enheter]	9
5.7	X60 [- 7 dBA-enheter].....	10
5.8	X55 (SJ 3000) [- 6 dBA-enheter].....	10
6	Använda resultatet i SoundPlan	11
6.1	Lägga in källor i SoundPlan	11
7	Handräkningsmetod	13
7.1.1	Ekvivalent ljudnivå.....	13
7.1.2	Maximal ljudnivå.....	14
8	Referenser.....	15
Appendix A – Härledning av formler i kapitel 7		15
Vinkelrelationen.....		15
Ekvivalent ljudnivå från ett oändligt långt spår.....		16
Maximal ljudnivå från ett tåg på ett oändligt långt spår		17
Jämförelse mellan handräkningsmetod och Soundplan		18
Exempel:.....		19

1 Uppdragsbeskrivning

Tyréns akustikavdelning har fått i uppdrag att sammanställa ljudmätningar gjorda på de spårnära låga bullerskyddsskärmar som levereras av Z-bloc Norden AB.



Figur 1. Spårnära skärm monterad för att reducera buller.

Utöver samanställningsarbetet av tidigare genomförda mätningar har även nya mätningar inom uppdraget gjorts.

För att kunna räkna på tågbuller utan att vara beroende av kommersiella bullerberäkningsprogram exempelvis SoundPlan har inom projektet en "handräkningsmetod" utvecklats. Handräkningsmetoden ersätter inte de beräkningar som man gör i SoundPlan, dock kan den användas för att ge en indikation av ekvivalent- och maximal ljudnivå med och utan S-block.

Denna rapport vänder sig främst personer med som jobbar med akustikfrågor vid planering och projektering av järnvägar.

2 Syfte

Syftet med uppdraget är att få fram underlag till akustiker, projektörer m.fl. som i tidigt skede önskar överväga spårnära skärmar som bullerreducerande åtgärd.

3 Metod

Metoden framtagna i detta uppdrag grundar sig på att föreslå korrekationer till de så kallade a - och b -parametrarna som i den samnordiska beräkningsmodellen för spårtrafikbuller [1] används för att beräkna ekvivalent- och maximal ljudnivå. För mer info om a - och b -parametrarna hänvisas till referens [1].

Korrektionerna har tagits fram genom att de icke hastighetsberoende b -parametrarna justeras så att skillnaden i ljudnivå med och utan S-block motsvarar den uppmätta skillnaden i SEL nivå. Ingen studie av S-blockens reduktion som funktion av hastighet har gjorts varför det i detta skede inte föreslås ändringar av de hastighetsberoende a -parametrarna.

Endast ljudmätningar som gjorts enligt ISO 3095 har beaktats.

Värden för S-blockens ljuddämpning i denna rapport skall ses som ungefärliga. För att få ett tillförlitligt värde på reduktionen bör man montera upp en provsträcka av S-bloc och mäta ljudreduktionen på den aktuella spårsträckan. Det är möjligt att erhålla en bättre ljudreduktion än den som presenteras i denna rapport, särskilt om utrymmet mellan S-block och tåg gets mindre.

4 Begräsningar i metoden

Eftersom ett S-block endast har ljuddämpande effekt i en riktning (höger eller vänster om spår) kan man dessvärre inte använda denna metod att räkna på båda sidor om spåret i samma beräkning. Man måste räkna på varje sida för sig och sedan addera ihop resultaten.

I skrivande stund är inte hastighetsberoendet av ljuddämpningen tillräckligt undersökt varför endast b – parametrarna ändras.

4.1 Kommentarer

För spår som endast trafikeras med en tågtyp kan man modellera ett S-blocks ljuddämpande egenskaper genom att räkna fram en "konventionell" akustisk motsvarande bullerskyddsskärm som har samma bullerreducerande egenskaper som ett S-block. Detta har gjorts för Roslagsbanan. Se referens [2]. Denna metod är dock mindre lyckad på spår som trafikeras av flera olika tågtyper. De akustiskt ekvivalenta bullerskyddsskärmarna skulle behöva ha varierande höjd beroende av tågmodell. Detta skulle inte vara praktiskt genomförbart.

Inbromsningsljud och kurvskrik från ett tåg uppstår långt ned på tåget där S-block ger god dämpning. Inga mätdata finns dock tillgängliga i skrivande stund. Man kan dock mistänka att S-blocken borde ha god effekt på sådana typer av ljud, då de uppstår nära rälen där S-blockens ljuddämpande effekt är som bäst.

Vidare är ljudavstålningen från ett tåg starkt beroende av skicket på hjul och räl. Ju sämre/grövre rälerna och hjulen är desto bättre blir den ljuddämpande effekten från ett S-block. Detta skall dock inte misstolkas som att det blir tystare ju grövre rälsytan är, utan att endast att ljudskillnaden med och utan S-block blir större.

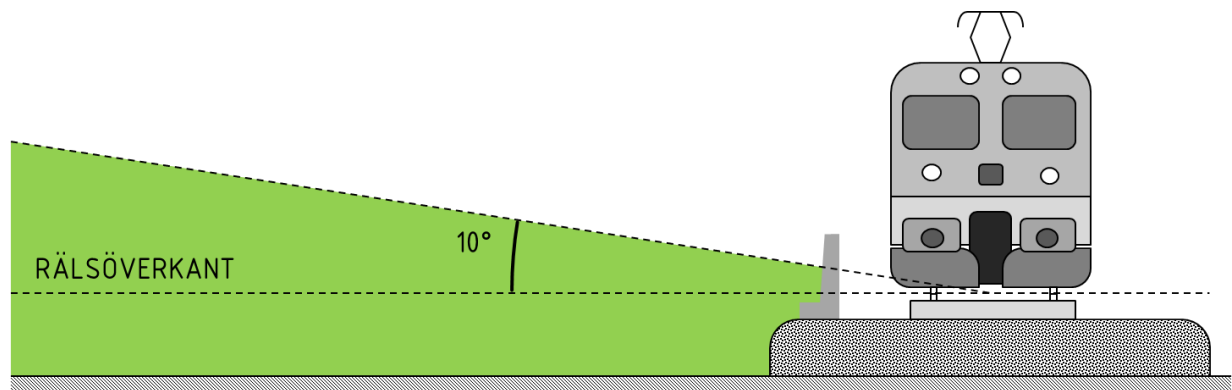
Att modellera upp en spårnära skärm som ett bullerskyddsskärmobjekt i ett bullerberäkningsprogram, som exempelvis CadnaA eller SoundPlan, rekommenderas inte.

