

Indata till bullerberäkningsmetoder för motorvagn X60

Mikael Ögren
Tomas Jerson

Förord

Denna rapport redovisar mätningar och beräkningar av bulleremission från motorvagnar littera X40 och X60. Mätningarna genomfördes i augusti 2009 av Tomas Jerson (WSP Akustik) och Mikael Ögren (VTI).

Projektet finansierades av Banverket och har Banverkets diarienummer S 07-4823/AL50.

Göteborg december 2009

Mikael Ögren
Projektledare

Kvalitetsgranskning

Intern peer review har genomförts av Maud Göthe-Lundgren. Mikael Ögren har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus den 20 april 2010. Projektledarens närmaste chef, Maud Göthe-Lundgren, har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering den 20 april 2010.

Quality review

Internal peer review was performed by Maud Göthe-Lundgren. Mikael Ögren has made alterations to the final manuscript of the report. The research director of the project manager Maud Göthe-Lundgren examined and approved the report for publication on 20 April, 2010.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
Summary	6
1 Inledning	7
2 Mätningar	9
2.1 Utrustning	9
2.2 Mätplatser	9
3 Räfflor och vågor	12
4 X60 indata för NMT 96	16
5 X60 indata för Nord2000	18
6 Jämförelse mot befintliga data	20
7 Resultat för X40	22
Referenser	24
Appendix X60	25
Appendix X40	32
Mätningar med STRIX	37

Indata till bullerberäkningsmetoder för motorvagn X60

av Mikael Ögren och Tomas Jerson¹
VTI/MTA
402 78 Göteborg

Sammanfattning

I denna rapport redovisas mätningar på bulleremission från motorvagnen littera X60. Dessa mätningar har sedan bearbetats och presenteras i form av indata till de nordiska beräkningsmetoderna för buller från spårburen trafik NMT96 och Nord2000. Resultatet visar att i ett typiskt fall är den A-vägda bulleremissionen från varje meter av X60 ca 6 dB lägre än för snabbtåget X2 i samma hastighet.

Mätningar genomfördes också för motorvagnen X40, men tyvärr var underlaget för litet och spridningen för stor för att kunna beräkna nya indata. Mer omfattande undersökningar behövs för att komma till rätta med detta, och fram tills dessa finns tillgängliga rekommenderas att man använder indata från X2 för att approximera bulleremissionerna från X40.

¹WSP Akustik, Göteborg

Input Data for Noise Calculation Methods on the Swedish EMU X60

by Mikael Ögren and Tomas Jerson²
VTI/MTA
SE-402 78 Göteborg

Summary

This report contains measurements on noise emission from the Swedish multiple unit denoted X60. The measurements have been analyzed and used to prepare input data for the Nordic noise calculations methods for railway traffic noise NMT96 and Nord2000. The result show that in a typical case the A-weighted noise emission per meter train is approximately 6 dB lower for X60 compared to the high speed train X2.

Measurements were also carried out for the multiple unit X40, but unfortunately the spread was too large and the number of data points too small to create valid input data for the methods. More extensive research is needed, and until better data is available it is recommended to use X2 input data as an approximation of X40 noise emission.

²WSP Akustik, Göteborg

1 Inledning

Vid beräkning av buller från spårburen trafik används standardiserade gemensamma nordiska beräkningsmodeller. För tillfället används två metoder parallellt, NMT 96 [1] och Nord 2000 [2]. Båda metoderna utgår ifrån bullerimissionsmätningar nära som utförts nära spåret i olika hastigheter för olika fordonstyper för att bestämma indataparametrar. Dessa data används sedan tillsammans med information om spåret, ev bullerskärmar, topografi, markegenskaper och meteorologiska parametrar för att beräkna bullerimissionen i olika mottarpunkter.

Metoderna innehåller indataparametrar för vanliga Nordiska spårfordon. När nya fordon introduceras är det nödvändigt att mäta in dem, eller att anta att de har samma bulleregenskaper som något av de fordon som ingår i metoden. För NMT 96 finns indata dels i metoden själv [1], samt i ett tillägg för tågtyper som tillkommit i en rapport från WSP och Banverket [3]. I fallet för Nord2000 finns endast data i metoden själv [2] och dessa bygger inte på nya mätningar utan är omräkningar av de tidigare publicerade data.

I denna rapport redovisas mätningar på de svenska motorvagnarna littera X40 (Alstom Coradia Duplex, figur 1.1) och littera X60 (Alstom Coradia Lirex, figur 1.2) men endast mätningarna på X60 var tillräckligt omfattande och entydiga för att kunna räkna fram indata till beräkningsmetoderna. Som referens för jämförelser och i figurer används data för snabbtåget X2.

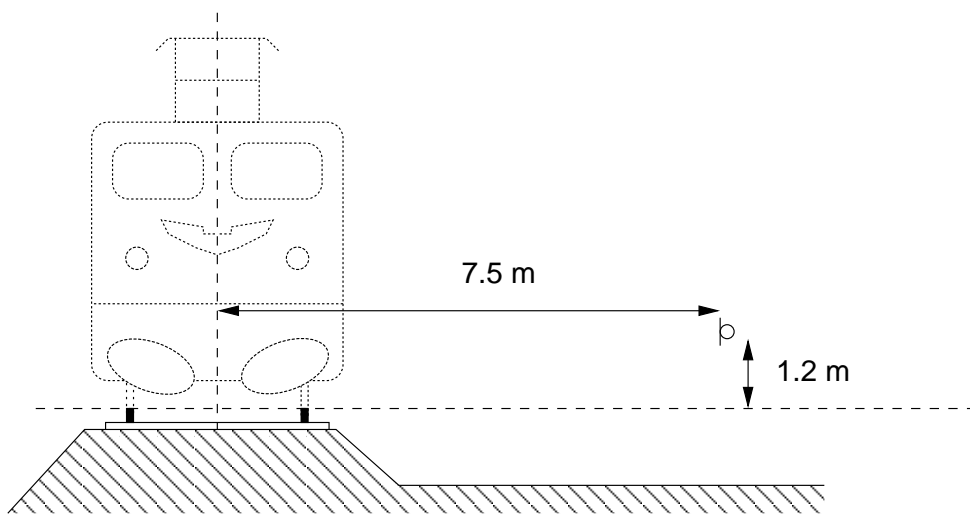
Mätningarna har genomförts enligt standarden för förbipassagemätningar SS EN ISO 3095 [4], med tillägget att även vertikala vibrationer mättes på rälfoten. Mikrofonavståndet från spårets mitt var 7.5 m och höjden över rälsöverkant (rök) var 1.2 m, se figur 1.3. Resultaten redovisas i form av indata till NMT 96 och Nord 2000 i kapitel 4 och 5.



Figur 1.1 X40 (Alstom Coradia Duplex).



Figur 1.2 X60 (Alstom Coradia Lirex).



Figur 1.3 Mikrofonplacering enligt SS EN ISO 3095.

2 Mätningar

2.1 Utrustning

Vid mätningarna användes två mikrofoner och två accelerometrar tillsammans med en fyrkanalig analysator, se tabell 2.1. All utrustning förutom radarsystemet är spårbart kalibrerad och uppfyller klass I enligt SS EN 61672. För att bestämma hastighet användes både en radar och manuell tidtagning med stoppur för kontroll.

Tabell 2.1 Utrustningslista

Utr.	Typ	Serienr.	Nästa kalibrering
Mikrofon	GRAS 40AE	86744	2010-09
-"-	-"-	86745	-"-
Förförstärkare	GRAS 26CA	83991	2010-09
-"-	-"-	83992	-"-
Accelerometer	Dytran 319A1	216	2010-03
-"-	-"-	217	-"-
Analysator	Sinus Soundbook	06149-6AKCB65681	2010-09
Kalibratör	LD CAL200	3141	2010-08
Radar	SFIM CAPT208DTX	68	-
Radar styrenhet	ZG0342 / ZH0613		-

2.2 Mätplatser

Det var tidskrävande att hitta lämpliga mätplatser eftersom det ställs höga akustiska krav på dem. Inga reflekterande objekt (i första hand byggnader) får finnas nära mätplatsen, det måste vara en raksträcka utan större lutning och inga andra bullerkällor (t.ex. vägar eller industrier) får finnas i närheten. Dessutom måste tågens hastighet förbi mätplatsen vara jämn, dvs. utan acceleration eller bromsning. Slutligen bör passager förekomma i olika hastigheter för att ge en tydlig bild av hur bulleremissionen varierar vid olika hastigheter.

Inledningsvis var förhoppningen att kunna påverka STH (största tillåtna hastighet) på en kortare sträcka för att täcka ett större hastighetsområde, men detta gick ej att ordna eftersom det är tät trafik och därmed risk för förseningar på de banor som trafikeras av X40 och X60.

Ett alternativ var att söka efter platser med olika STH, men det visade sig att om det är en bra mätplats (raksträcka) så är STH oftast hög. Efter en tids sökande fick vi dock fram den andra mätplatsen vid Trunsta mosse där STH är lägre på grund av markförhållandena, men där förekom endast trafik med X40.

Huvudmätplatsen ligger strax öster om Bro (figur 2.1), och den andra mätplatsen vid Trunsta mosse (figur 2.2) strax norr om Knivsta, se tabell 2.2. Tyvärr visade sig att nedspåret vid Bro har träslipers, vilket i samverkan med ytråheten (räfflor och vågor på rälen) kan påverka ljudutstrålningen jämfört med betongslipers.

Markprofilen från närmaste rälen och ut till mikrofonen registrerades på mätplatserna för att kunna beräkna effekten av markdämpningen. Profilen ges tillsammans med mikrofonplaceringen i figur 2.3. Skalan på x och y -axeln är i meter, och $x = 0$ vid centrum på spåret.

Tabell 2.2 Mätplatser

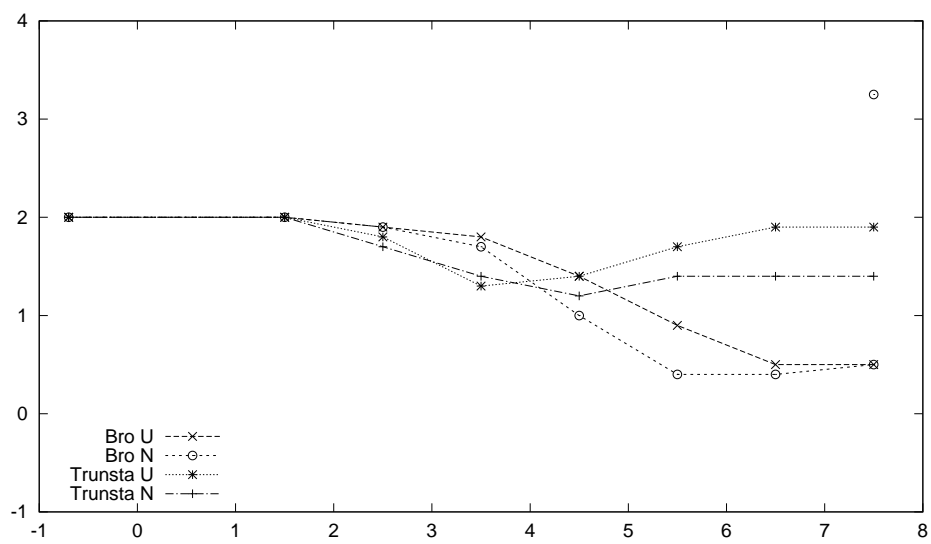
	Bro	Trunsta
STH	180 km/h	130 km/h
Pos. lat.	59.491105 N	59.736617 N
long.	17.682125 E	17.777592 E
Bandel	444	430
Avstånd ± 50 m	32 km 700 m	49 km 900 m
Uppspår	Sydliga spåret	Västliga spåret



Figur 2.1 Mätplats vid Bro.



Figur 2.2 Mätplats vid Trunsta mosse.



Figur 2.3 Markprofil vid mätplatserna.

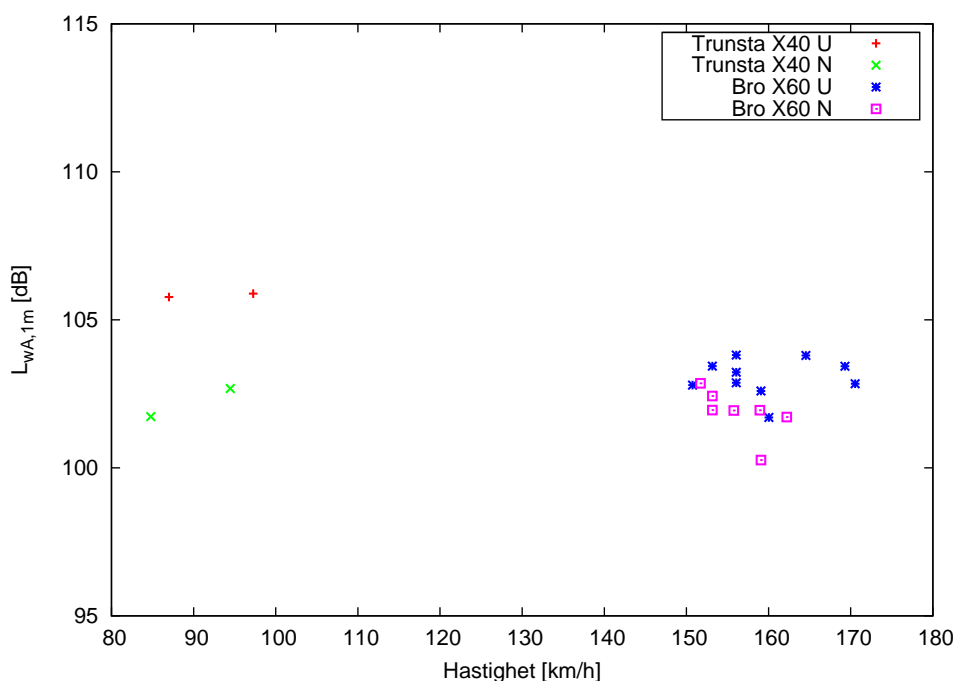
3 Räfflor och vågor

För att få ett mått på rälets ytråhet (vertikala längsprofil, kallas oftast räfflor och vågor i järnvägssammanhang) inhämtades Banverkets senaste mätdata från dessa sträckor med STRIX-systemet, för mer information om mätsystemet se [5]. Resultatet redovisas i tabell 3.1 som en jämförelse i dB mot kravprofilen från SS EN ISO 3095. Kravprofilen motsvarar ett spår i god kondition. För båda nedspåren var ojämnheten lägre än eller lika med kravprofilen, och för uppspåren redovisas avvikelsen i våglängdsområdet 3–6 cm. Vid 100–150 km/h motsvarar 3–6 cm frekvensområdet 500–1500 Hz. Mätresultaten från STRIX-systemet redovisas som en tersbandsanalys för de aktuella sträckorna i appendix 7.

