



MÄTSERIE 3

Analys av mätresultat från tågpassager genom spårväxlar, genom snäva cirkulärkurvor och över spårbroar

SAMMANFATTNING

Inom tilläggsuppdraget till Kunskapscentrum om Buller från Trafikverket har mätningar av bidraget till utstrålat buller från delar av infrastrukturen genomförts i tre delserier; Mätserie 3A - Broar, 3B - Växlar och 3C – Kurvor. Mätserierna planerades som pilotstudier i syfte att jämföra mätresultaten med de schablonvärden som ingår i beräkningsmetoden CNOSSOS-EU. Mätförfarandet och mätresultaten för respektive delserie har dokumenterats i separata mätrapporter; denna rapport utgör en kompletterande analys av resultaten

Anders Genell, VTI
Tomas Jerson, Elton
Mikael Ögren, GU

2022-07-01

Mätserie 3

Analys av mätresultat från tågpassager genom spårväxlar, genom snäva cirkulärkurvor och över spårbroar

Bakgrund

Inom tilläggsuppdraget till Kunskapscentrum om Buller från Trafikverket har mätningar av bidraget till utstrålat buller från delar av infrastrukturen genomförts i tre delserier; Mätserie 3A - Broar, 3B - Växlar och 3C – Kurvor. Mätserierna planerades som pilotstudier i syfte att jämföra mätresultaten med de schablonvärden som ingår i beräkningsmetoden CNOSSOS-EU. Mätförfarandet och mätresultaten för respektive delserie har dokumenterats i separata mätrapporter; denna rapport utgör en kompletterande analys av resultaten.