5 Sammanställning av resultat

I detta kapitel följer α - och b – parametrar för fallet med och utan S-block. För att räkna fram ljudeffektnivå med hjälp av dessa parametrar hänvisas till [1].

5.1 Var gäller redovisade värden

Redovisade reduktioner gäller inom grönt område som redovisas i Figur 2. Området baserar sig på mätpositionerna i SS_EN-ISO 3095:2013.



Figur 2. Redovisade reduktioner gäller inom grönt område. Området definieras genom att dra en linje med start i spårmitt 10 grader upp från rälsöverkantens horisontallinje vinkelrät mot spåret. Under denna linje gäller redovisad ljuddämpning.

5.2 RCx (S-Pass) [- 5 dBA-enheter]

Rc-lok är den loktyp som är Sveriges vanligaste. Rc-loken drar såväl gods- som personvagnar.

Nedanstående tabell bygger på mätningar genomförda under 2014 av Tyréns AB [3]. Avstånd mellan spårmitt och skärm var vid mättillfället 1,7 meter.

Tabell 1. Parameter för fallet med och utan S-block.

Frekvens	RCx / S-Pass utan S-block		RCx / S-Pass med S-block		Ljuddämpning
oktavband i Hz	a	b	a	b	dB-enheter
63	8	31	8	31	0
125	0	32	0	31	-1
250	0	37	0	36	-1
500	-10	40	-10	34	-6
1000	5	42	5	37	-5
2000	15	40	15	35	-5
4000	5	35	5	27	-8

Ljudreduktionen vid 160 km/h för ekvivalent- och maximal ljudnivå uppskattas till 5 dBA-enheter.

5.3 X10p Roslagsbanan [- 10 dBA-enheter]

X10p är en motorvagn som trafikerar Roslagsbanan i en hastighet av 80 km/h. Roslagsbanan ägs och förvaltas av Trafikförvaltningen i Stockholms Läns Landsting. Endast en tågtyp trafikerar sträckan. Underlagen till nedanstående tabell kommer från flertalet mätningar gjorda av ÅF-Infrastructure AB som presenteras i referens [2].

Tabell 2. Parameter för fallet med och utan S-block. Avser 80 km/h.

Frekvens	X10p utan S-block		X10p med S-block		Ljuddämpning
oktavband i Hz	a	b	a	b	dB-enheter
63	9	24	9	24	-0
125	-6	29	-6	26	-3
250	3	30	3	26	-4
500	11	39	11	31	-8
1000	18	37	18	27	-10
2000	29	37	29	26	-11
4000	30	31	30	20	-11

Ljudreduktionen vid 80 km/h för ekvivalent- och maximal ljudnivå har enligt [2] uppmätts till 10 dBA-enheter. En av anledningarna till denna höga dämpning är att SL har satt den spårnära skärmen närmare spåret än vad Trafikverket har möjlighet att göra.

5.4 X2 (SJ 2000) [- 5 dBA-enheter]

X2 är ett lokdraget elmotorvagnståg¹. Förekommer även under namnet X2000.

Data som nedanstående tabell baseras på är mätningar från [4] vid hastigheten 70 km/h. Ljuddämpningen bedöms bli bättre om mätningarna hade gjorts vid högre hastigheter då rullningsljudet förväntas bli större. Inga mätningar som bekräftade detta fanns i skrivande stund tillgängliga, varför det i väntan på resultat från fler mätningar rekommenderas att följande indata används.

Tabell 3. Parametrar för X2 med och utan S-block. Avser 70-200 km/h

Frekvens	X2 utan S-block		X2 med S-block		Ljuddämpning
oktavband i Hz	a	b	a	b	dB-enheter
63	22	29	22	29	0
125	25	28	25	27	-1
250	20	33	20	30	-3
500	12	35	12	30	-5
1000	16	36	16	31	-5
2000	29	33	29	28	-5
4000	30	27	30	22	-4

Ljudreduktionen vid 200 km/h för ekvivalent- och maximal ljudnivå uppskattas till 5 dBA-enheter. Avstånd mellan spårmitte och skärm var vid mättillfället 1,7 meter.

¹ Ofta används beteckningen X2 syftande på ett helt tågsätt, men när delarna i ett X2-set betraktas var för sig är det endast drivenheten som har littera X2 medan vagnarna har andra littera. Eftersom "loket" innehåller ett resogodsutrymme är det enligt definition en motorvagn.

5.5 Godståg [- 6 dBA-enheter]

Eftersom godstågens sammansättning av vagn typer varierar kan man misstänka att spridningen i ljudnivå från olika tågsätt är stor.

Förslagna parametrar bygger på mätningar från [3]. Avstånd mellan spår mitt och skärm var vid mättillfället 1,7 meter.

Tabell 4. Parametrar för Godståg med och utan S-block. Avser 100 km/h

Frekvens	Godståg utan S-block		Godståg med S-block		Ljuddämpning
oktavband i Hz	a	b	a	b	dB-enheter
63	0	32	0	32	0
125	0	34	0	34	0
250	0	40	0	37	-3
500	5	44	5	37	-7
1000	5	42	5	36	-6
2000	5	40	5	34	-6
4000	5	34	5	26	-8

Ljudreduktionen vid 100 km/h för ekvivalent- och maximal ljudnivå har utifrån mätresultatet skattat till 6 dBA-enheter.

5.6 X40 (Dubbeldäckaren) [- 5 dBA-enheter]

X40 är ett regionaltåg av s.k. motorvagnstyp. Det är ett av de tystaste tågen som trafikerar det svenska järnvägsnätet.

Förslagna parametrar bygger på mätningar från [3]. Tidigare mätningar genomförda 2008 redovisade i [4] på X40 framförd i 70 km/h gav en bättre reduktion än den som redovisas i Tabell 5. Avstånd mellan spår mitt och skärm var vid mättillfället 1,7 meter.

Tabell 5. Parametrar för X40 med och utan S-block. Avser 200 km/h

Frekvens	X40 utan S-block		X40 med S-block		Ljuddämpning
oktavband i Hz	a	b	a	b	dB-enheter
63	25,5	27,4	25,5	27,4	0
125	16,2	26,7	16,2	26,7	0
250	16,3	29,2	16,3	29	0
500	12,9	31,4	12,9	28	-3
1000	20,4	32,4	20,4	26	-6
2000	41,5	22,7	41,5	18	-5
4000	24,0	18,4	24	11	-7

Ljudreduktionen vid 160 km/h för ekvivalent- och maximal ljudnivå uppskattas till 5 dBA-enheter.