Tabell 3.1 Räfflor och vågor (profil) vid respektive mätplats.

	Bro	Trunsta
Uppspår räl	UIC60	UIC60
U. befästning	Pandrol	Pandrol
U. slipers	Betong	Betong
U. räfflor och vågor	+5 dB	+12 dB
Mätdatum	2009-09-15	2009-09-05
Nedspår räl	UIC60	UIC60
N. befästning	Heiback	Pandrol
N. slipers	Trä	Betong
N. räfflor och vågor	< 0 dB	≈ 0 dB
Mätdatum	2009-09-16	2008-11-14

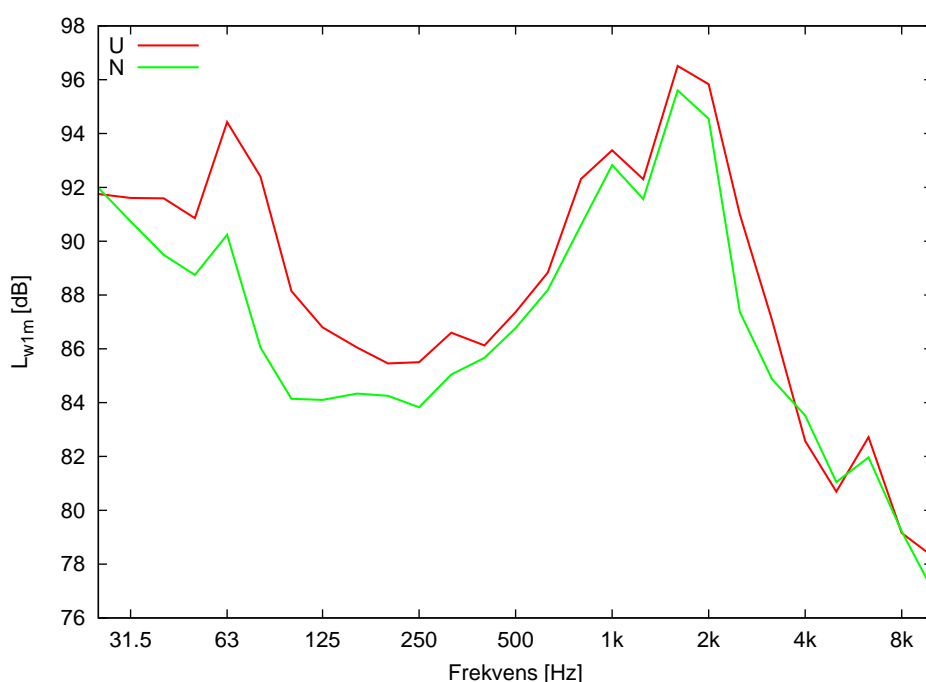
Vid båda mätplatserna är det uppspåret som är det med mest ojämnheter. Ojämnheter leder till ökad ljudstrålning vilket tydligt syns i figur 3.1 där ett utsnitt av passager från de båda mätplatserna presenteras. Vid Bro är alla redovisade mätpunkter på X60 (17 passager) och i Trunsta X40 (4 passager). Skillnaden i medelvärde på de båda spåren blir 1.2 dB i Bro och 3.6 dB i Trunsta.



Figur 3.1 Inverkan av rälets ytråhet.

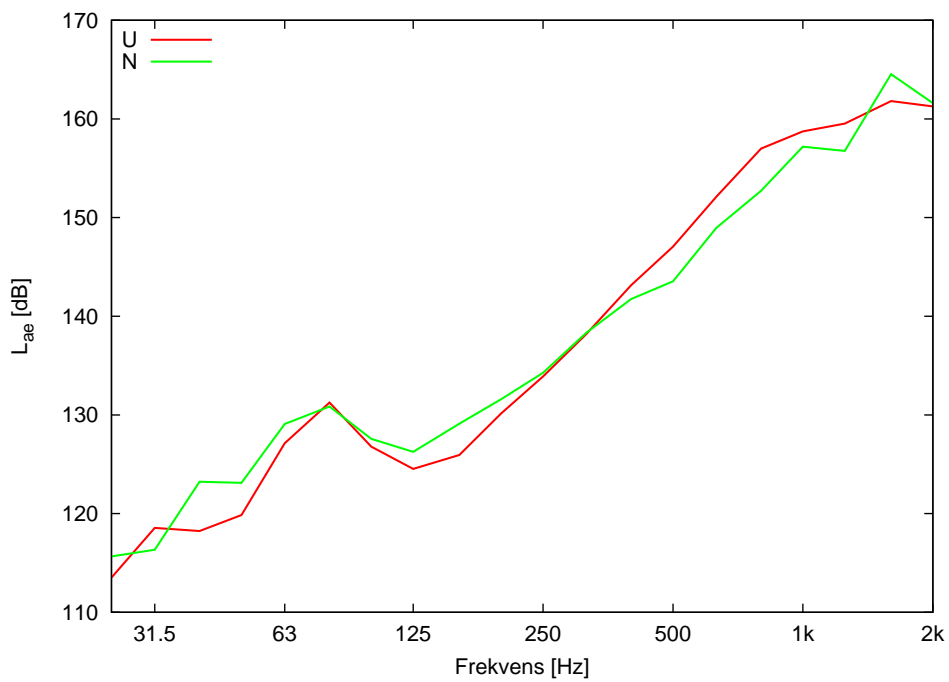
Att effekten är tydligare i Trunsta beror dels på att skillnaderna i ytråhet mellan de båda spåren är större där, men också på att i Bro är inte befästningar och slipers samma på de båda spåren, så effekten av olika sliper och befästningar blandas med effekten av ojämnheter. Skillnaden mellan bulleremission vid trä- respektive betongsliper har tidigare redovisats i en rapport från SP [6]. Skillnaderna är mycket små för hastigheter lägre än 130 km/h, och små även för högre hastigheter för IC-tåg (Rc-lok och vagnar för persontrafik). Skillnaden anges som 2–3 dB högre ljudutstrålning för betongsliper men författarna påpekar att underlaget är för litet för att kunna uttala sig med säkerhet.

En mer detaljerad bild av skillnaderna ges i figur 3.2, där energimedelvärdet av alla passager redovisas som tersbandspektra för uppspåret och nedspåret. Den spektrala formen är densamma vid höga frekvenser men skiljer vid låga. Detta beror på att hela spårssystemet har andra dynamiska egenskaper i fallet med träsliper. Detta syns också i figur 3.3, där vibrationerna vid rälfoten redovisas som accelerationsenerginivå för de båda spåren. Skillnaderna är dock ganska små sett som energimedelvärde.

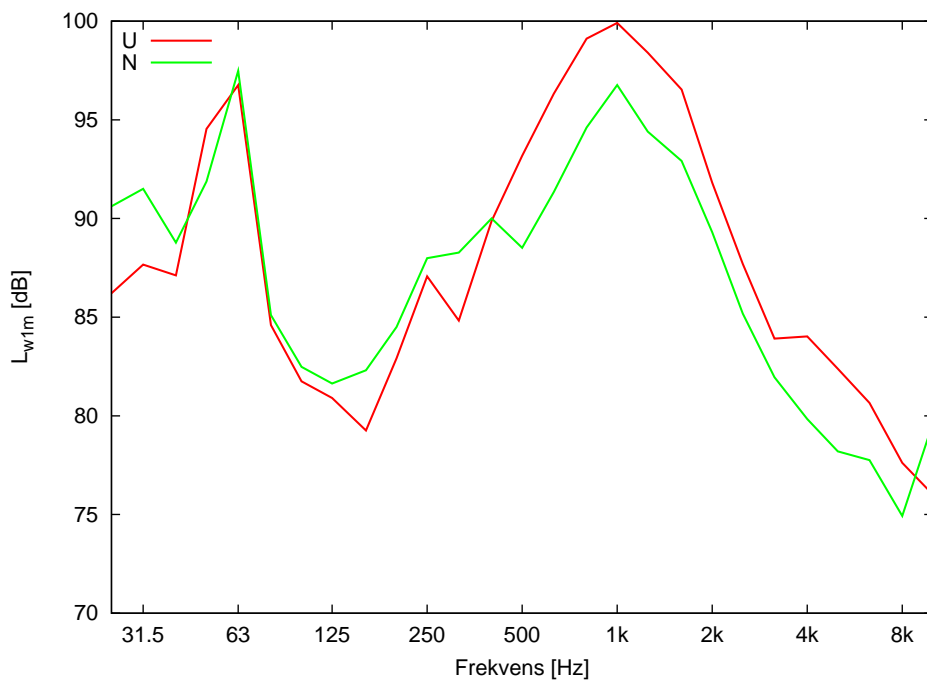


Figur 3.2 Inverkan av rälets ytråhet vid Bro, ljudtryck.

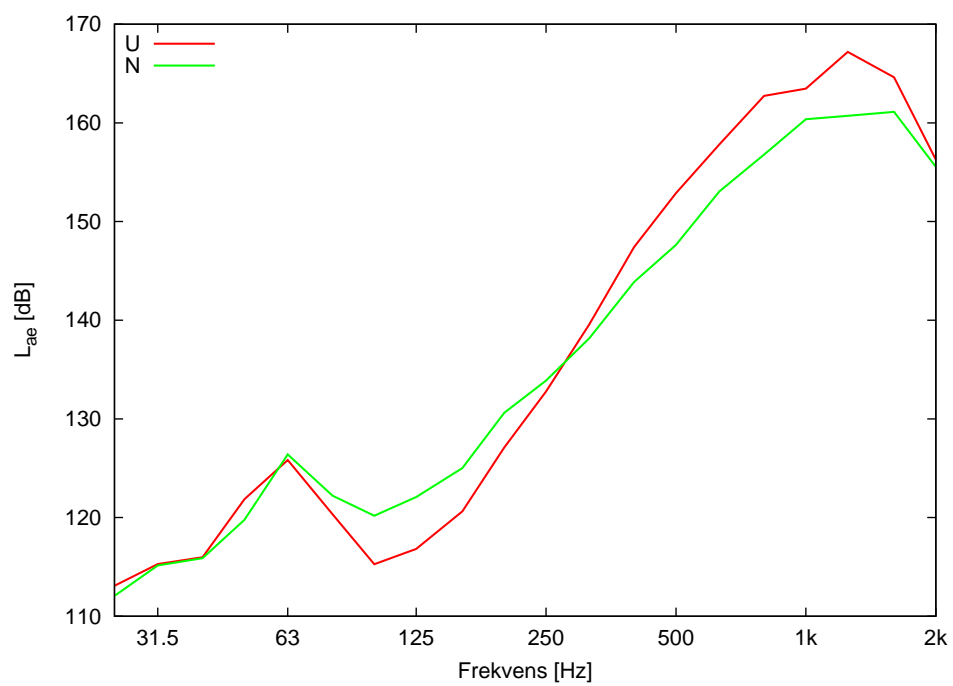
I Trunsta är spåren identiska förutom med avseende på ojämnheter, och skillnaderna i ljudstrålning är stora. I tersbanden från 500 Hz och upp till 2 kHz är skillnaderna 3.5–4 dB, se figur 3.4. För vibrationerna på rälfoten i figur 3.5 är det samma trend för höga frekvenser, men för lägre frekvenser är vibrationerna lägre på uppspåret. Möjligen skulle detta kunna tyda på att uppspåret är mindre ojämnt än nedspåret för längre våglängder. Tyvärr är antalet passager endast fyra, varför det är svårt att säga något generellt om kopplingen mellan ljudutstrålning och ytråhet, men för dessa fyra passager ger ungefär 12 dB skillnad i ytråhet ca 3.6 dB skillnad i A-vägd ljudtrycksnivå.



Figur 3.3 Inverkan av rälens ytråhet vid Bro, vibration vid rälfoten.



Figur 3.4 Inverkan av rälens ytråhet vid Trunsta mosse, ljudtryck.



Figur 3.5 Inverkan av rälens ytråhet vid Trunsta mosse, vibration vid rälfoten.

4 X60 indata för NMT 96

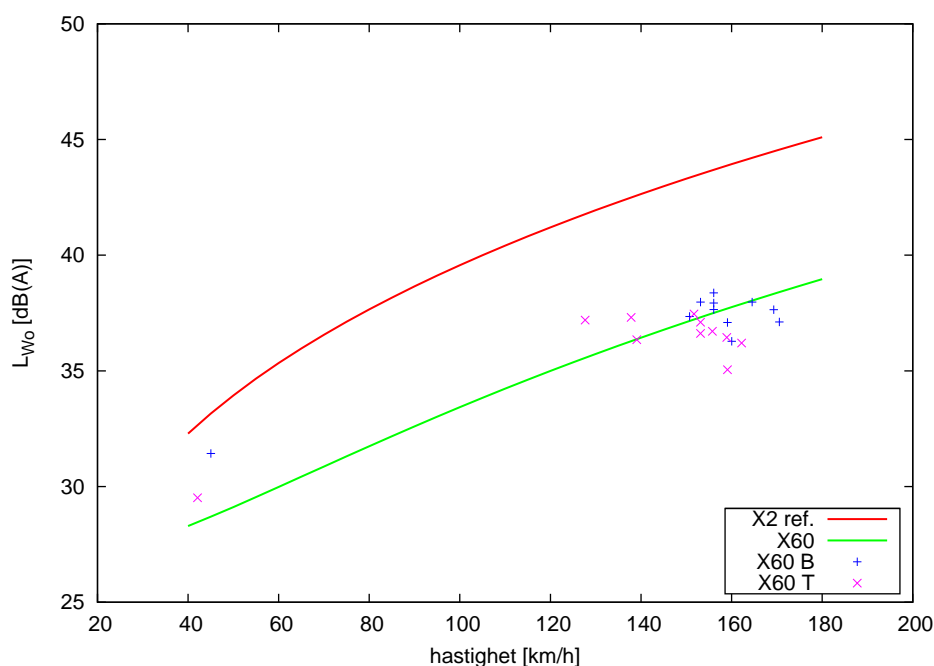
Metoden för att omvandla mätresultat till indata beskrivs i kapitel 5 i NMT 96 [1]. Man utgår då från den uppmätta SEL-nivån och korrigerar för tågets längd, mätavståndet och markdämpningen vid mätplatsen och kan slutligen beräkna en normaliserad SEL_n i varje oktavband från 63 Hz och upp till 4 kHz. Sedan gör man en regression för varje oktavband vilket ger de båda regressionsparametrarna a och b som sedan används i modellen för att beräkna ljudeffektparametern L_{W0} enligt

$$L_{W0} = a \log_{10}(v/100) + b, \quad (4.1)$$

där v är tågastigheten uttryckt i km/h. Notera att regressionen skall göras i varje oktavband och inte bara för den A-vägda nivån.