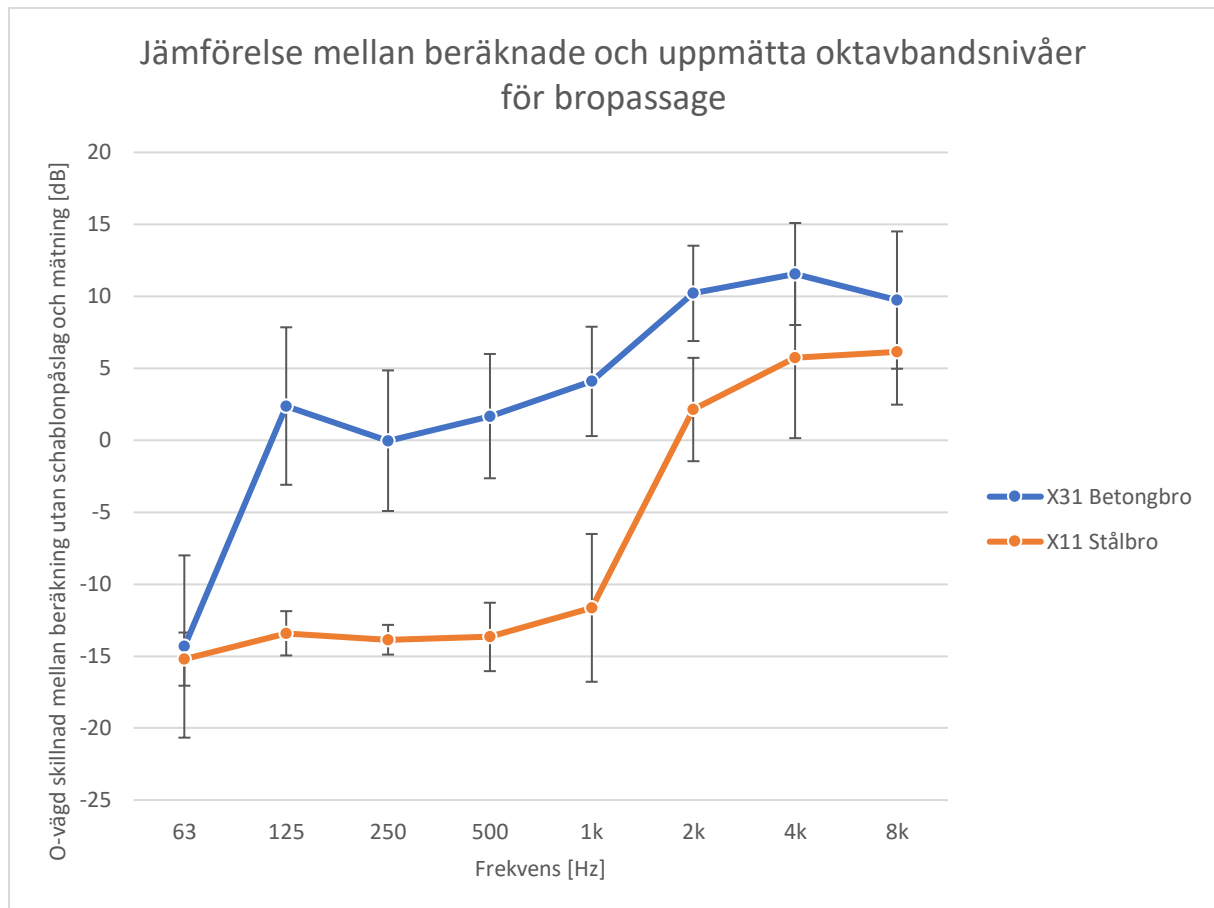
Mätserie 3A – Broar

CNOSSOS-EU inkluderar två olika schablonvärden som skall adderas till utstrålad ljudenergi från tåg som passerar över broar. I Tabell G-7 i END anges koefficienter för ökad ljudutstrålning från broar.

Tabell 1. [G-7] Koefficienter Cbridge för strukturers ljudutstrålning. Min och Max representerar minsta respektive största tillåtna värde på koefficienten. De två högra kolumnerna anger schablonvärden som används i brist på bättre underlag.

Cbridge			
Min	Max	Främst betong- eller murade broar, oavsett spåröverbyggnad.	Främst stålbroar med spår i ballast
0	9	1	4

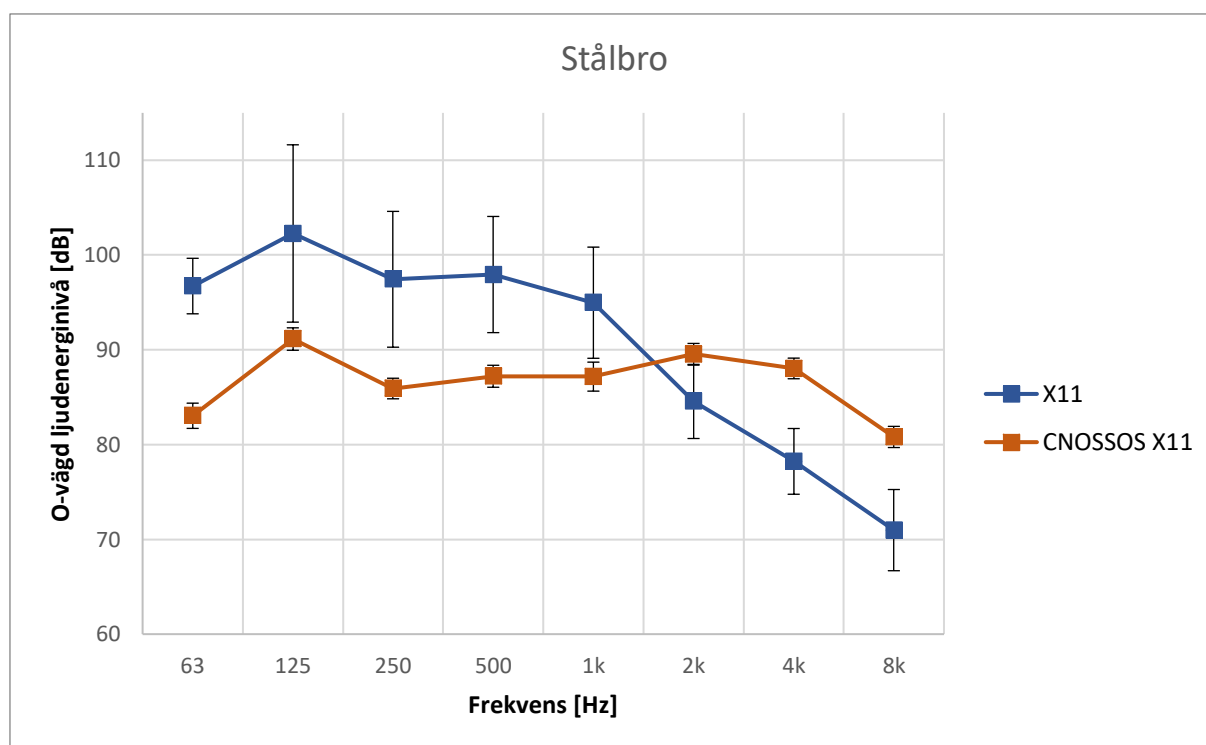
Mätning av buller från tågpassager har genomförts vid fem olika broar; två stålbroar och tre betongbroar (se mät rapport för mätserie 3A). De två stålbroarna korsar Göta Älv i Göteborg, och är belägna med ett avstånd på ca 65 meter mellan varandra. En betongbro är en anslutningsramp till den nyare av de två stålbroarna medan de övriga två betongbroarna korsar de två förgreningarna av Viskan strax norr om Åskloster i Halland.