5.7 X60 [- 7 dBA-enheter]

X60 är en nyare motorvagn som används i Stockholms pendeltågstrafik.

Reduktionen i Tabell 6 kommer från mätresultat utförda 2014 av Tyréns AB [3].
Avstånd mellan spårmitte och skärm var vid mättillfället 1,7 meter.

Tabell 6. Parametrar för X60 med och utan S-block. Avser 160 km/h

Frekvens	X60 utan S-block		X60 med S-block		Ljuddämpning
Oktavband i Hz	a	b	a	b	dB-enheter
63	21,7	26,6	21,7	27	0
125	17	25,1	17	24	0
250	9,3	26,3	9,3	23	0
500	0	29,6	0	24	-3
1000	19,3	29,7	19,3	24	-6
2000	30,5	27,2	30,5	21	-5
4000	22,1	17,3	22,1	7	-7

Ljudreduktionen vid 160 km/h för ekvivalent- och maximal ljudnivå uppskattas till 7 dBA-enheter.

5.8 X55 (SJ 3000) [- 6 dBA-enheter]

X55 är en motorvagn. Inga mätningar på S-block är gjorda på X55. I väntan på sådana rekommenderas att man använder den reduktion som uppmättes för X40.

Tabell 7. Parametrar för X55 med och utan S-block. Avser 200 km/h

Frekvens	X60 utan S-block		X60 med S-block		Ljuddämpning
Oktavband i Hz	a	b	a	b	dB-enheter
63	16	32,6	16	32,6	0
125	-5,7	34,9	-5,7	35	0
250	11,1	30,9	11,1	31	0
500	5,4	35,1	5,4	32	-3
1000	19,6	36,5	19,6	30	-7
2000	38,5	30,2	38,5	24	-6
4000	30,4	23,6	30,4	18	-6

Ljudreduktionen vid 200 km/h för ekvivalent- och maximal ljudnivå uppskattas till 6 dBA-enheter.

Kommentar: Dessa parameter härstammar från mätningar på X53 som är en föregångare till X55 [5]. Avstånd mellan spårmitte och skärm var vid mättillfället 1,7 meter.

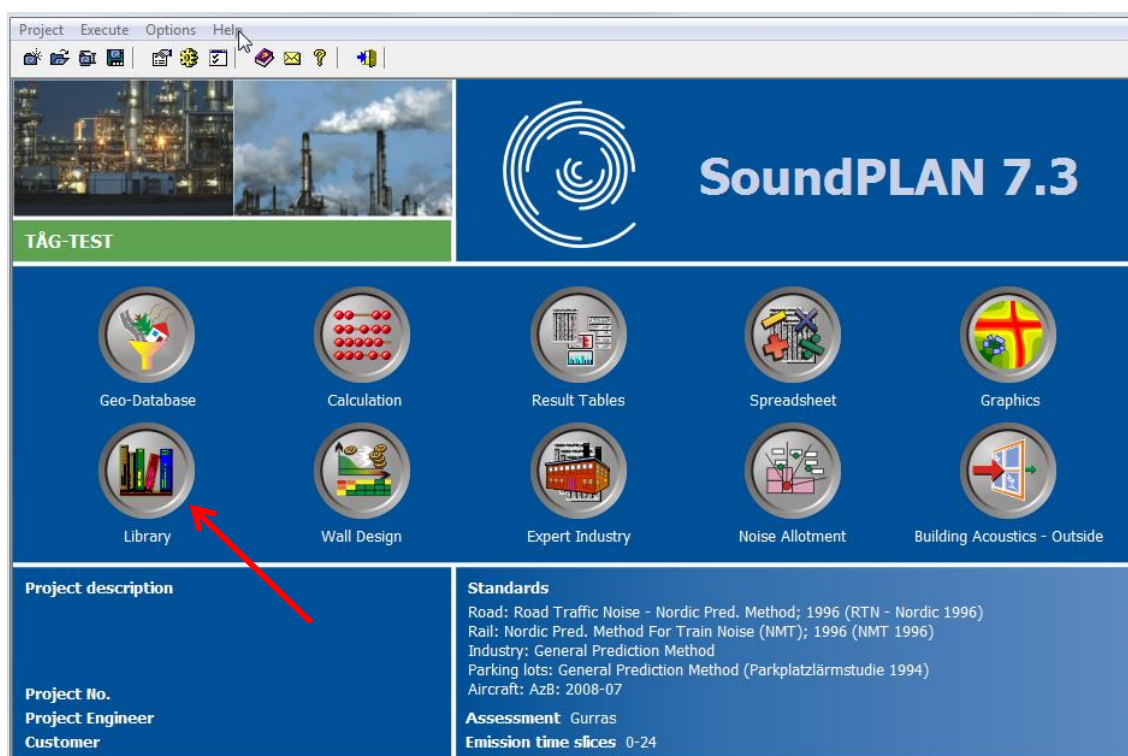
6 Använda resultatet i SoundPlan

Detta kapitel beskriver hur man lägger in källdata i SoundPlan v. 7.3.

I skrivande stund kan men tyvärr inte få SoundPlan att räkna med olika ljudeffekter på varsin sida om spåret. Detta innebär att man i vid beräkning av buller från ett spår måste ha två spårobjekt – ett för var sida om spåret. Sedan får man på lämpligt sätt slå ihop resultatet. Det rekommenderas att man gör en SoundPlan-situation för varsin sida om spåret, såvida man inte ämnar använda S-block på båda sidorna om ett spår.