NMT 96 rekommenderar att man arbetar i hastighetsintervall om som mest 20 km/h, och att man helst skall ha minst tre tågpassager och minst en total passerad tåglängd om 500 m inom varje intervall. Tyvärr hade vi svårt att få spridning på hastigheten, och merparten av våra passager vid första mätplatsen är i intervallet 150–170 km/h. Vi har dock ett fåtal passager utanför detta intervall och anser att vi relativt väl kan ange bullernivån i alla fall i intervallet 100–180 km/h.

Resultatet av regressionsanalysen presenteras i figur 4.1 och 7.1 tillsammans med data för X2 som referens.



Figur 4.1 A-vägd källstyrka för X60, + anger uppspåret (betongsliper), × nedspåret (träsliper).

För att ta hänsyn till skillnaderna mellan upp- och nedspåret så beräknas en korrektion för skillnaden med hjälp av att göra en separat regressionsanalys för respektive spår. Korrektionen beräknas genom att i varje frekvensband justera nivån från ett av spåren så att skillnaden mellan spåren minimeras. Resultatet presenteras i tabell 4.1, positivt värde innebär att uppspåret är bullrigare än nedspåret (med träsliper). De slutliga koefficienterna efter att korrektionerna lagts till alla passager på nedspåret och på så sätt normaliserat alla passager till uppspårets egenskaper, finns i tabell 4.2.

För att undvika att ljudnivån blir för hög vid mycket låga hastigheter sattes ett bivillkor att a -koefficienterna skall vara större än 0, dvs. att ljudutstrålningen skall öka med hastigheten i alla oktavband. Detta påverkade endast bandet 500 Hz, där a utan detta villkor skulle bli -6.7 . Denna förändring har dock mycket ringa påverkan vid högre hastigheter (< 1 dB) varför det är en god approximation som ser till att metoden inte ger orimligt höga värden om någon försöker använda dessa indata vid mycket låga hastigheter.

Tabell 4.1 Korrektion för nedspåret (träsliper och mindre effekt av räfflor och vågor)

Frekvens	Korrektion
63 Hz	3.8
125 Hz	3.0
250 Hz	1.7
500 Hz	1.0
1000 Hz	0.0
2000 Hz	1.3
4000 Hz	-0.8

Tabell 4.2 Indata för X60 till NMT 96

Frekvens	a	b
63 Hz	21.7	26.6
125 Hz	17.0	25.1
250 Hz	9.3	26.3
500 Hz	0.0	29.6
1000 Hz	19.0	29.7
2000 Hz	30.5	27.2
4000 Hz	22.1	17.3

5 X60 indata för Nord2000

Analysen för Nord 2000 liknar den för NMT 96, men den stora skillnaden är att indata skall vara i tersband från 25 Hz upp till 10 kHz. Metoden utgår ifrån SEL-nivån (som här betecknas $L_{E,7.5m}$) och man korrigerar för hastighet v och tåglängd l enligt

$$L_{W,1m} = L_{E,7.5m} + C_{7.5m} + 10 \log_{10} \left(\frac{v}{100} \right) - 10 \log_{10}(l). \quad (5.1)$$

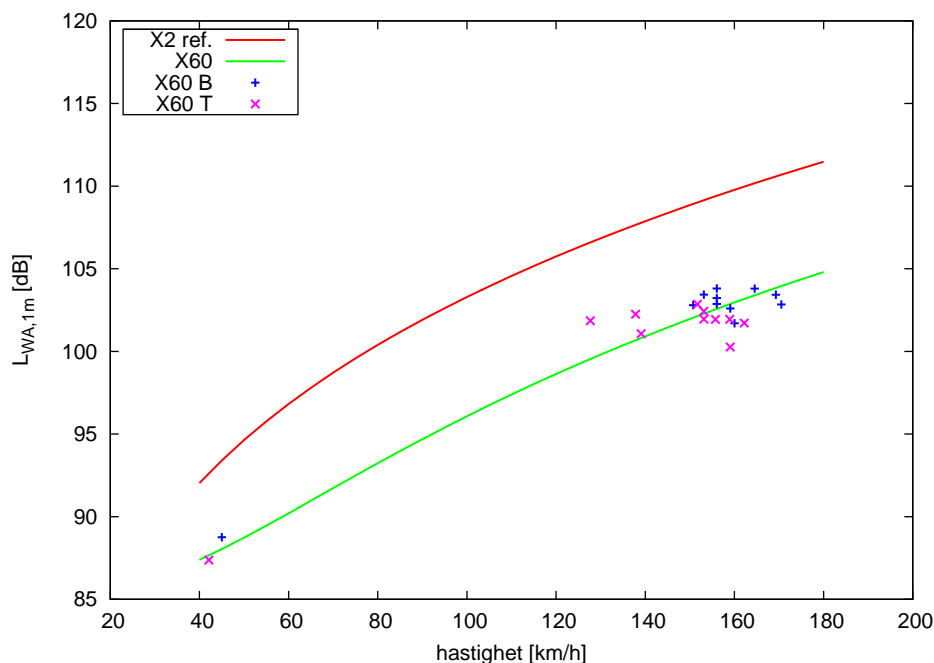
$C_{7.5m}$ är en korrektionsfaktor för markdämpning och mätavstånd och beräknas med utbredningsmodellen i Nord 2000 tillsammans med markprofilen.

Parametrarna a och b bestäms med hjälp av regressionsanalys på samma sätt som för NMT 96 men i varje tersband istället för oktavband, och sedan kan källstyrkan beräknas enligt

$$L_{W,1m} = a \log_{10} \left(\frac{v}{100} \right) + b, \quad (5.2)$$

se [2]. Resultatet redovisas i figur 5.1 och tabell 5.1. Notera att a och b inte beskriver exakt samma variabel i de båda modellerna, dels på grund av skillnader i källmodellen och dels på grund av olika grundantaganden. Alltså kan man inte direkt jämföra värdena, men i båda fallen beskriver a hur mycket bullernivån i respektive band ökar när hastigheten ökar.

Observera att eftersom dessa data räknats fram direkt för Nord2000 och inte indirekt via NMT96 så skall man inte använda korrektionen för låga frekvenser, se [2, tabell A.2]. Eftersom motorerna för X60 är placerade i boggiekonstruktionen och det inte finns något lokomotiv i den meningen att motorerna bara finns i ena änden av tågsättet, så är det inte heller tillämpligt med den högre källhöjden för motorn, se [2, tabell A.3].



Figur 5.1 A-vägd källstyrka för X60, + anger uppspår (betongsliper), × nedspår (träsliper).

Tabell 5.1 Indata för X60 till Nord 2000

Frekvens	<i>a</i>	<i>b</i>
25 Hz	41.5	83.2
31 Hz	42.4	82.9
40 Hz	42.6	82.8
50 Hz	33.8	83.3
63 Hz	31.9	87.7
80 Hz	31.5	85.8
100 Hz	28.0	82.3
125 Hz	26.8	81.4
160 Hz	26.1	80.8
200 Hz	24.3	80.5
250 Hz	20.1	81.4
315 Hz	16.5	83.3
400 Hz	0.9	86.3
500 Hz	1.3	86.9
630 Hz	16.8	85.4
800 Hz	27.5	86.7
1000 Hz	29.9	87.1
1250 Hz	31.6	85.4
1600 Hz	42.1	87.8
2000 Hz	40.6	87.6
2500 Hz	36.8	83.0
3150 Hz	32.8	80.0
4000 Hz	30.2	76.0
5000 Hz	32.3	74.0
6300 Hz	34.0	75.7
8000 Hz	35.1	71.9
10000 Hz	28.7	72.5

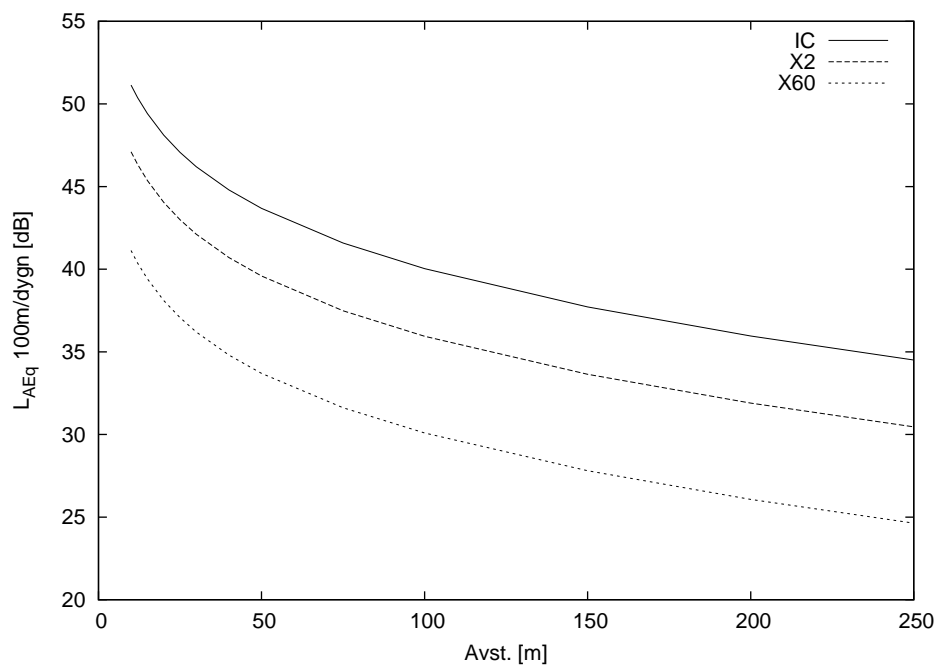
6 Jämförelse mot befintliga data

För att jämföra indata med de data som redan finns tillgängliga för andra tågtyper gjordes två beräkningar, en med NMT96 och en med Nord2000. I båda fallen antogs ett beräkningsfall med plan mark med samma höjd som banvallen, och rälsöverkant antogs ligga 20 cm över marknivån. För NMT96 antogs mjuk mark, och för Nord2000 markklass D. För Nord2000 måste man dessutom ange parametrarna som redovisas i tabell 6.1, notera att beräkningen är i ett medvindsfall vid en vindhastighet på 5 m/s.

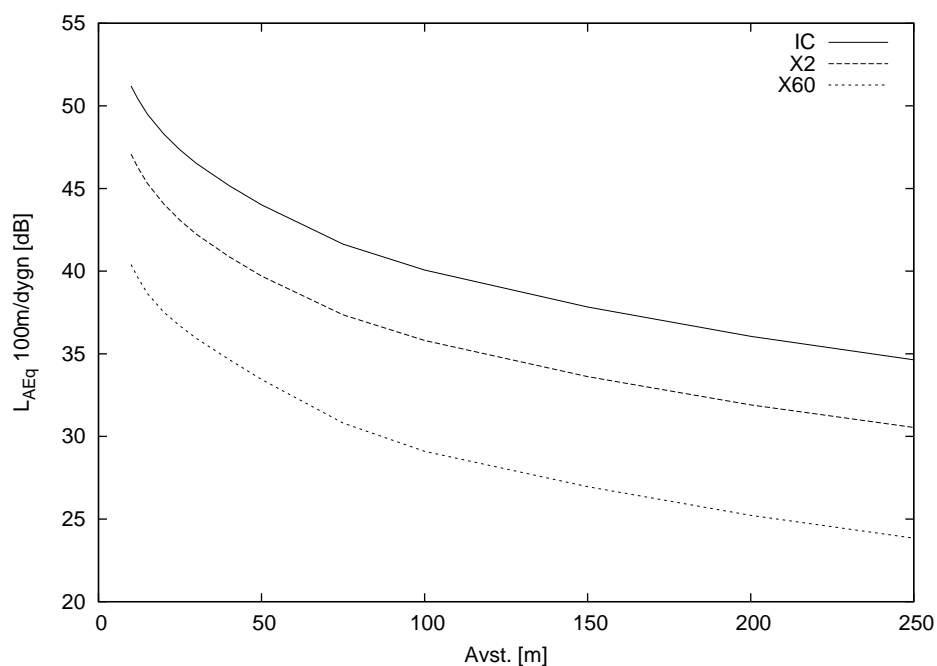
Tabell 6.1 Beräkningsparametrar för Nord2000

Parameter	Värde
Mottagarhöjd h_r	2 m
Ytråhet z_0	0.1 m
Vindriktning v	0 (vind från källa till mott.)
Vindhastighet 10 m över mark u	5 m/s
Temperatur t_0	15 C
Temp.gradient $\partial t / \partial z$	0 K/M
Turbulens, vind C_v^2	0.12 m ^{4/3} /s ²
Turbulens, temp. C_t^2	0.008 K/s ²
Luftfuktighet RH	70 %

Utifrån indata från respektive modell för IC-tåg (RC-lok och vagnar) och snabbtåget X2 beräknades den dygnskvivalenta nivån vid en enstaka passage med ett 100 m långt tåg-sätt med hastigheten 150 km/h för avstånd mellan 10 – 250 m från spårmittpunkt. Tåglängden 100 m valdes som ett sätt att jämföra de olika tågtyperna, som ju i ett verkligt fall skulle vara olika långa. Resultatet redovisas i figur 6.1 och 6.2. Beräkningarna visar att X60 är ca 6 dB mindre bullrigt per meter än X2 (ca 10 dB jämfört med IC-tåg) vid 150 km/h för alla avstånd. Beräkningarna genomfördes också för ett skärmat fall med en 3.5 m hög skärm vilket gav i stort sett samma skillnader mellan tågtyperna och därför inte redovisas här i detalj. Beräkningarna med Nord2000 ger nästan identiska resultat, se figur 6.2. Detta gäller även fallet med skärmning.