Figur 1. Medelskillnad och standardavvikelse mellan beräknade, med medelytråhet och utan schablonpåslag, och uppmätta oktavbandsnivåer för passager över stålbro respektive betongbro

Figur 1 visar en sammanfattning av resultaten från bromätningarna genom att presentera medelljudenerginivåskillnader i oktavband mellan beräkningar med CNOSSOS-EU, med medelytråhet men utan schablonpåslag, och mätningar vid stålbro respektive betongbro, inklusive spridning i mätresultat för respektive brotyp. Som kan ses i figuren är skillnaderna stora mellan beräknade och uppmätta nivåer, och nedan analyseras respektive brotyp separat inklusive försök till orsaksförklaring.

Stålbroar



Figur 2. Ljudenergi i oktavband uppmätt vid stålbro och beräknat med CNOSSOS-EU för tåg av typen X11 i olika hastigheter.

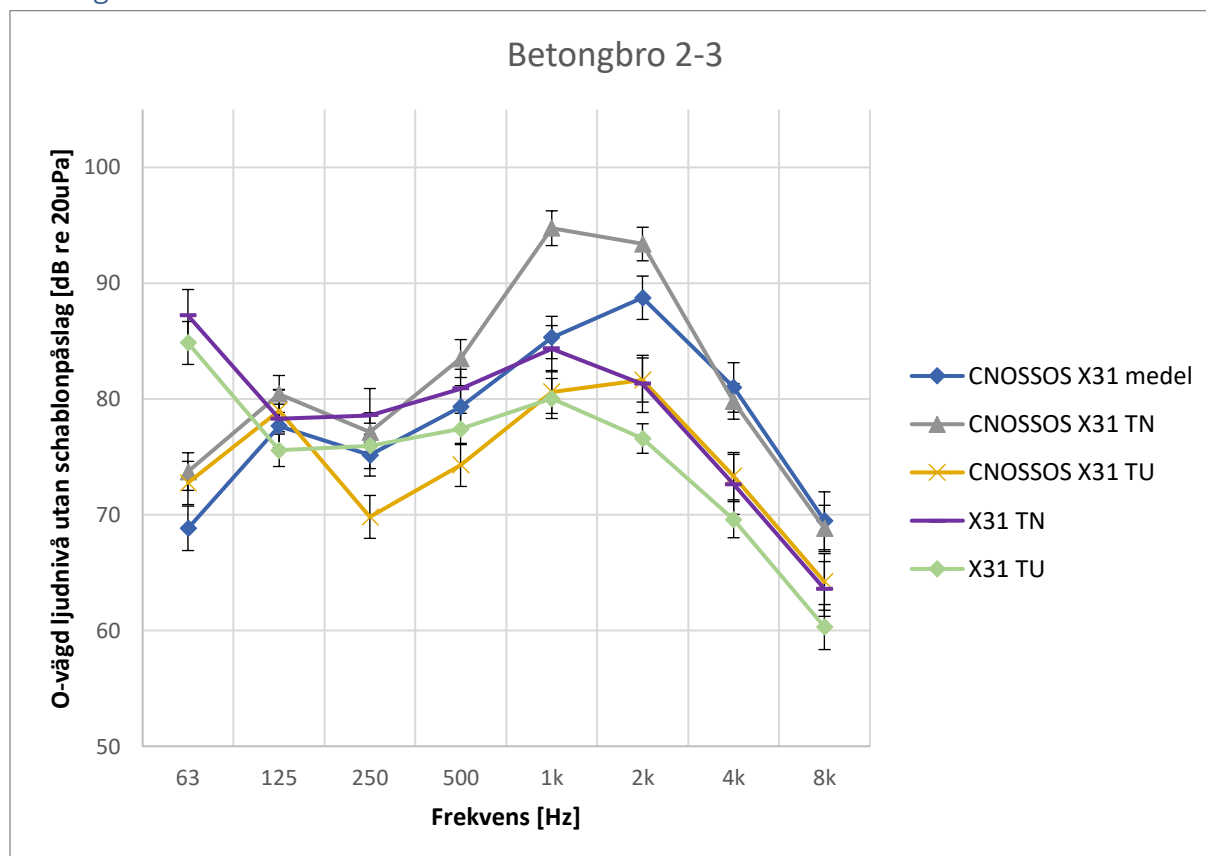
Figur 2 visar en jämförelse mellan uppmätta ljudenerginivåer i oktavbanden 63Hz – 8kHz och motsvarande nivåer beräknade i CNOSSOS-EU. För varje uppmätt passage har nivåer beräknats för samma hastighet och samma tågtyp, i detta fall X11, med CNOSSOS-EU med ansatt medelytråhet, utan att inkludera något schablonpåslag för ljudutstrålning från brokonstruktionen. De beräknade nivåerna ligger samlat kring 80 – 90 dB i samtliga oktavband, medan de uppmätta värdena visar på sluttande spektra från höga lågfrekventa nivåer till lägre nivåer i de högre frekvenserna.