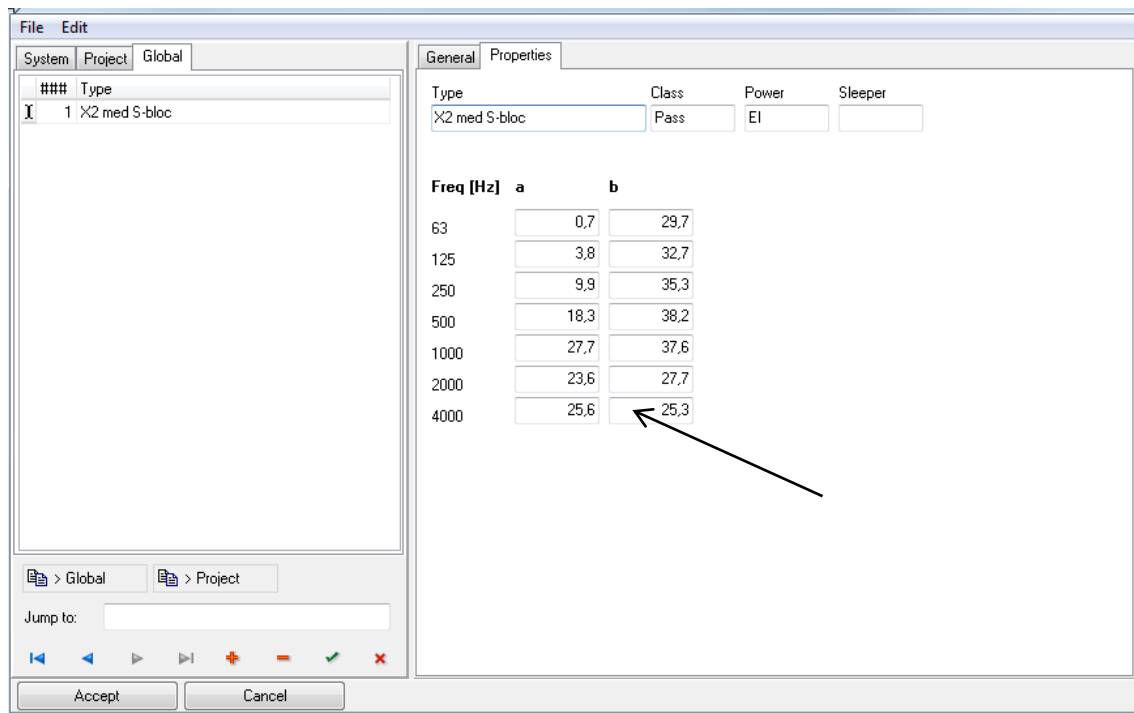
6.1 Lägg in källor i SoundPlan

1. Öppna SoundPlan



Figur 3. Huvudfönster i SoundPlan

2. Välj **Library**
3. Väl inne i **Library**, gå in i menyn **Libraries** → **Train Setup** → **NMT**
4. Ett fönster öppnas. Tryck på knappen **Global** så att du kommer åt dina nya källdatafiler i alla framtida projekt.
5. Tryck på knappen med ett +
6. De nya a – och b – parametrarna läggs in i SoundPlan under fliken **Properties**.



Freq [Hz]	a	b
63	0,7	29,7
125	3,8	32,7
250	9,9	35,3
500	18,3	38,2
1000	27,7	37,6
2000	23,6	27,7
4000	25,6	25,3

Figur 4. Så här skall det se ut efter inmatning av a – och b – parametrar.

7. Tryck på knappen **Accept** och det är klart.

7 Handräkningsmetod

I detta kapitel presenteras ekvationer som beskriver hur man räknar ut ljudet från ett oändligt långt spår på ett godtyckligt avstånd. Om man vill räkna ut effekten av ett S-block använder man nedanstående ekvationer och sätter in relevanta a - och b -parametrar. Syftet med detta kapitel är att man ska kunna få en indikation av ljudnivån utan att vara beroende av ett program som SoundPlan. Formlerna i denna "handräkningsmetod" är ändå så omfattande att det rekommenderas att man använder Excel, Matlab eller SciLab² för att använda här redovisad metod.

Enligt [1] anges att ljudeffekten per meter spår beräknas enligt ekvation (2.1) och (2.2)

Den ekvivalenta ljudeffektsnivån för respektive oktavband L_{Wo} (dB rel 10^{-12} W) för 1 m spårväg kan uttryckas som:

$$L_{Wo} = a \log_{10} \left(\frac{v}{100} \right) + 10 \log_{10}(l_{24h}) + b \quad (2.1)$$

Där v är tågets hastighet i km/h, l_{24h} är total tåglängd i meter per dygn.

Den maximala ljudeffektsnivån för respektive oktavband L_{Wt} (dB rel 10^{-12} W) för 1 m spårväg kan uttryckas som:

$$L_{Wt} = a \log_{10} \left(\frac{v}{100} \right) + 10 \log_{10}(v) + 43,8 + b \quad (2.2)$$

där v är tågets hastighet i km/h.

a - och b -parametrarna anges i oktavband mellan 63 – 4kHz och är individuella för varje tågmodell. Parametrarna för några befintliga tåg utan S-block finns angivna i [1] och [5]. När man i beräkningsprogrammet vill modellera ett S-block får man således korrigera dessa parametrar så att L_{Wo} och L_{Wt} motsvarar ljudeffektnivå för ekvivalent- och maximal ljudnivå per meter spårlängd för fallet med en spårnära skärm.

7.1.1 Ekvivalent ljudnivå

A-vägd ekvivalent ljudtrycksnivå (dB rel 20 μ Pa) på avståndet d från ett oändligt långt spår kan approximeras med följande formel:

$$L_{Aeq24} \approx \sum_{i, log}^{63-4 \text{ kHz}} (L_{Wo,i} + \Delta A_i) - 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi d^2}{Q} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{\pi}{2} \right) - 10 \log_{10} \left[\arctan \left(\frac{1}{2d} \right) \right] - 2 \quad (2.3)$$

Variabeln i är oktavbandsindex. ΔA_i är A-vägningen för respektive oktavband. Vid "hård" mark sätts $Q = 2$. Vid "mjuk" mark sätts $Q = 1$

Alla oktavband summeras sedan i ihop logaritmiskt. Beräkningsresultat stämmer väl överens med SoundPlan upp till cirka 200 meter. Härledningen till denna ekvation finns i Appendix A.

² Kan hämtas och användas gratis. Besök: www.scilab.org

7.1.2 Maximal ljudnivå

Den maximala ljudtrycksnivån (dB rel 20 µPa) med tidsvägning "FAST" på avståndet d från ett tåg med längden s kan approximeras med följande formel:

$$L_{pAMaxF} \approx \sum_{i, log}^{63-4 \text{ kHz}} (L_{Wt,i} + \Delta A_i) - 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi d^2}{Q} \right) + 10 \log_{10} \left[\frac{\arctan \left(\frac{1}{2d} \right)}{\arctan \left(\frac{s}{2d} \right)} \right] + \left[3 - \frac{3d}{100} \right]_{d \leq 100} \quad (2.4)$$

För att den få den beräknade maxnivån med tidsvägning "FAST" adderas enligt [1] termerna $3 - \frac{3d}{100}$ om $d \leq 100$ meter.