Figur 6.1 Jämförelse beräknad med NMT96 mellan den dygnsekvivalenta nivån på olika avstånd från en tågpassage med en tåglängd om 100 m och hastighet 150 km/h (IC-tåg, X2 och X60).

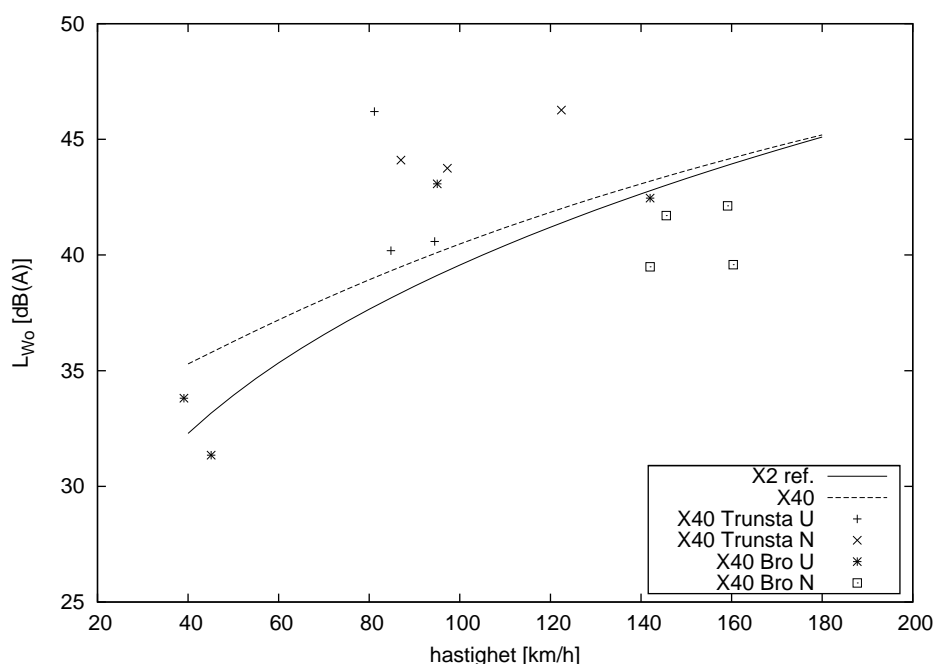


Figur 6.2 Jämförelse beräknad med Nord2000 mellan den dygnsekvivalenta nivån på olika avstånd från en tågpassage med en tåglängd om 100 m och hastighet 150 km/h (IC-tåg, X2 och X60).

7 Resultat för X40

För X60 ser resultaten rimliga ut men för X40 är det stor spridning. Spridningen beror dels på att mätningarna på X40 skedde på två olika mätplatser men också på att skillnaderna mellan olika individer verkar vara betydligt större för X40 än för X60. Detta i sin tur skulle kunna bero på olika underhållsstatus på hjulen eller möjligen på olika driftsfall för fläktsystem osv som inte enbart styrs av tågets hastighet. En annan uppenbar skillnad är att tågsätten skiljer i sammansättning, vilket skulle kunna bidra om de olika ingående vagnarna är olika ur bullersynpunkt. Skillnaden i total längd skall dock kompenseras av beräkningsmetoden.

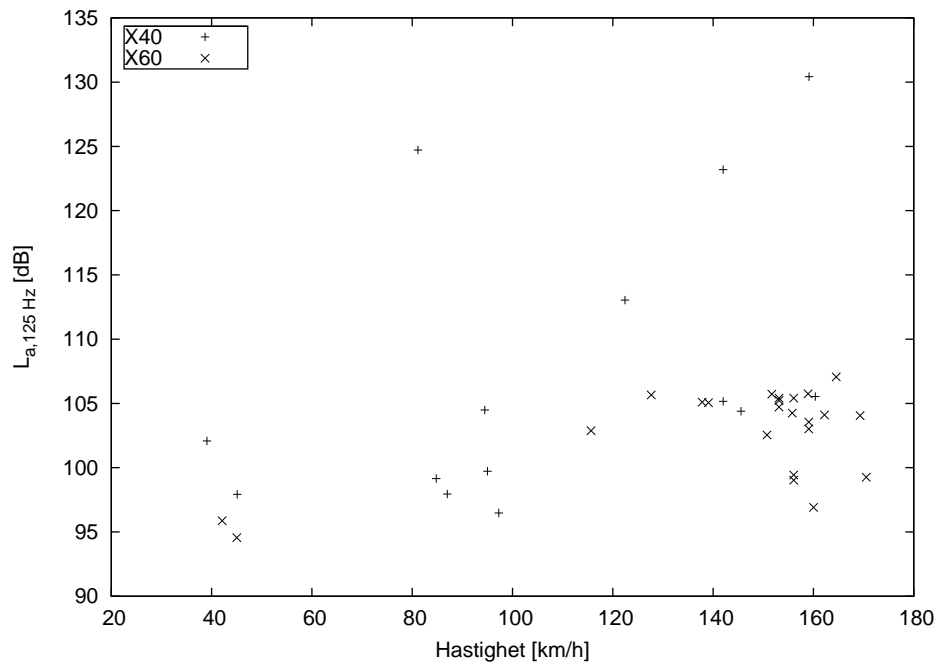
I figur 7.1 presenteras regressionsanalysen för NMT96 tillsammans med mätresultaten både från Bro och Trunsta och en referens i form av data för snabbtåget X2. En tydlig trend är att mätningarna på nedspåret vid Bro (med träsliper och högre ytråhet) är betydligt lägre än övriga passager.



Figur 7.1 A-vägd källstyrka för X40.

Vibrationerna på rälfoten redovisas i figur 7.2 som ett energimedelvärde av accelerationsnivån i tersbandet 125 Hz, och då är det tydligt att vibrationerna sprider mycket mer för X40 än för X60. För X60 finner man majoriteten av mätningarna inom ett intervall på 10 dB, men för X40 är spridningen ca 35 dB. Detta skulle kunna indikera sämre hjulstatus, men bilden är mer komplex än så eftersom inte alla bullriga passager sammanfaller med höga vibrationsnivåer. Det är dock viktigt att påpeka att vibrationerna bara mäts på en räl, och ett dåligt hjul kan därför passera på den andra rälen och ge höga bullernivåer men inga vibrationer.

För att komma till rätta med indata för X40 krävs fler mätningar och information om vilka individer som passerar så att skillnader i sammansättning osv kan följas upp. Trafiksituationen är sådan vid båda mätplatserna att man kan förvänta sig ungefär åtta passager under en mättag som omfattar åtta timmar. För att få bättre underlag för att bestämma bulleregenskaperna krävs minst 20 passager till fördelade över olika hastigheter samt information om underhållsstatus på hjulen hos respektive individ.



Figur 7.2 Vibration på rälfoten i tersbandet 125 Hz.

Tills dess att bättre data finns tillgängligt är det lämpligt att använda data för X2 för att beräkna buller från X40. Men som synes i figur 7.1 kan man förvänta sig en del passager som ger upp till 6 dB högre nivåer. Att istället använda data för X60 ger en kraftig underskattning.

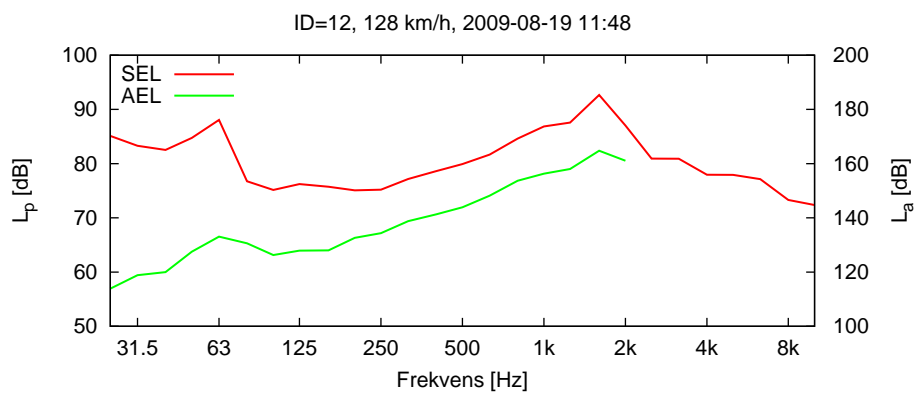
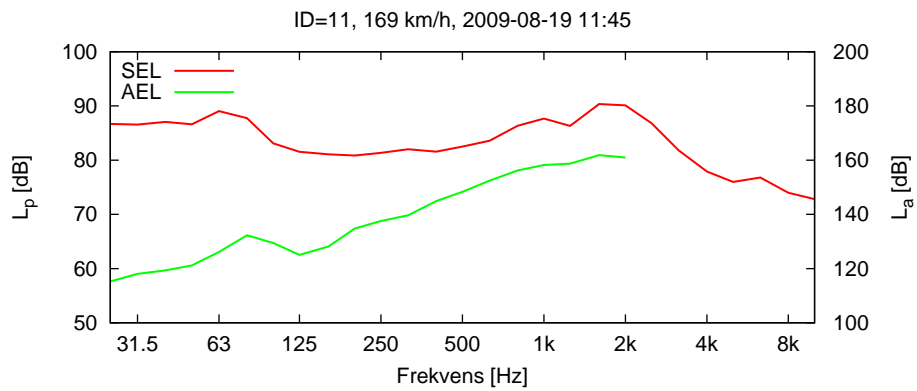
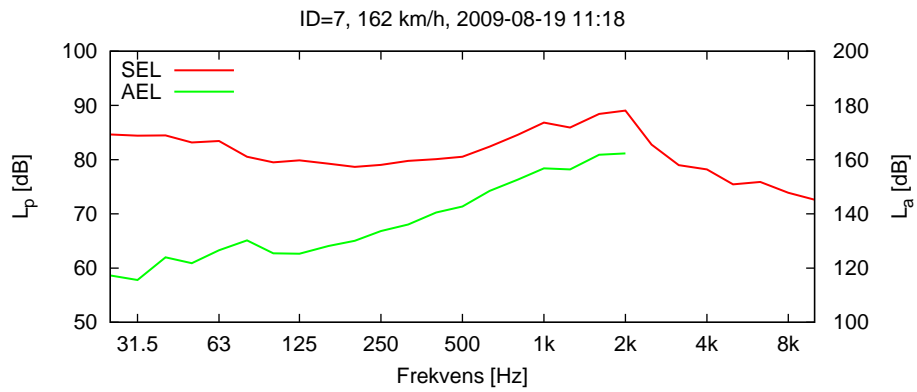
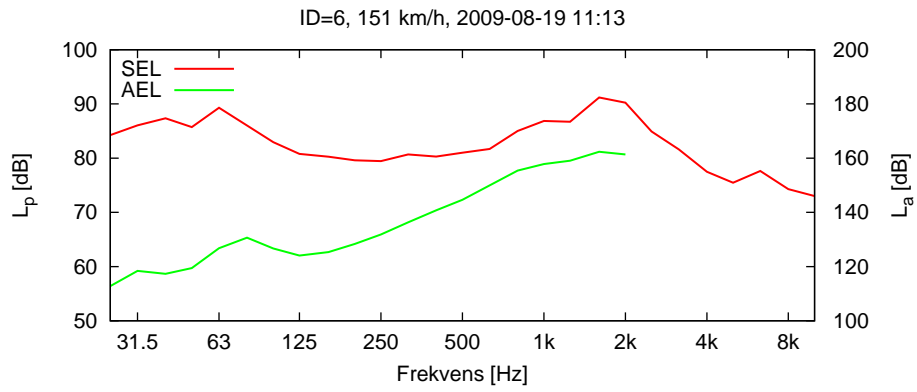
Referenser