Tabell 2. Uppmätt och beräknad, med medelytråhet och utan schablonpåslag för bro, a-vägd ljudenerginivå för fem X11-tågpassager på stålbro.

Pass	LAE mätn	C medel	Diff
1	98.4	94.3	4.1
2	100.6	95.1	5.5
3	101.3	95	6.3
4	98.5	94.5	4.0
5	101.2	96	5.2
Medel	100.2	95.0	5.0

I Tabell 2 sammanfattas de totala A-vägd ljudenerginivåerna för fem olika tågpassager över stålbroarna med tågtypen X11. Sista kolumnen redovisar skillnad i uppmätt och beräknad nivå. Resultatet visar att schablonpåslaget om 4dB för stålbro i stort sett innebär att beräknad nivå faller inom 2dB avvikelse från uppmätt värde, men som tydligt kan ses i Figur 1 är avvikelserna i respektive oktavband mycket större.

Betongbroar



Figur 3. Ljudenergi i oktavband uppmätt vid betongbro och beräknat med CNOSSOS-EU för tåg av typen X31 i olika hastigheter.

Figur 3 visar en jämförelse mellan beräknade, med medelytråhet (CNOSSOS X31 medel) såväl som med uppmätt ytråhet från mätplatsen i Trönninge (uppspår, TU och nedspår, TN) strax söder om broarna över Viskan, och uppmätta ljudenerginivåer för uppspår (X31 TU) respektive nedspår (X31 TN) i oktavband för passager över betongbro med tåg av typen X31. De beräknade nivåerna, utan CNOSSOS-EU:s schablonpåslag för bro, är för medelytråheten samlade inom 5dB från varandra för varje oktavband. För de uppmätta nivåerna är spridningen dubbelt så stor om man inte tar hänsyn till skillnad mellan uppspår och nedspår. Separerar man uppspår och nedspår är spridningen för de uppmätta passagera liknande den för beräknade nivåer. Formen på beräknade och uppmätta spektra är liknande förutom för det allra lägsta oktavbandet. Det indikerar att CNOSSOS-EU beräknar frekvensberoendet hos utbredningen relativt korrekt.

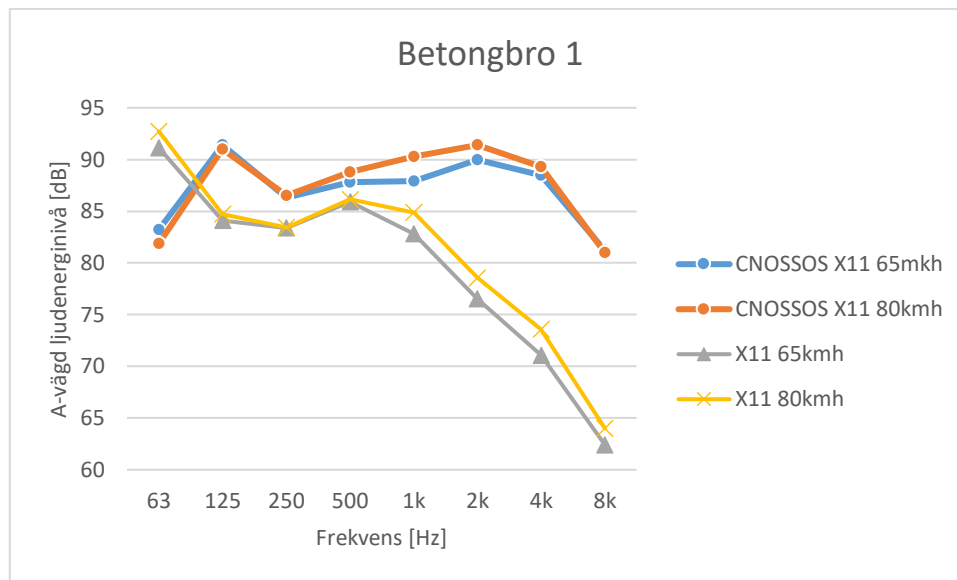
Tabell 3. Uppmätt (LAE mätn) och beräknad a-vägd ljudenerginivå för åtta X31-tågpassager på betongbro utan schablonpåslag. **C medel** är beräknad nivå med medelytråhet. **C TU** och **C TN** representerar beräknade nivåer med rälöjämnhets uppmätt på nedspår och uppspår i Trönninge straxt söder om betongbroarna. **Dist** är avstånd mellan mätposition och respektive spår, **Spår** redovisar norrgående uppspår (U) respektive södergående nedspår (N).