Variabeln i är oktavbandsindex. ΔA_i är A-vägningen för respektive oktavband. Vid "hård" mark sätts $Q = 2$. Vid "mjuk" mark sätts $Q = 1$

Alla oktavband summeras sedan ihop logaritmiskt. Beräkningsresultat stämmer väl överens med SoundPlan upp till cirka 200 meter. Härledningen till denna ekvation finns Appendix A.

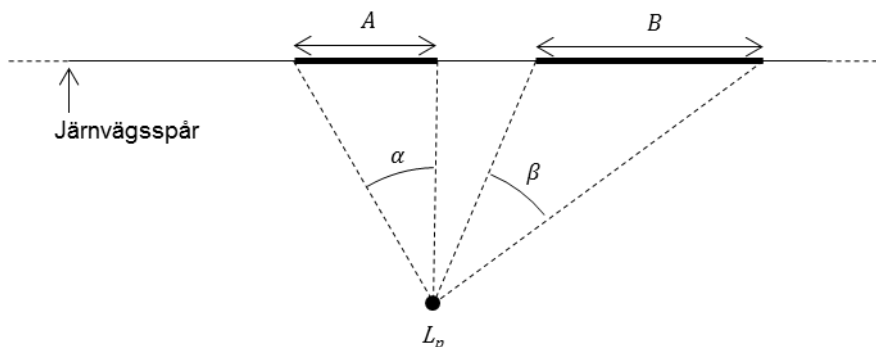
8 Referenser

1. Naturvårdsverket och Nordiska Ministerrådet. *Buller från spårburen trafik, Rapport 4935*. u.o. : Naturvårdsverket, 1996.
2. Lindkvist, Å. *Rapport 573720-A, Spårnära skärmar, Roslagsbanan Kontrollmätning*. u.o. : ÅF-Infrastructure AB, 2012.
3. Grundfelt, G. *Ljudmätning enl. ISO 3095 på Z-bloc 2014-10-17*. [PULSE] Kungsängen/Bro : Tyréns AB, 2014.
4. Nielsen, J. et.al. *DELIVERABLE D5.9 In-field measurements of the influence of low barrier on railway noise PART 2*. u.o. : European commission / project: QCITY, 2009.
5. Jerson, T. *BULLEREMISSION FRÅN NYA SVENSKA TÅGTYPEN*. Göteborg : BANVERKET / WSP AKUSTIK, 2004.
6. *A theory of traffic noise propagation with applications to Leq*. Jonasson, H.G. 1973, Journal of Sound and Vibration 30, ss. 289-304.
7. Acoustic Control AB. *E2001-R01 Ljudnivåer från tågtrafik före och efter montage av spårnära skärmar*. u.o. : Acoustic Control AB, 2002.
8. Thompson, David. *Railway Noise and Vibration*. u.o. : Elsevier Ltd, 2009.

Appendix A – Härledning av formler i kapitel 7

Vinkelrelationen

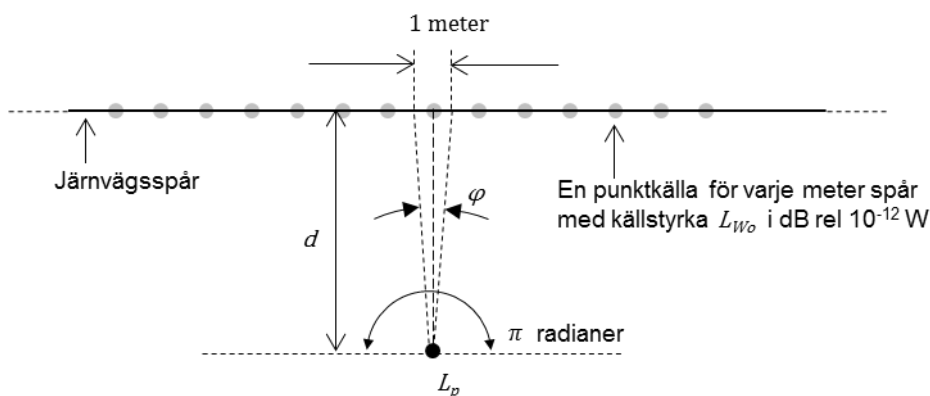
För en oändligt lång linjekälla utan inverkan av markeffekt och luftdämpning kan man visa att bidraget från en delsträcka endast är beroende av storleken på delsträckans vinkelområde [6] och avståndet ifrån den. I Figur 5 nedan är delsträckorna *A* och *B* olika långa. Trots detta blir det akustiska bidraget från de båda delsträckorna lika stort om vinkeln $\alpha = \beta$.



Figur 5. Vinkelrelationen. Det akustiska bidraget från de olika delsträckorna *A* och *B* är lika stora om vinkeln $\alpha = \beta$

Ekvivalent ljudnivå från ett oändligt långt spår

Om man fördelar ut en punktkälla för varje meter spårlängd samt antar att alla punktkällor är korrelerade kan man se spåret som en linjekälla med en ljudeffekt per meter spårlängd. [1]



Figur 6. Punktkällor fördelas ut på spåret. Om punktkällorna är okorrelerade kan spåret betraktas som en linjekälla.

Först räknas det akustiska bidraget ut från en källpunkt. Källpunkten befinner sig på ett avstånd d från mottagaren i meter.

$$L_{Peq,punkt} = L_{Wo} - 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi d^2}{Q} \right) \quad (\text{A.1})$$

Vid "hård" mark sätts $Q = 2$. Vid "mjuk" mark sätts $Q = 1$

Om man antar att bidraget från punkten är ett delbidrag från en linjekälla kan man använda vinkelrelationen för ta reda på bidraget från hela sträckan.