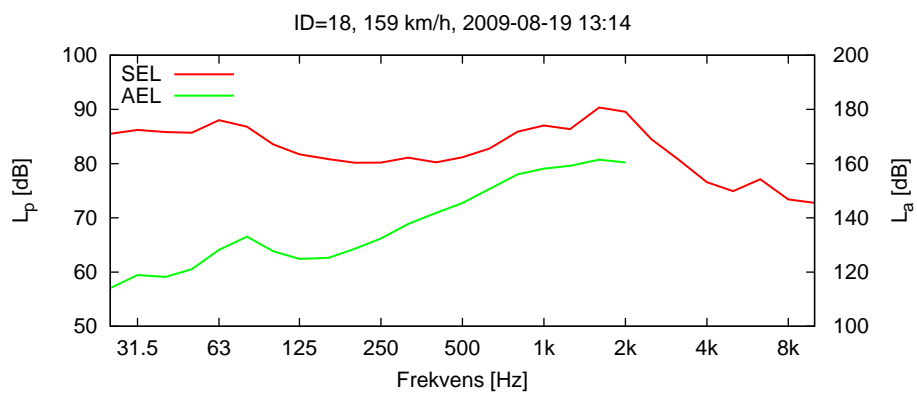
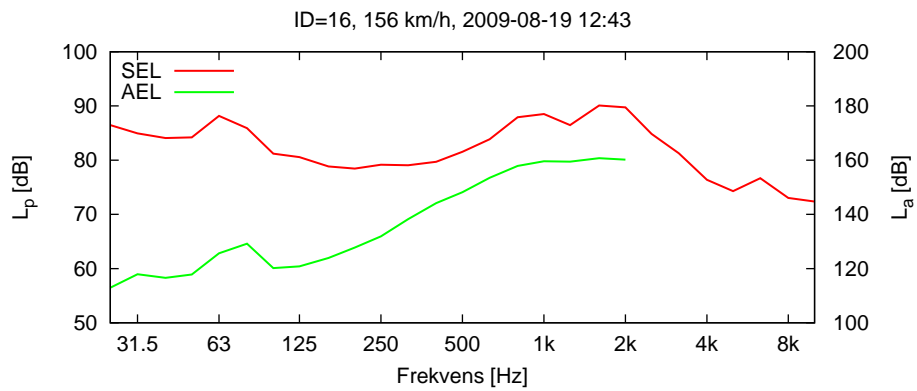
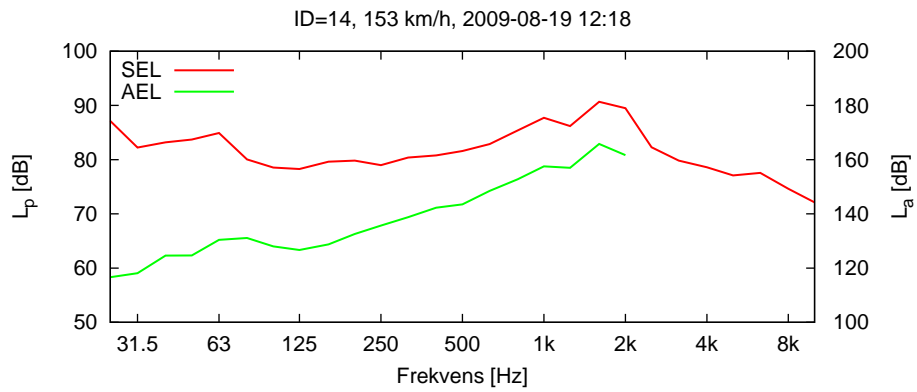
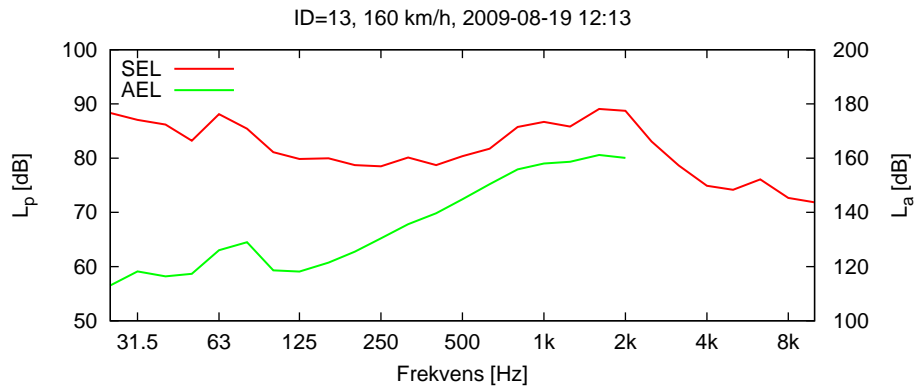
- [1] Naturvårdsverket. Buller från spårburen trafik – Nordisk beräkningsmodell. Rapport 4935, Naturvårdsverket (Swedish Environmental Protection Agency), Stockholm, 1996.
- [2] Hans Jonasson och Svein Storeheier. Nord 2000. New nordic prediction method for rail traffic noise. SP Rapport 2001:11, Borås, 2001.
- [3] Tomas Jerson. Bulleremission från nya svenska tågtyper. WSP Rapport Littera 10026007, Göteborg, 2004.
- [4] ISO. Railway applications – acoustics – measurement of noise emitted by railbound vehicles. EN ISO 3095:2005, 2005.
- [5] Björn Svanberg. Tillståndsbedömning av räfflor och vågor med hjälp av tersbandsdiagram. Verksamhetssystemet handbok BVH 1588, Banverket, 2008.
- [6] Clara Göransson och Tomas Ström. Externt buller från svenska tågtyper – nya indata till den nordiska beräkningsmodellen. SP Rapport 1994:25, Borås, 1994.

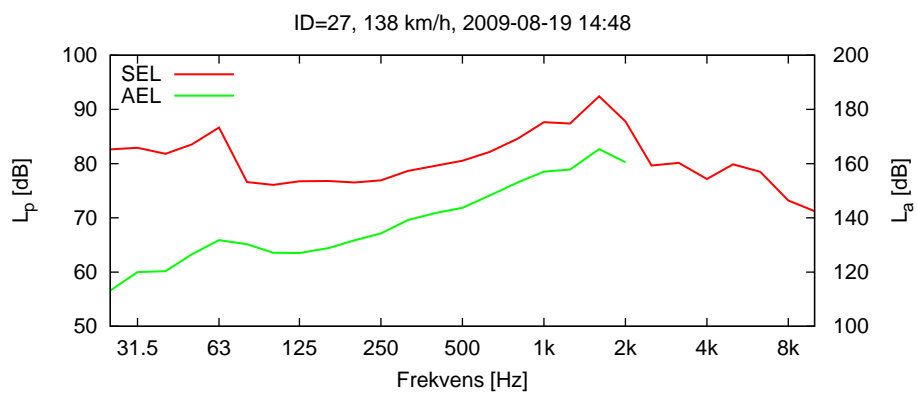
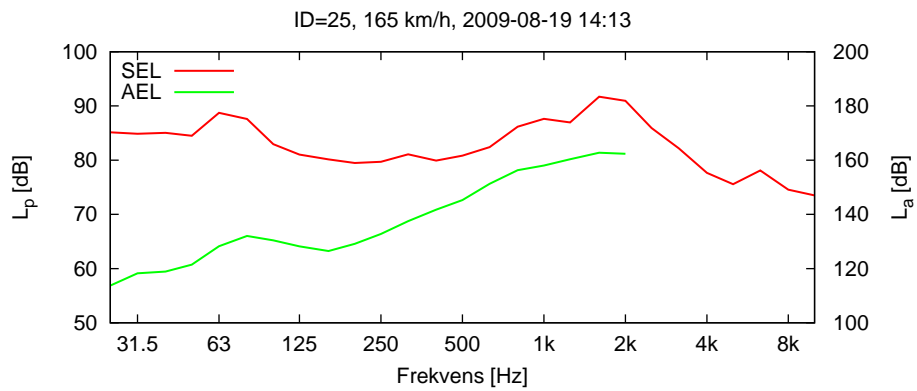
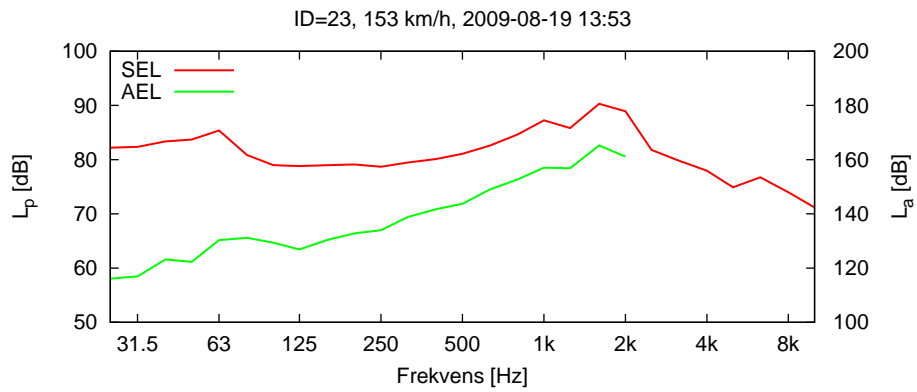
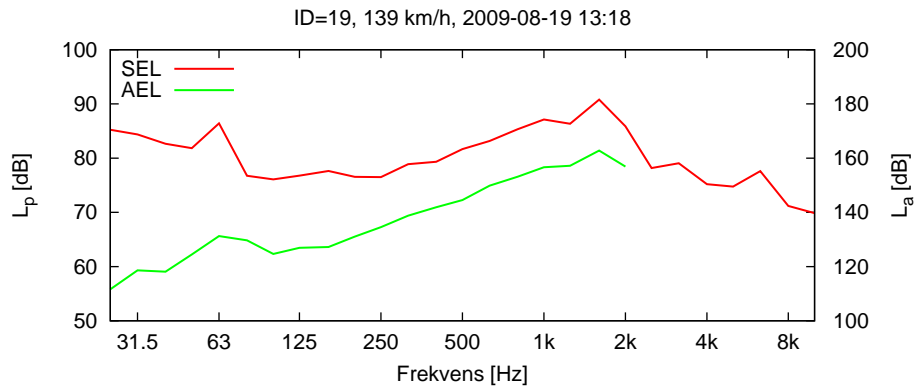
Appendix X60

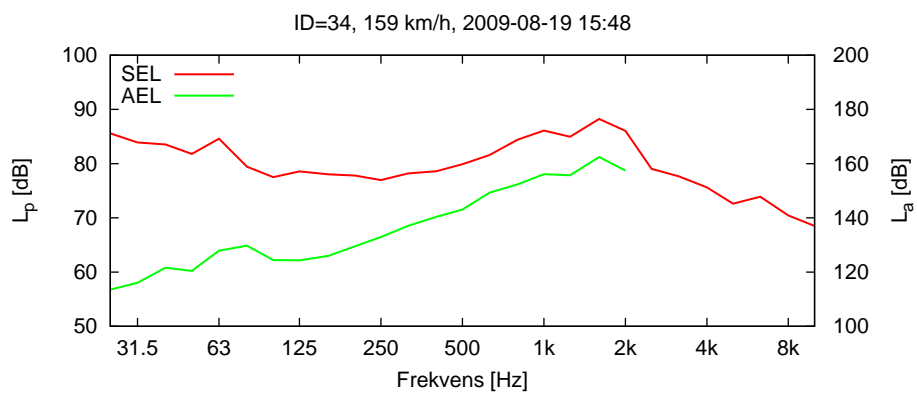
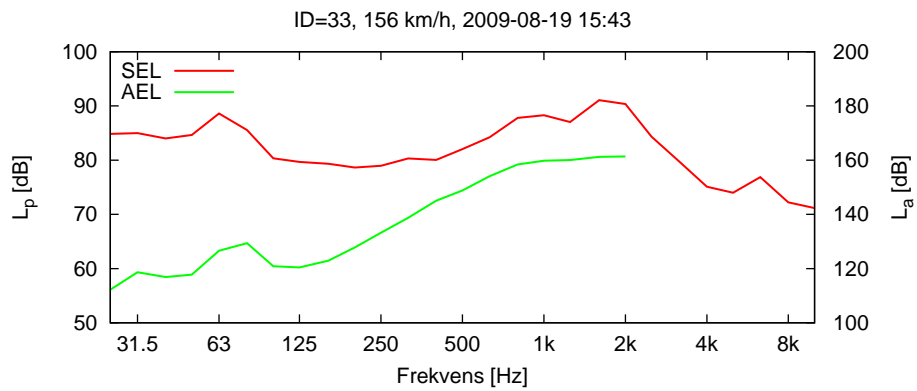
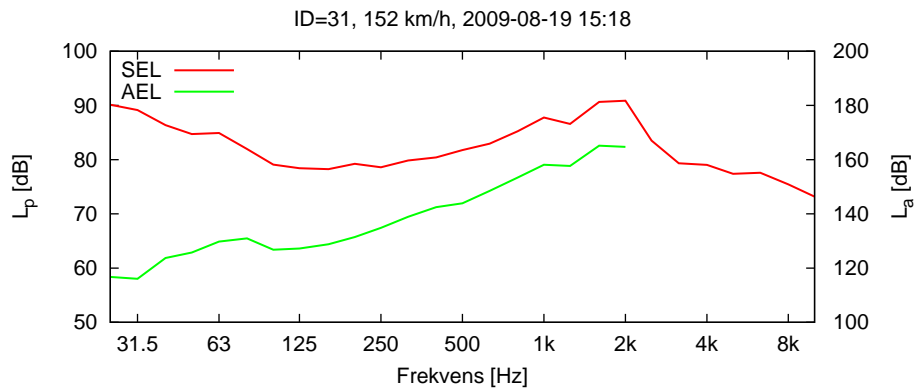
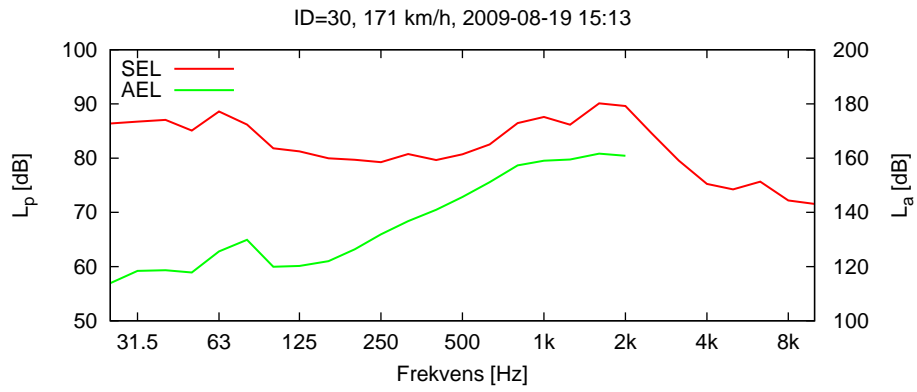
I detta appendix redovisas alla uppmätta passager av X60 i tabellform och som ett SEL-spektrum av både ljudnivå och vibrationsnivå nedan. Alla mätningar genomfördes på mätplatsen vid Bro.