Pass	LAE mätn	C medel	Diff	C TU	Diff	C TN	Diff	Dist	Spår
1	84.7	93.8	-9.1	88.1	-3.4	99.3	-14.6	35	U
2	88.7	93.7	-5.0	87.9	0.8	98.7	-10.0	30	N
3	83.5	92.5	-9.0	86.7	-3.2	97.5	-14.0	35	U
4	90.3	94.6	-4.3	88.9	1.4	100	-9.7	30	N
5	81.5	90.7	-9.2	84.9	-3.4	95.9	-14.4	50	U
6	87.3	92.8	-5.5	87.1	0.2	98.3	-11.0	45	N
7	82.9	92.2	-9.3	86.5	-3.6	97.7	-14.8	50	U
8	86.8	92.3	-5.5	86.5	0.3	97.5	-10.7	45	N

Tabell 3 visar a-vägda ljudenerginivåer för åtta olika passager med tåg av typen X31 över betongbro i olika hastigheter. Mätningarna utfördes på ett avstånd från spårmittpå mellan 30 och 35 meter för den ena betongbron och mellan 45 och 50 meter för den andra. Nivåerna som beräknats med CNOSSOS-EU utgick ifrån samma avstånd till mottagare och samma tågtyp och hastigheter som för mätningarna. Som kan ses i Tabell 3 är skillnaden mellan uppmätt och beräknat värde, utan schablonpåslag för bro, större för det större avståndet för respektive bro. Det större avståndet representerar mätningar på det bortre spåret på bron sett från mätplatsen, och det är möjligt att viss skärmning eller annan dämpning uppstått från brokonstruktionen som inte avspeglas i beräkningarna, där hänsyn endast tagits till avståndet och den akustiskt hårda vattenytan under bron, men framför allt skulle skillnad i ytråhet på rälen kunna förklara den större skillnaden i nivå för de olika spåren, vilken visat sig vara stor vid mätplats Trönninge från Mätserie 2 som ligger placerad något söder ut längs samma bana. Sammantaget överskattar CNOSSOS-EU redan innan schablonpåslag de beräknade värdena för betongbro med mellan 5 och 10 dB(A). Tar man hänsyn till en mer korrekt rälöjämnhets så kan avvikelserna bli betydligt mindre. En indikation på CNOSSOS-EU:s känslighet för rälöjämnhets visas av skillnaden mellan beräknad nivå med uppmätt rälöjämnhets på nedspår respektive uppspår i Trönninge. Som visas i Tabell 4 är skillnaden i beräknad nivå drygt 12dB(A) mellan de två rälöjämnhetserna. Den rödfärgade siffran i tabellen indikerar att uppspåröjämnhetsen passar bättre som beräkningsunderlag för båda spåren än både medelytråhet och den uppmätta nedspåröjämnhetsen.

Tabell 4. Skillnader i beräknad och uppmätt a-vägd medelljudenerginivå för åtta X31-tågpassager på betongbro, inklusive effekt av uppmätt ytråhet på uppspår (TU) respektive nedspår (TN) i Trönninge. X31 TU och X31 TN är uppmätta nivåer, C TU och C TN är CNOSSOS-EU-beräkningar baserade på uppmätt ytråhet på räl. C medel är CNOSSOS-EU-beräkningar baserade på medelytråhet. Den rödfärgade siffran motsvarar jämförelsen mellan uppmätt nivå på nedspår och beräknad nivå på uppspår.