Bidraget från en "tårtbit" ges av $L_{Wo} + 10 \log(4\pi d^2)$. Om man adderar alla "tårtbitar" med vilkelområdet φ så att summan av dem blir en halvcirkel erhålls det akustiska bidraget från hela sträckan. Från vinkelrelationen fås att bidraget från varje tårtbit är lika stort. Korrektionen Δ_{Eq} till ekvation (A.2) blir således en logaritmisk addition av det akustiska bidraget från alla "tårtbitar" φ som får plats i en halvcirkel med vinkeln π . Hur många "tårtbitar" som får plats ges av $\frac{\varphi}{\pi}$

$$L_{Aeq24} \approx L_{Peq,punkt} + \Delta_{Eq} \quad (\text{A.2})$$

Vinkeln φ erhålls från den trigonometriska relationen

$$\varphi = 2 \arctan \left(\frac{1}{2d} \right) \quad (\text{A.3})$$

Korrektionen Δ_{Eq} ges följaktligen av:

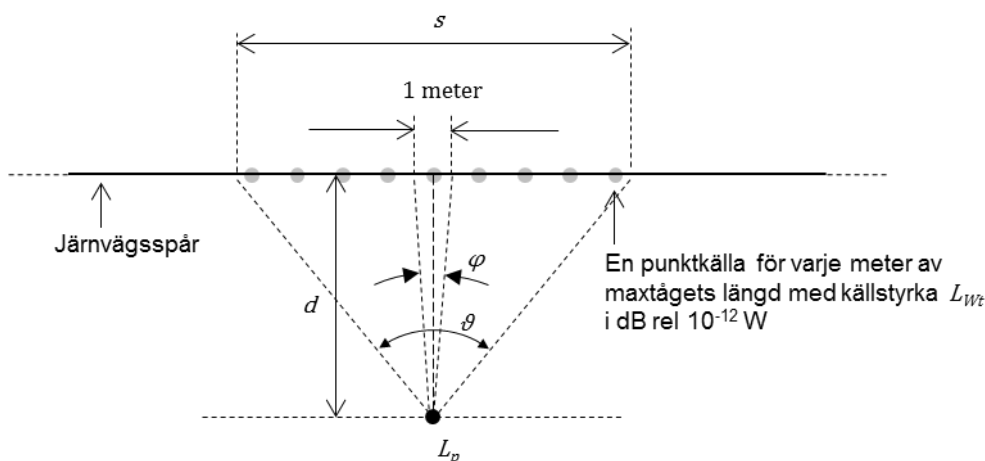
$$\begin{aligned} \Delta_{Eq} &= 10 \log_{10} \left(\frac{\varphi}{\pi} \right) = 10 \log \frac{\pi}{2 \cdot \arctan \left(\frac{1}{2d} \right)} \\ &= 10 \log_{10} \left(\frac{\pi}{2} \right) - 10 \log_{10} \left[\arctan \left(\frac{1}{2d} \right) \right] \end{aligned} \quad (\text{A.4})$$

Den A-vägda ekvivalenta ljudtrycksnivån (dB rel 20 µPa) med utgångsvärden $L_{W0,i}$ från [1] ges således av:

$$L_{Aeq24} \approx \sum_{i,log}^{63-4 kHz} (L_{W0,i} + \Delta A_i) - 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi d^2}{Q} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{\pi}{2} \right) - 10 \log_{10} \left[\arctan \left(\frac{1}{2d} \right) \right] - 2 \quad (A.5)$$

Variabeln i är oktavbandsindex. ΔA_i är A-vägningen för respektive oktavband. Alla oktavband summeras ihop logaritmiskt. För att kompensera för luftdämning kan man subtrahera 2 dB-enheter. Formel (A.5) har visat sig stämma bra med beräkningresultat från SoundPlan upp till cirka 200 meter.

Maximal ljudnivå från ett tåg på ett oändligt långt spår



Figur 7. Punktkällor fördelas ut på spåret endast på en sträcka s som motsvarar tågets längd. Om punktkällorna är korrelerade kan spåret betraktas som en linjekälla.

Precis som i beräkningen av den ekvivalenta ljudnivån tar man först fram bidraget för en delsträcka med längden 1 meter som motsvarar det akustiska bidraget från en punkt som befinner sig från på avståndet d i meter.

$$L_{Pmax,punkt} = L_{Wt} - 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi d^2}{Q} \right) \quad (A.6)$$

Vid "hård" mark sätts $Q = 2$. Vid "mjuk" mark sätts $Q = 1$

Vinkeln φ respektive ϑ ges de trigonometriska relationerna:

$$\varphi = 2 \arctan \left(\frac{1}{2d} \right) \quad (A.7)$$

$$\vartheta = 2 \arctan \left(\frac{s}{2d} \right) \quad (A.8)$$

För att få bidraget från hela tåget summeras alla "tårtbitar" ihop så att en större bit erhålles med vinkelområdet ϑ . Hur många gånger φ får plats i ϑ ges av relationen $\frac{\vartheta}{\varphi}$

Korrektionen Δ_{Max} till $L_{Pmax,punkt}$ blir således

$$\Delta_{Max} = 10 \log_{10} \left(\frac{\varphi}{\vartheta} \right) = 10 \log_{10} \left[\frac{\arctan\left(\frac{s}{2d}\right)}{\arctan\left(\frac{1}{2d}\right)} \right] \quad (\text{A.9})$$

Den A-vägda maximala ljudtrycksnivån $L_{A,MaxF}$ (dB rel 20 μPa) med utgångsvärden $L_{Wt,i}$ från [1] ges således av:

$$L_{A,MaxF} \approx \sum_{i,log}^{63-4 \text{ kHz}} (L_{Wt,i} + \Delta A_i) - 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi d^2}{Q} \right) + 10 \log_{10} \left[\frac{\arctan\left(\frac{s}{2d}\right)}{\arctan\left(\frac{1}{2d}\right)} \right] + \left[3 - \frac{3d}{100} \right]_{d \leq 100} \quad (\text{A.10})$$

För att den få den beräknade maxnivån med tidsvägning "FAST" adderas enligt [1] termerna $3 - \frac{3d}{100}$ om $d \leq 100$ meter.

Variabeln i är oktavbandsindex. ΔA_i är A-vägningen för respektive oktavband. Alla oktavband summeras ihop logaritmiskt.

Formeln (A.9) ovan stämmer någurlunda överens med beräkningar som görs i SoundPlan upp till cirka 200 meter.

Jämförelse mellan handräkningsmetod och Soundplan

Tabell 8. Jämförelse mellan SoundPlan-beräkning enl. [1] på ett oändligt långt spår och här redovisad handräkningsmetod. Avser 25 st X2 tågsätt som är 200 meter långa med hastigheten 200 km/h. Med "hård" och "mjuk" mark avses totalt ljudreflekterande respektive totalt ljudabsorberande.