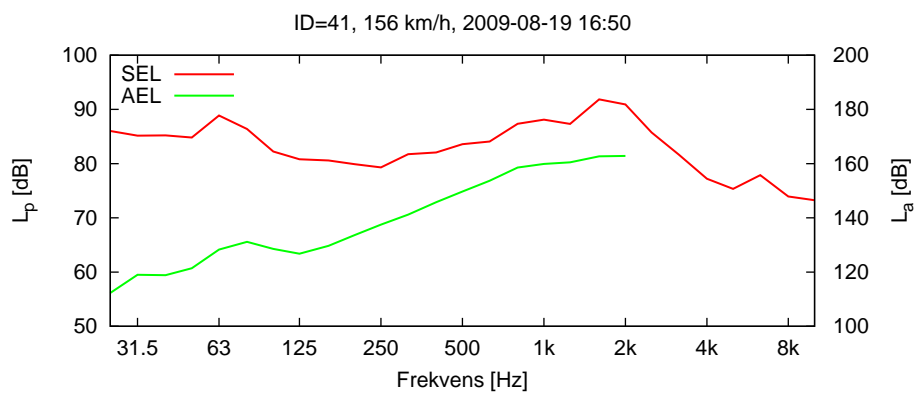
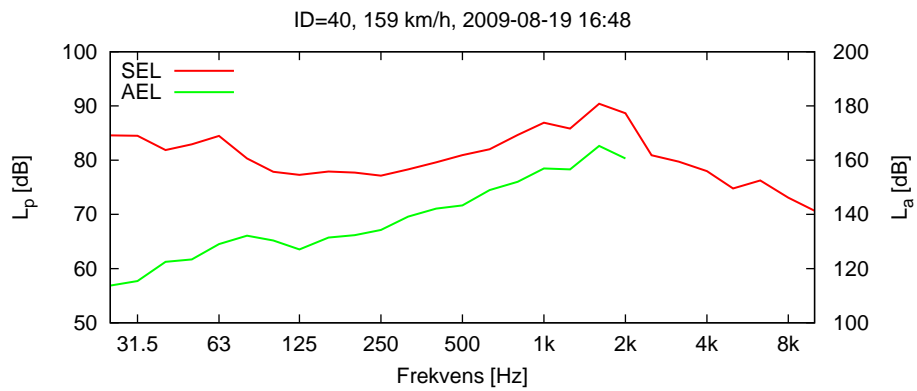
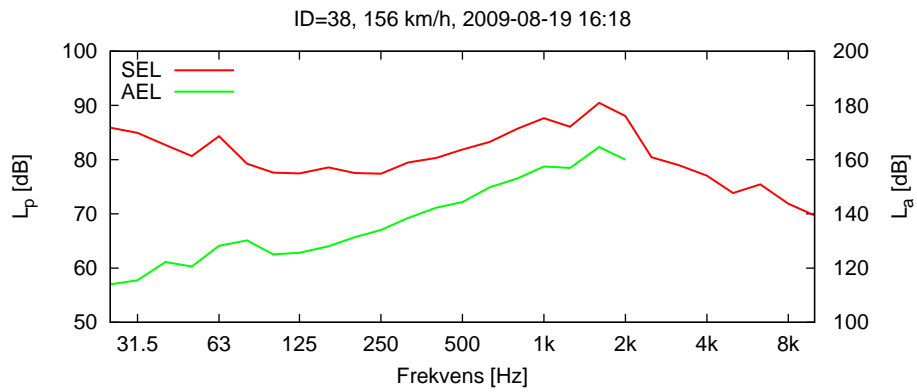
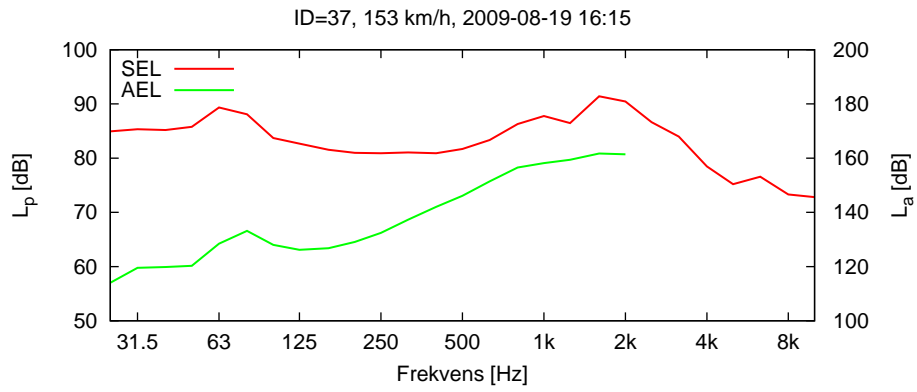
ID	Hast. km/h	Spår	B/T	Längd m	SEL dB	MAX dB	Datum och tid
6	151	U	B	214	97.3	92.0	2009-08-19 11:13
7	162	N	T	214	95.9	91.2	2009-08-19 11:18
11	169	U	B	214	97.4	92.6	2009-08-19 11:45
12	128	N	T	214	97.1	91.8	2009-08-19 11:48
13	160	U	B	214	96.0	91.5	2009-08-19 12:13
14	153	N	T	214	96.9	91.9	2009-08-19 12:18
16	156	U	B	214	97.2	92.1	2009-08-19 12:43
18	159	U	B	214	96.9	91.9	2009-08-19 13:14
19	139	N	T	214	95.9	90.5	2009-08-19 13:18
23	153	N	T	214	96.4	91.4	2009-08-19 13:53
25	165	U	B	214	97.9	92.8	2009-08-19 14:13
27	138	N	T	214	97.2	92.0	2009-08-19 14:48
30	171	U	B	214	96.8	92.6	2009-08-19 15:13
31	152	N	T	214	97.3	92.3	2009-08-19 15:18
33	156	U	B	214	97.6	92.4	2009-08-19 15:43
34	159	N	T	214	94.6	90.7	2009-08-19 15:48
37	153	U	B	214	97.9	93.1	2009-08-19 16:15
38	156	N	T	214	96.3	91.6	2009-08-19 16:18
40	159	N	T	214	96.2	91.6	2009-08-19 16:48
41	156	U	B	214	98.2	93.3	2009-08-19 16:50
43	42	N	T	214	87.4	78.4	2009-08-19 17:23
45	45	U	B	214	88.5	78.5	2009-08-19 17:34

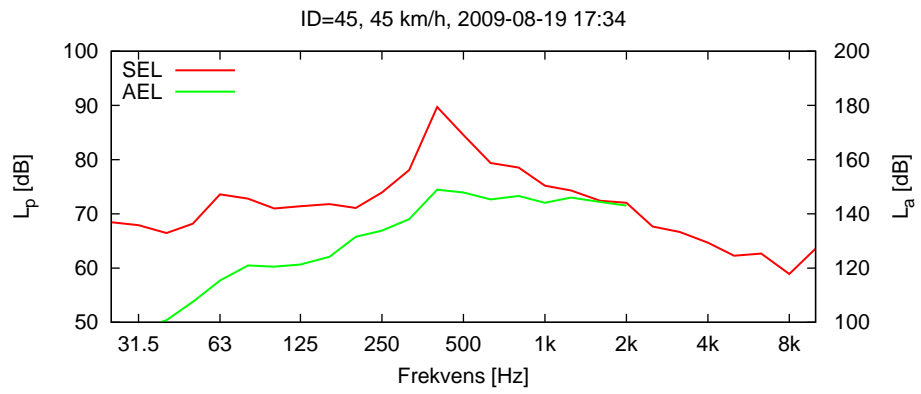
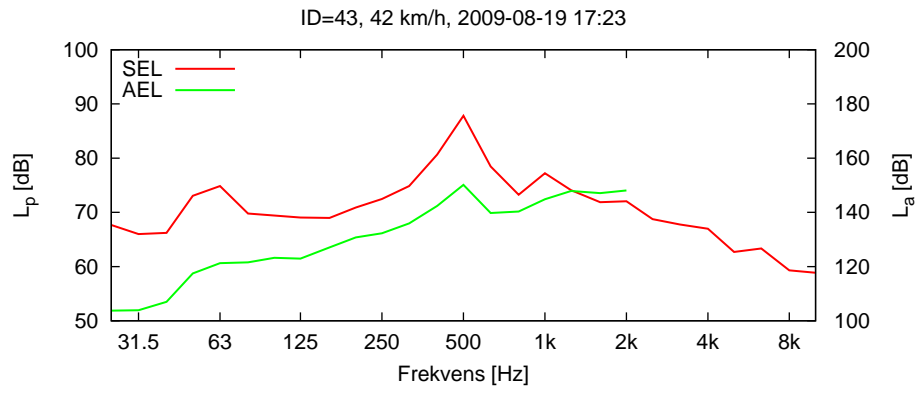








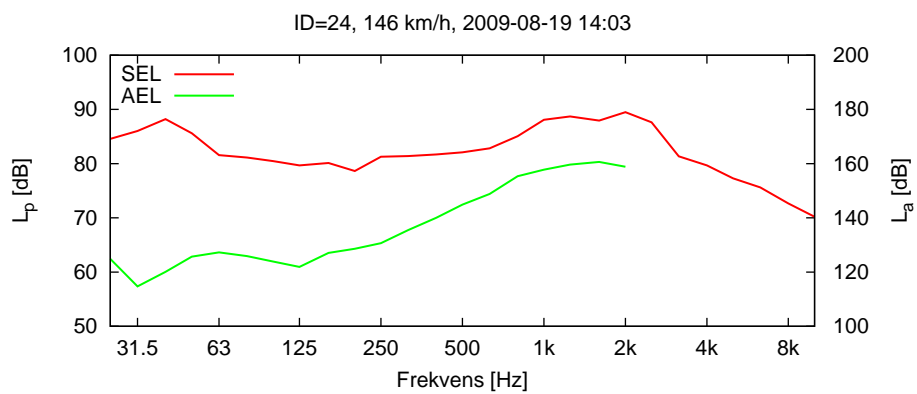
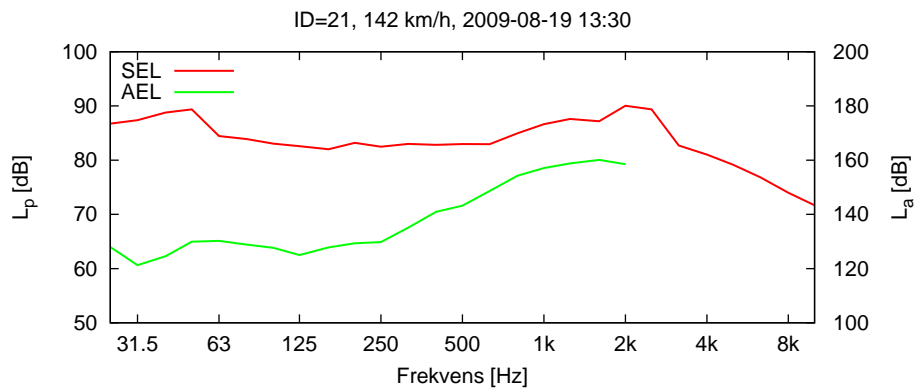
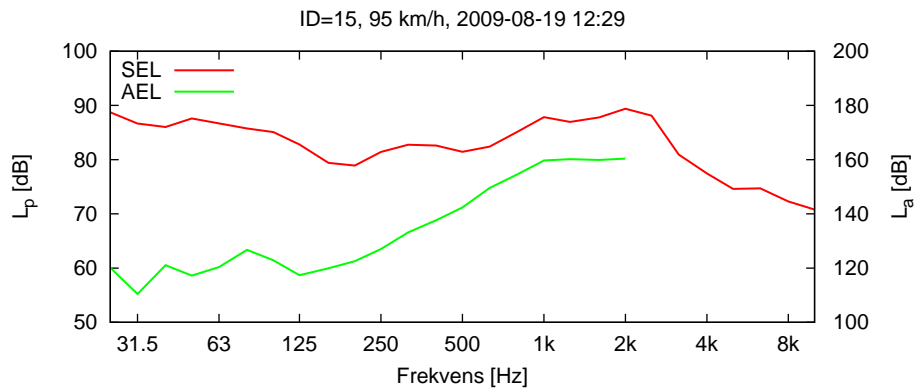
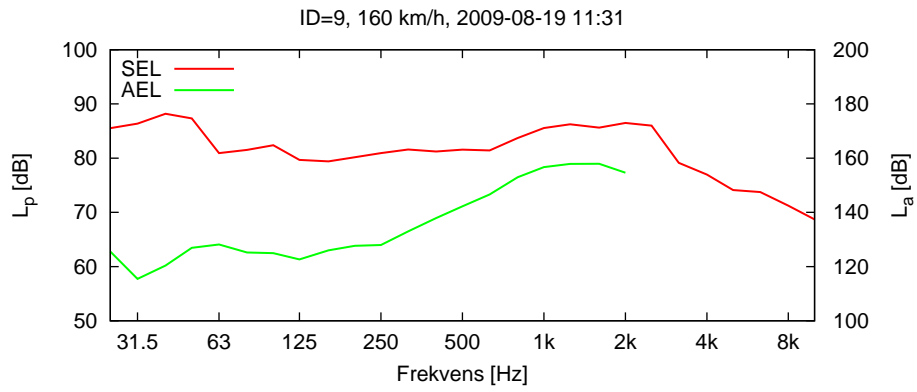