	X31 TN	X31 TU	C medel	C TN	C TU
	87,4	83,1	91,9	97,8	85,5
X31 TN	87,4	0,0	4,3	-4,5	-10,4
X31 TU	83,1	0,0	-8,7	1,9	-2,3
C medel	91,9		0,0	-6,0	6,4
C TN	97,8			0,0	12,4
C TU	85,5				0,0



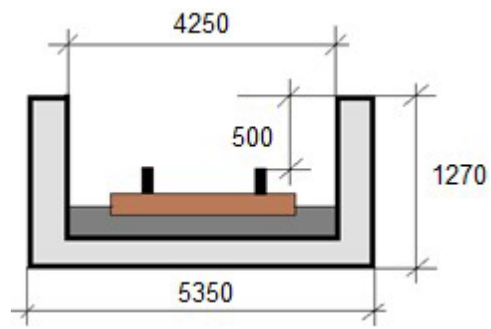
Figur 4. Jämförelse av uppmätta och beräknade ljudenerginivåer för betongbro vid ett avstånd av 7.5m från spårmit för tåg av typen X11.

Figur 4 visar beräknade, CNOSSOS med medelytråhet och utan schablonpåslag, och uppmätta ljudenerginivåer för passager över betongbro med avstånd till mottagare på 7.5m i enlighet med ISO 3095. Även i detta fall överskattar CNOSSOS-EU nivån i jämförelse med mätningarna, främst i högre frekvens. Skillnaden i formen på spektra indikerar att det skulle kunna föreligga någon form av skärmning hos uppmätta nivåerna som inte inkluderas i de beräknade nivåerna.

Tabell 5. Uppmätt och beräknad a-vägd ljudenerginivå för två tågpassager på betongbro.

Pass	SEL meas	SEL calc	Diff
1	86.8	95.2	-8.4
2	88.2	96.5	-8.3

Tabell 5 visar a-vägda ljudenerginivåer för två olika passager med tåg av typen X11 över betongbro i olika hastigheter. Även här ses möjligen effekten av eventuell skärmning. De beräknade nivåerna utgår dock från en räljämnhhet som motsvarar ett medelvärde för de mätplatser som ingått i framtagandet av källdata för tåg till CNOSSOS-EU. Den faktiska ytråheten på rälen för aktuell bro är inte känd, så skillnaden i a-vägd ljudenerginivå i Tabell 5 hade kunnat minska om korrekt ytråhet kunnat användas i beräkningen. Orsaken till eventuell skärmning skulle kunna vara att bron är konstruerad som en stor ränna där rälsen ligger i botten och sidorna då fungerar som skärmar med en höjd av en halv meter framför hjulen (Figur 5).



Figur 5. Skiss över konstruktionen för betongbro 1.

Mätserie 3B – Växlar

CNOSSOS-EU inkluderar en korrektion för det stötljud som uppstår i passage genom växlar eller för skarvspår baserad på värden på ytråheten på rälen. I direktivet anges

Stötljuden inkluderas i uttrycket för rullningsbullret genom att man (energi)adderar en kompletterande fiktiv ytjämnhetsnivå för stötljud på varje specifikt j:e spåravsnitt där bullret förekommer. Då ska ett nytt värde $LR_{TOT+IMPACT,i}$ användas i stället för $LR_{TOT,i}$ så att uttrycket blir

$$LR_{TOT+IMPACT,i} = 10 \times \log \left(10^{\frac{LR_{TOT,i}}{10}} + 10^{\frac{LR_{IMPACT,i}}{10}} \right)$$

$LR_{IMPACT,i}$ är ett tredjedelsoktavbandsspektrum (som funktion av frekvens). För att få fram detta frekvensspektrum, anges ett spektrum som en funktion av våglängden λ . Detta konverteras till det relevanta spektrumet som en funktion av frekvensen genom förhållandet $\lambda = v/f$, där f är tredjedelsoktavbandets centrumfrekvens i Hz och v är den s:e fordonshastigheten i km/tim för den t:e fordonstypen.