	SoundPLAN v 7.3 enligt [1] Mottagare: 2 m över mark				Handräkningsmetod			
	"Hård" mark		"Mjuk" Mark		"Hård" mark		"Mjuk" Mark	
Avstånd från spår [m]	L_{Aeq}	L_{AmaxF}	L_{Aeq}	L_{AmaxF}	L_{Aeq}	L_{AmaxF}	L_{Aeq}	L_{AmaxF}
25	64,3	95,9	61,5	93,2	64,2	97,5	61,2	94,5
50	61,2	91,5	57,9	88,2	61,2	93,0	58,2	90,0
100	58,5	86,2	54,0	81,7	58,1	87,0	55,1	84,0
200	55,1	81,2	49,7	75,7	55,1	81,7	52,1	78,7

Exempel:

Beräkna dygnsequivä- och maximal ljudnivå 30 meter från ett "oändligt" långt spår som trafikeras av följande tåg per dygn:

- 60 pendeltåg X60 per dygn som kör i 160 km/h, tåglängd 215 meter
- 8 godståg per dygn som kör med 100 km/h, tåglängd 400 meter.

Räkna med akustiskt "mjuk" mark mellan spår och motagare.

Lösning:

Det rekommenderas att beräkningen görs i ett program som exempelvis Excel. I detta exempel används Excel 2010.

Den ekvivalenta ljudnivån beräknas genom att först beräkna L_{wo} för X60 enligt formel (2.3). I Excel kan man exempelvis göra enligt nedan.

fx =C4*LOG10(160/100)+10*LOG10(60*215)+D4					
B	C	D	E	F	G
Frekvens	X60 utan S-bloc		Lwo		
oktavband i Hz	a	b			
63	21,7	26,6	72,1353		
125	17	25,1	69,67594		
250	9,3	26,3	69,30421		
500	0	29,6	70,7059		
1000	19,3	29,7	74,74541		
2000	30,5	27,2	74,53156		
4000	22,1	17,3	62,91695		

Figur 8. L_{wo} för X60 med excelformel från formel (2.3).

Efter L_{wo} beräknas $L_{peq,punkt}$ på avståndet 30 meter med formel (A.1).

fx =E4-10*LOG10(4*PI()*30^2/1)					
B	C	D	E	F	
Frekvens	X60 utan S-bloc		Lwo	Lpeq,punkt	
oktavband i Hz	a	b			
63	21,7	26,6	72,1353	31,6005599	
125	17	25,1	69,67594	29,14141307	
250	9,3	26,3	69,30421	28,76968921	
500	0	29,6	70,7059	30,17137337	
1000	19,3	29,7	74,74541	34,21088903	
2000	30,5	27,2	74,53156	33,99703284	
4000	22,1	17,3	62,91695	22,38242499	

Figur 9. $L_{peq,punkt}$ för X60 på avståndet 30 meter med formel (A.1). Notera att $Q = 1$ eftersom marken är akustiskt "mjuk".

Nästa steg är att beräkna Δ_{Eq} enligt formel (A.4) som är oberoende av frekvensen. Det vill säga att man kommer att få samma värde för alla frekvensband.

=10*LOG10(PI()/2)-10*LOG10(ARCTAN(1/(2*30)))					
B	C	D	E	F	G
Frekvens	X60 utan S-bloc	Lwo	Lpeq,punkt	Δ_{Eq}	
oktavband i Hz	a	b			
63	21,7	26,6	72,1353	31,60077699	19,7431134
125	17	25,1	69,67594	29,14141307	19,7431134
250	9,3	26,3	69,30421	28,76968921	19,7431134
500	0	29,6	70,7059	30,17137337	19,7431134
1000	19,3	29,7	74,74541	34,21088903	19,7431134
2000	30,5	27,2	74,53156	33,99703284	19,7431134
4000	22,1	17,3	62,91695	22,38242499	19,7431134

Figur 10. Δ_{Eq} enligt formel (A.4).

Den A-vägda ljudtrycksnivån L_{Aeq24} för varje oktavband ges av att addera $L_{peq,punkt}$ med Δ_{Eq} . För att det ska bli A-vägd måste varje frekvensband adderas med sin respektive A-vägningsterm. En kolumn med dessa termer måste således läggas in i Excel-arket.

=SUMMA(F4:H4)							
B	C	D	E	F	G	H	I
Frekvens	X60 utan S-bloc	Lwo	Lpeq,punkt	Δ_{Eq}	A-vägning	L_{Aeq24}	
oktavband i Hz	a	b					
63	21,7	26,6	72,1353	31,60077699	19,7431134	-26,2	=SUMMA(F4:H4)
125	17	25,1	69,67594	29,14141307	19,7431134	-16,1	32,8
250	9,3	26,3	69,30421	28,76968921	19,7431134	-8,6	39,9
500	0	29,6	70,7059	30,17137337	19,7431134	-3,2	46,7
1000	19,3	29,7	74,74541	34,21088903	19,7431134	0,0	54,0
2000	30,5	27,2	74,53156	33,99703284	19,7431134	1,2	54,9
4000	22,1	17,3	62,91695	22,38242499	19,7431134	1,0	43,1

Figur 11. Nästan klart.

Slutligen för att få den totala A-vägda ekvivalenta ljudnivå måste L_{Aeq24} för samtliga oktavband adderas ihop logaritmiskt.

Detta kan göras med följande Excel-formel: $=10*\text{LOG10}(\text{SUMMA}(10^{((\text{OMRÅDE})/10)}))$

För att ovanstående Excel-formel ska fungera måste man trycka **Ctrl + Shift + Enter**.

fx {=10*LOG10(SUMMA(10^((I4:I10)/10)))-2}								
B	C	D	E	F	G	H	I	J
Frekvens	X60 utan S-bloc	Lwo	Lpeq,punkt	Δ_Eq	A-vägning	L_Aeq24		
oktavband i Hz	a	b						
63	21,7	26,6	72,1353	31,60077699	19,7431134	-26,2	25,1	dB
125	17	25,1	69,67594	29,14141307	19,7431134	-16,1	32,8	dB
250	9,3	26,3	69,30421	28,76968921	19,7431134	-8,6	39,9	dB
500	0	29,6	70,7059	30,17137337	19,7431134	-3,2	46,7	dB
1000	19,3	29,7	74,74541	34,21088903	19,7431134	0,0	54,0	dB
2000	30,5	27,2	74,53156	33,99703284	19,7431134	1,2	54,9	dB
4000	22,1	17,3	62,91695	22,38242499	19,7431134	1,0	43,1	dB
						TOT:	56,1	dB

Figur 12. Logaritmisk addering av oktavbanden. Glöm inte att trycka Ctrl + Shift + Enter. Den ekvivalenta ljudnivån 30 meter från X60-tågen blir således 56,1 dBA. 2 dBA enheter subtraheras från resultatet för att kompensera för atmosfärsdämpning.