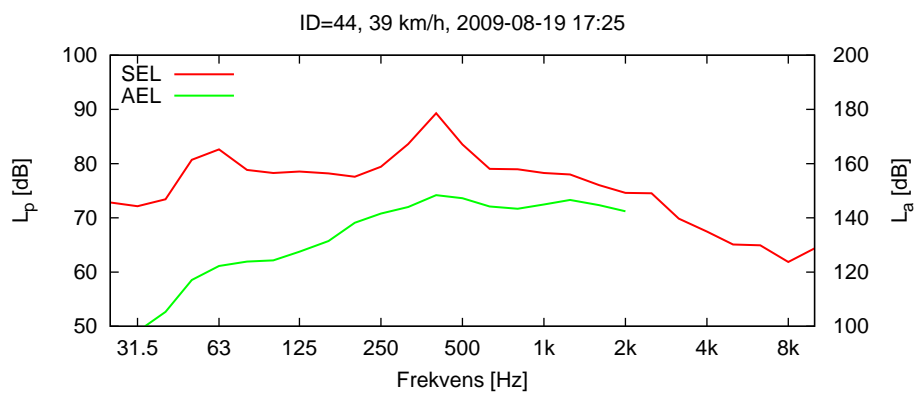
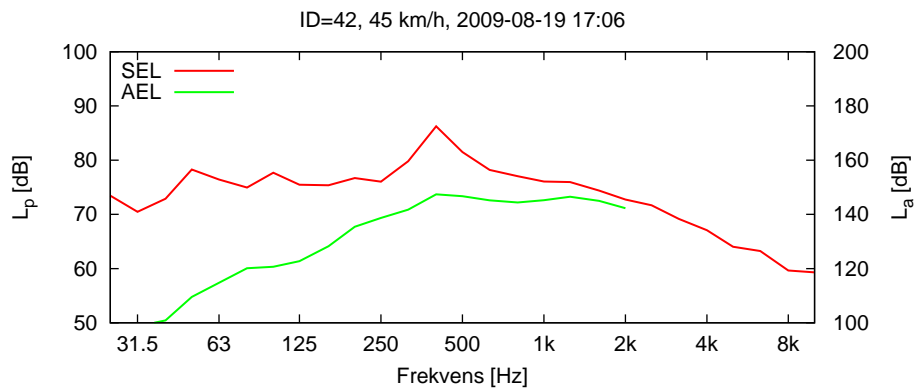
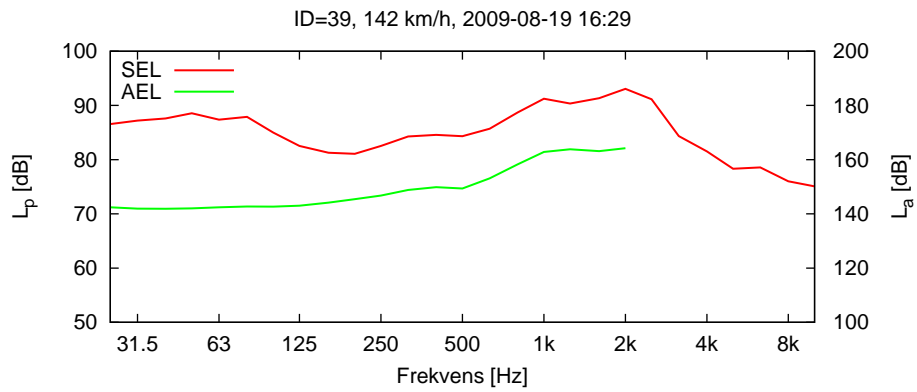
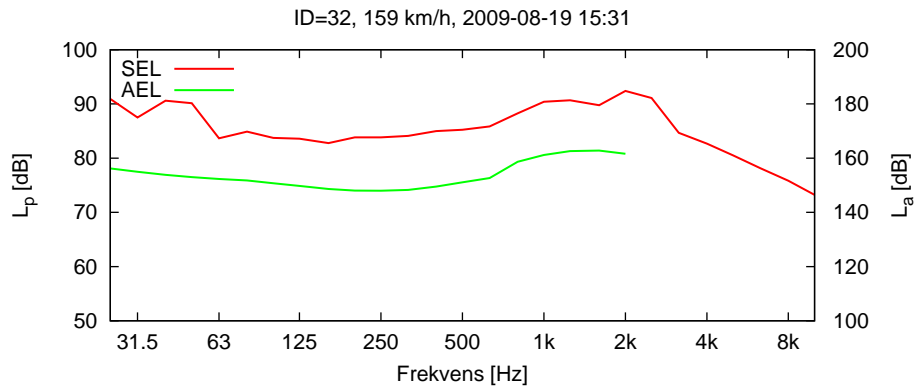


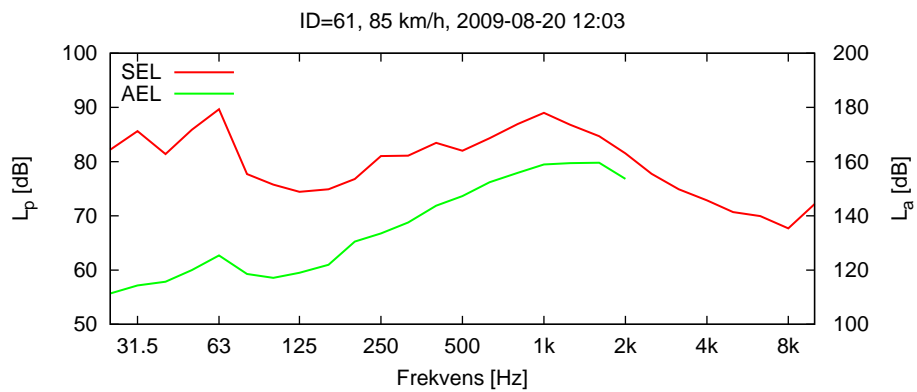
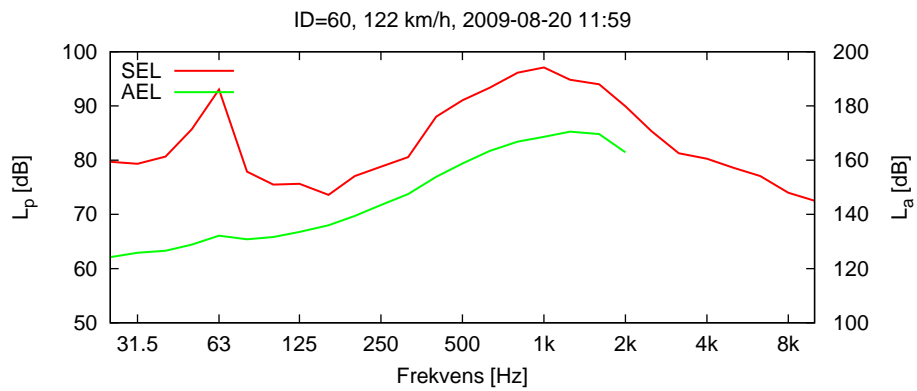
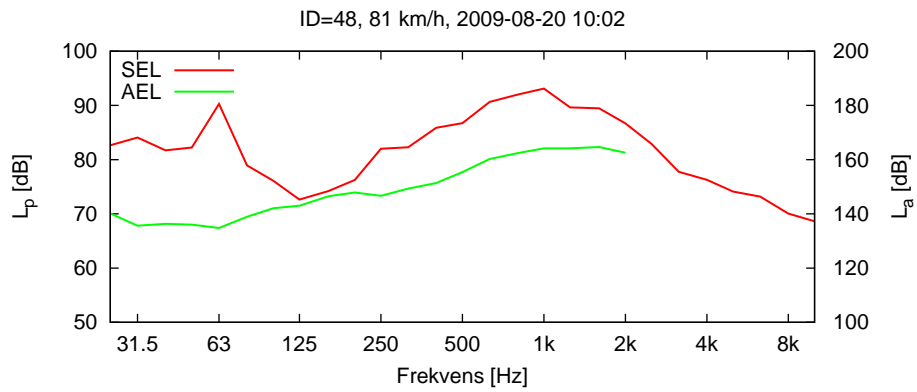
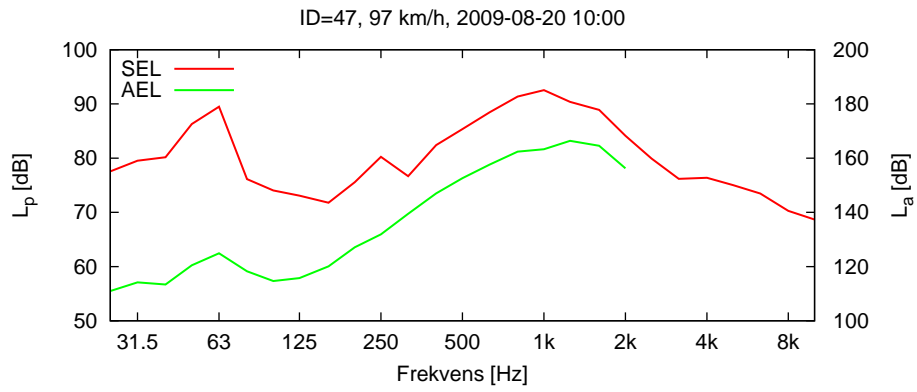
Appendix X40

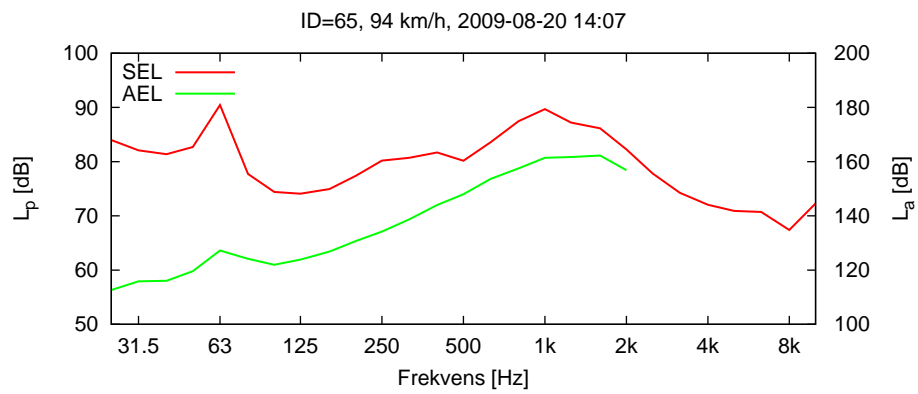
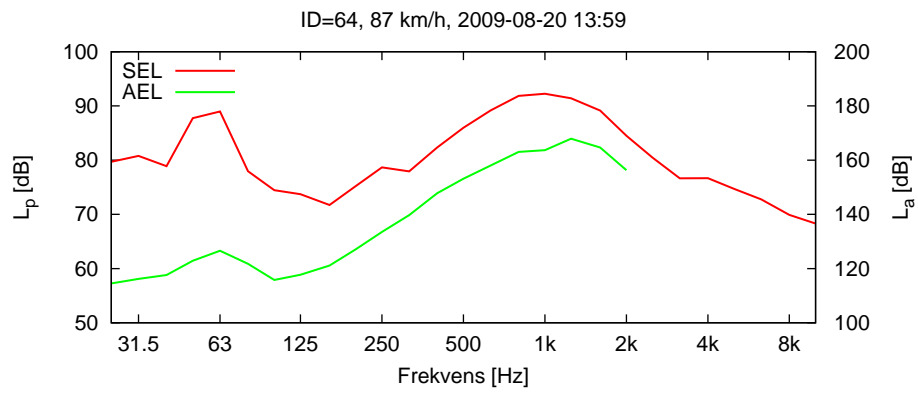
I detta appendix redovisas alla uppmätta passager av X40 i tabellform och som ett SEL-spektrum av både ljudnivå och vibrationsnivå nedan. Mätningarna daterade 2009-09-19 genomfördes på mätplatsen vid Bro, och de daterade 2009-08-20 vid Trunsta mosse.

ID	Hast. km/h	Spår	B/T	Längd m	SEL dB	MAX dB	Datum och tid
9	160	N	T	82	95.0	95.7	2009-08-19 11:31
15	95	U	B	55	96.9	97.5	2009-08-19 12:29
21	142	N	T	137	97.4	95.5	2009-08-19 13:30
24	146	N	T	82	97.2	97.1	2009-08-19 14:03
32	159	N	T	137	99.9	98.6	2009-08-19 15:31
39	142	U	B	137	100.3	98.1	2009-08-19 16:29
42	45	U	B	137	87.1	80.4	2009-08-19 17:06
44	39	U	B	137	89.4	82.4	2009-08-19 17:25
47	97	U	B	82	98.1	95.6	2009-08-20 10:00
48	81	N	B	55	98.9	99.5	2009-08-20 10:02
60	122	U	B	137	102.9	100.5	2009-08-20 11:59
61	85	N	B	82	94.6	92.5	2009-08-20 12:03
64	87	U	B	82	98.5	95.8	2009-08-20 13:59
65	94	N	B	82	95.1	92.5	2009-08-20 14:07





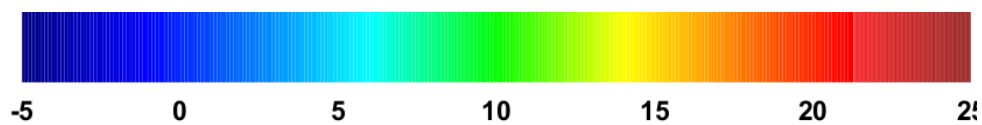


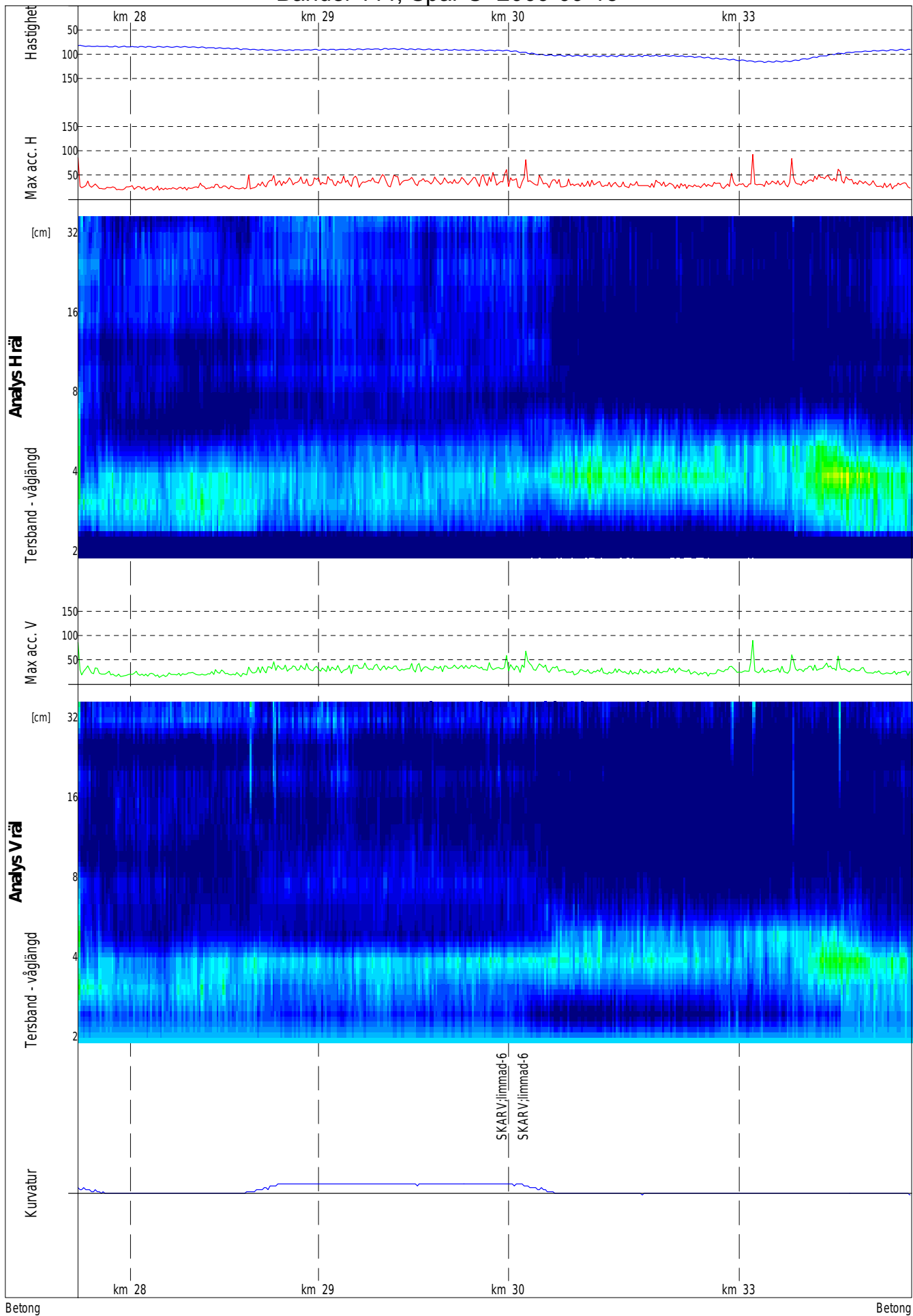


Mätningar med STRIX

Utdrag ur mätprotokoll med STRIX-systemet. Bandel och beteckningar för respektive mätplats finns i tabell 2.2, och färgskalan återfinns i figur 7.3 nedan. Positivt värde innebär att kravprofilen överskrids.