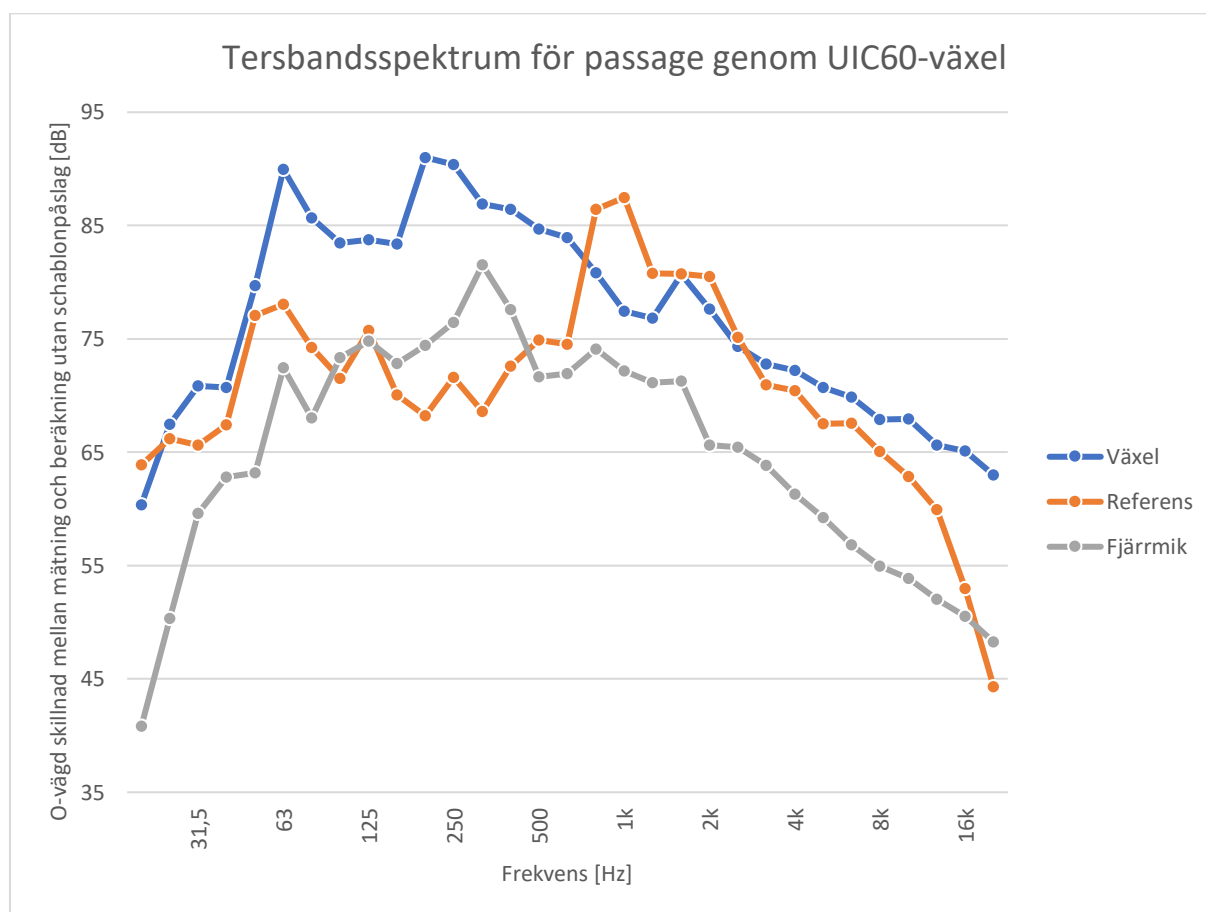
Tabell 6. Koefficienter för LR_{IMPACT} i CNOSSOS-EU. Min och Max anger minsta och högsta tillåtna ojämnhetsnivåvärden. Kolumnen längst till höger anger schablonkoefficienter för en enstaka spårväxel, skarv eller rälskorsning inom en sträcka på 100m.

$LR_{IMPACT,i}$			
Våglängd	Min	Max	Enstaka växel/skarv/korsning/100 m
1 000 mm	- 40	30	22.4
800 mm	- 40	30	22.4
630 mm	- 40	30	22.4
500 mm	- 40	30	23.8
400 mm	- 40	30	24.7
315 mm	- 40	30	24.7
250 mm	- 40	30	23.4
200 mm	- 40	30	21.7
160 mm	- 40	30	20.2
120 mm	- 40	30	20.4
100 mm	- 40	30	20.8
80 mm	- 40	30	20.9
63 mm	- 40	30	19.8
50 mm	- 40	30	18
40 mm	- 40	30	16
31,5 mm	- 40	30	13
25 mm	- 40	30	10
20 mm	- 40	30	6
16 mm	- 40	30	1
12 mm	- 40	30	-4
10 mm	- 40	30	-11
8 mm	- 40	30	-16.5
6,3 mm	- 40	30	-18.5
5 mm	- 40	30	-21
4 mm	- 40	30	-22.5
3,2 mm	- 40	30	-24.7
2,5 mm	- 40	30	-26.6
2 mm	- 40	30	-28.6