På samma sätt fås ljudnivån från godstågen. Det som skiljer är *a*- och *b* – parametrarna samt, tåglängd och hastighet.

Frekvens	Goodståg utan S-bloc	Lwo	Lpeq,punkt	Δ_Eq	A-vägning	L_Aeq24		
oktavband i Hz	a	b						
63	0	32	67,0515	26,516976	19,74311	-26,2	20,1	dB
125	0	34	69,0515	28,516976	19,74311	-16,1	32,2	dB
250	0	40	75,0515	34,516976	19,74311	-8,6	45,7	dB
500	5	44	79,0515	38,516976	19,74311	-3,2	55,1	dB
1000	5	42	77,0515	36,516976	19,74311	0,0	56,3	dB
2000	5	40	75,0515	34,516976	19,74311	1,2	55,5	dB
4000	5	34	69,0515	28,516976	19,74311	1,0	49,3	dB
						TOT:	58,9	dB

Figur 13. Med samma procedur fås den ekvivalenta ljudnivån för godstågen 58,9 dBA.

Adderas nu bidragen logaritmiskt från de båda tågtyperna fås **60,7 dBA** ekvivalent ljudnivå. Logaritmisk addition två ljudnivåer L_1 och L_2 ges av:

$$L_{\text{summa}} = 10 \log_{10} (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10})$$

Den maximala ljudnivån styrs av den tågtyp som bullrar mest, varför man endast behöver göra en beräkning för den bullrigaste tågtypen. I detta exempel låter godstågen med än pendeltågen. Vet man inte vilken tågtyp som är bullrigast får man tyvärr beräkna maximal ljudnivå för varje tågtyp.

fx =C4*LOG10(100/100)+10*LOG10(100)+43,8+D4					
B	C	D	E	F	G
Frekvens	Goodståg utan S-bloc	Lwt			
oktavband i Hz	a	b			
63	0	32	5,8		
125	0	34	97,8		
250	0	40	103,8		
500	5	44	107,8		
1000	5	42	105,8		
2000	5	40	103,8		
4000	5	34	97,8		

Figur 14. L_{Wt} för godståget beräknas enligt formel (2.2).

fx =E4-10*LOG10(4*PI()*30^2/1)					
B	C	D	E	F	
Frekvens	Goodståg utan S-bloc	Lwt	Lpmax,punkt		
oktavband i Hz	a	b			
63	0	32	95,8	55,26547627	
125	0	34	97,8	57,26547627	
250	0	40	103,8	63,26547627	
500	5	44	107,8	67,26547627	
1000	5	42	105,8	65,26547627	
2000	5	40	103,8	63,26547627	
4000	5	34	97,8	57,26547627	

Figur 15. $L_{pmax,punkt}$ beräknas sedan enligt formel (A.6). Notera att $Q = 1$ eftersom marken är akustiskt "mjuk".

fx =10*LOG10(ARCTAN(400/(2*30))/ARCTAN(1/(2*30)))					
B	C	D	E	F	G
Frekvens	Goodståg utan S-bloc	Lwt	Lpmax,punkt	Δ_{Max}	
oktavband i Hz	a	b			
63	0	32	95,8	55,26547627	19,3106246
125	0	34	97,8	57,26547627	19,3106246
250	0	40	103,8	63,26547627	19,3106246
500	5	44	107,8	67,26547627	19,3106246
1000	5	42	105,8	65,26547627	19,3106246
2000	5	40	103,8	63,26547627	19,3106246
4000	5	34	97,8	57,26547627	19,3106246

Figur 16. Δ_{Max} beräknas enligt formel (A.9).

T $\sum(F4:H4)+3\cdot30/100$								
B	C	D	E	F	G	H	I	J
Frekvens	Goodståg utan S-bloc	Lwt	Lpmax,punkt	Δ_{Max}	A-vägning	L_Amax		
oktavband i Hz	a	b						
63	0	32	95,8	55,26547627	19,3106246	-26,2	$=SUMMA(I4:H4)$	62,6 dBA
125	0	34	97,8	57,26547627	19,3106246	-16,1		62,6 dBA
250	0	40	103,8	63,26547627	19,3106246	-8,6		76,1 dBA
500	5	44	107,8	67,26547627	19,3106246	-3,2		85,5 dBA
1000	5	42	105,8	65,26547627	19,3106246	0,0		86,7 dBA
2000	5	40	103,8	63,26547627	19,3106246	1,2		85,9 dBA
4000	5	34	97,8	57,26547627	19,3106246	1,0		79,7 dBA

Figur 17. Sedan A-vägs oktavbanden. $L_{A,MaxF}$ fås genom att summera $L_{pmax,punkt}$ och Δ_{Max} . För att den få den beräknade maxnivån med tidsvägning "FAST" adderas enligt [1] termerna $3 - 3d/100$ om avståndet d mellan mottagare och spår mindre än 100 meter.

Frekvens	Goodståg utan S-bloc	Lwt	Lpmax,punkt	Δ_{Max}	A-vägning	L_Amax	
oktavband i Hz	a	b					
63	0	32	95,8	55,26547627	19,3106246	-26,2	50,5 dBA
125	0	34	97,8	57,26547627	19,3106246	-16,1	62,6 dBA
250	0	40	103,8	63,26547627	19,3106246	-8,6	76,1 dBA
500	5	44	107,8	67,26547627	19,3106246	-3,2	85,5 dBA
1000	5	42	105,8	65,26547627	19,3106246	0,0	86,7 dBA
2000	5	40	103,8	63,26547627	19,3106246	1,2	85,9 dBA
4000	5	34	97,8	57,26547627	19,3106246	1,0	79,7 dBA
						TOT:	91,3 dBA

Figur 18. Efter att adderat ihop alla oktavband logaritmiskt fås slutligen 91,3 dBA maximal ljudnivå i "FAST".

Svaret på uppgiften blir slutligen 61 dBA ekvivalent- samt 91 dBA maximal ljudnivå.