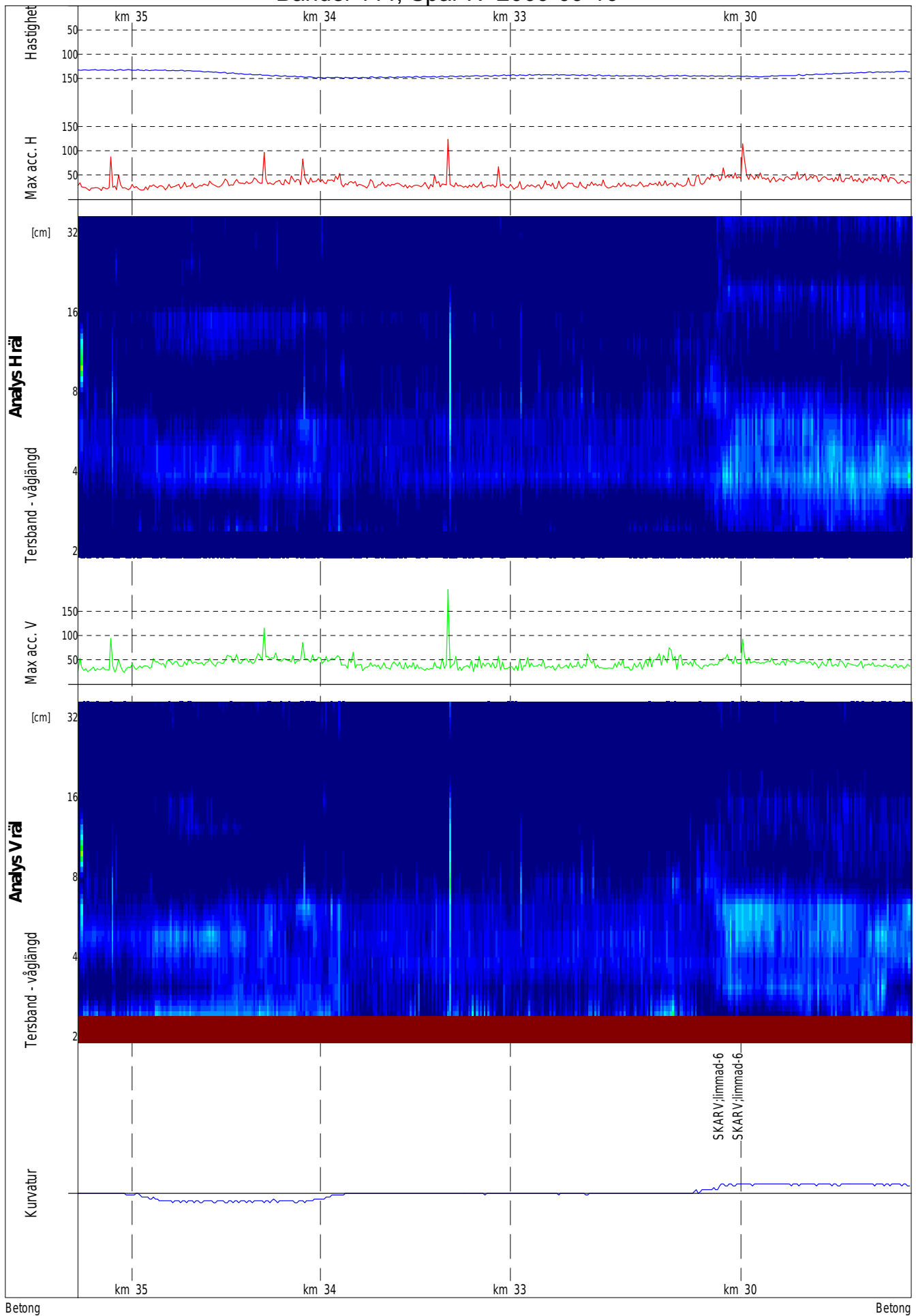
Figur 7.3 Färgskala i dB relativt kravprofilen i SS EN ISO 3095.

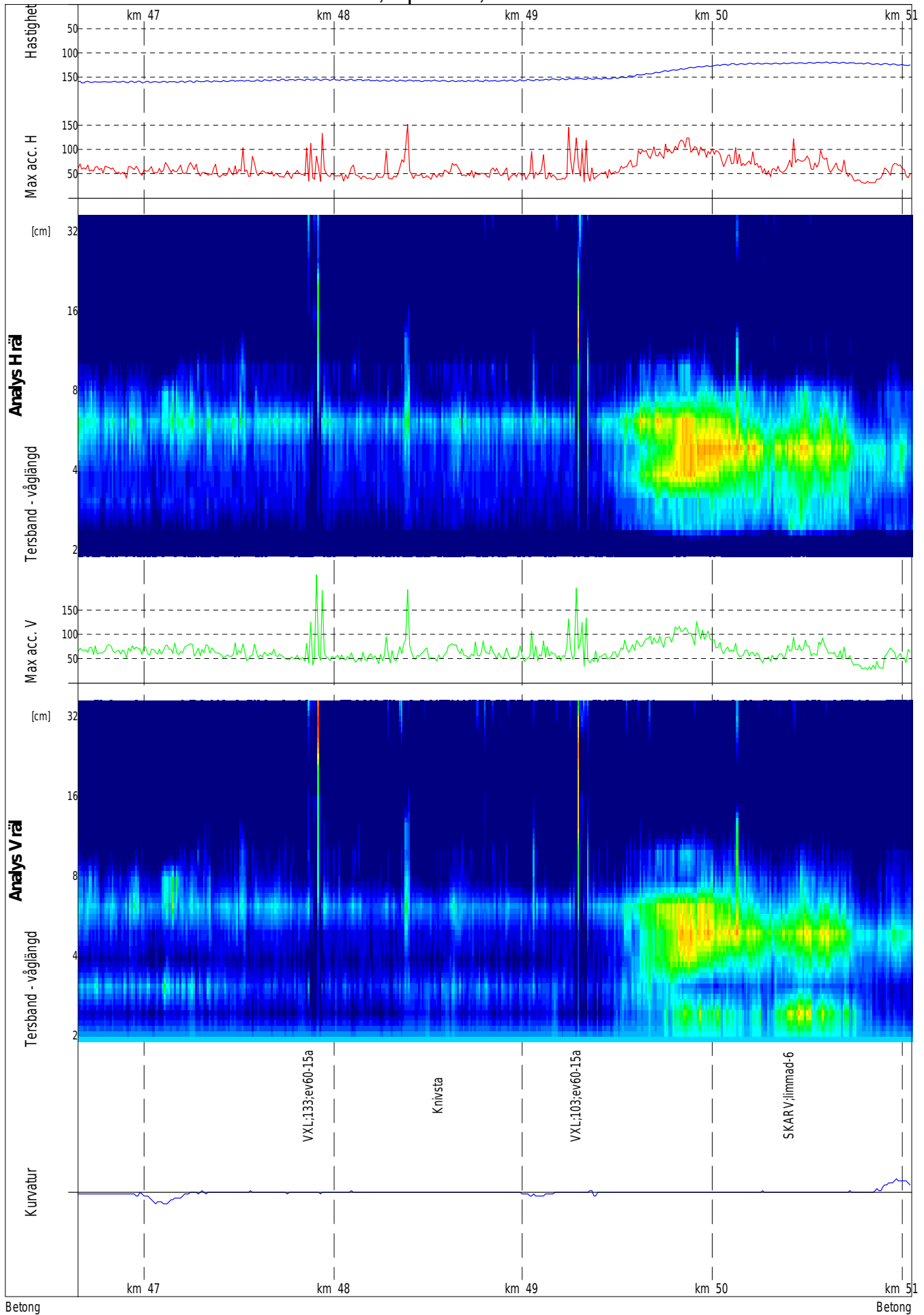


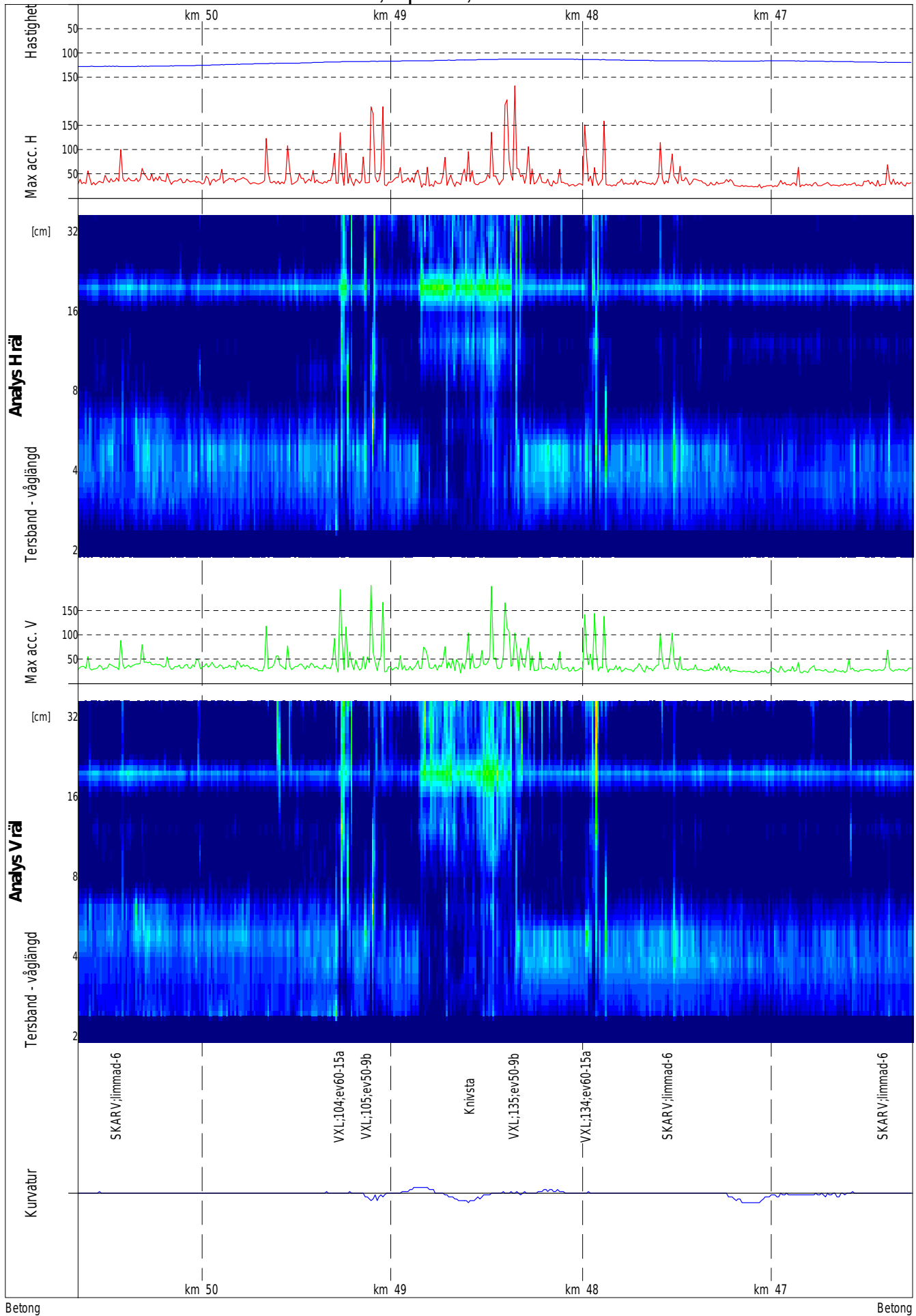


Betong

Betong







VTI är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut som arbetar med forskning och utveckling inom transportsektorn. Vi arbetar med samtliga trafikslag och kärnkompetensen finns inom områdena säkerhet, ekonomi, miljö, trafik- och transportanalys, beteende och samspel mellan människa-fordon-transportssystem samt inom vägkonstruktion, drift och underhåll. VTI är världsledande inom ett flertal områden, till exempel simulatorteknik. VTI har tjänster som sträcker sig från förstudier, oberoende kvalificerade utredningar och expertutlåtanden till projektledning samt forskning och utveckling. Vår tekniska utrustning består bland annat av körsimulatorer för väg- och järnvägstrafik, väglaboratorium, däckprovsningsanläggning, krockbanor och mycket mer. Vi kan även erbjuda ett brett utbud av kurser och seminarier inom transportområdet.

VTI is an independent, internationally outstanding research institute which is engaged on research and development in the transport sector. Our work covers all modes, and our core competence is in the fields of safety, economy, environment, traffic and transport analysis, behaviour and the man-vehicle-transport system interaction, and in road design, operation and maintenance. VTI is a world leader in several areas, for instance in simulator technology. VTI provides services ranging from preliminary studies, highlevel independent investigations and expert statements to project management, research and development. Our technical equipment includes driving simulators for road and rail traffic, a road laboratory, a tyre testing facility, crash tracks and a lot more. We can also offer a broad selection of courses and seminars in the field of transport.