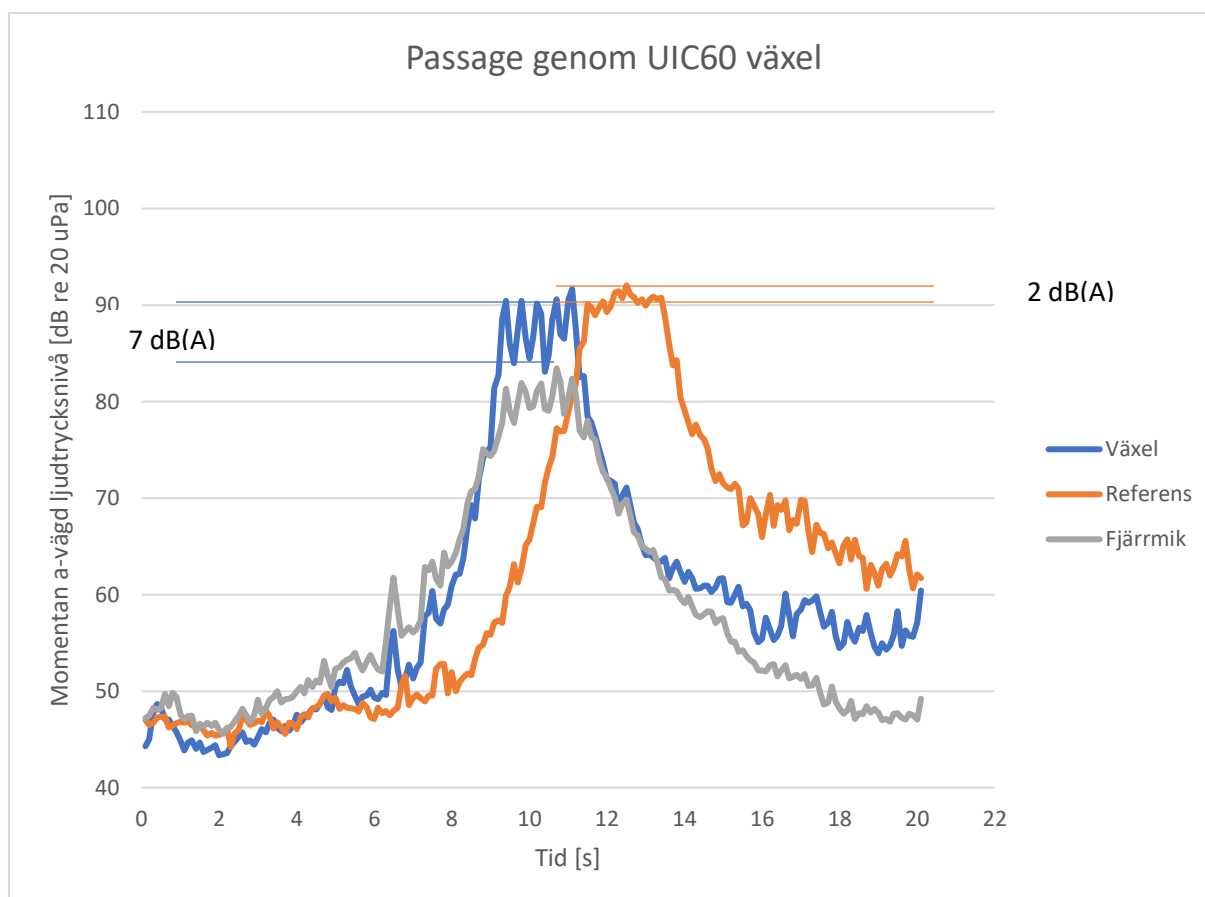
1,6 mm	- 40	30	-30.6
1,2 mm	- 40	30	-32.6
1 mm	- 40	30	-34
0,8 mm	- 40	30	-34

Mätning av bullernivå för passager genom två olika typer av växlar har genomförts vid två platser. Dels två växlar av äldre typ längs Västkustbanan, vid Ledsgård strax norr om Kungsbacka, dels två växlar av nyare typ längs Västra Stambanan vid Algutsgården strax norr om Alingsås. Vid samtliga mätplatser gjordes mätning både tvärs för växeln på ett avstånd av 7.5m från spårmitte samt ca 80 meter före eller efter växeln längs spåret som referensmätning på samma avstånd från spårmitte. Därtill gjordes mätning tvärs växeln på ett avstånd av ca 20m från spårmitte och på en höjd av 4m över RÖK, som i figurerna betecknas som "Fjärrmik".

Ledsgård



Figur 6a. Tersbandsspektra för stötljud från de tre mikrofonpositionerna vid passage genom tågväxel i Ledsgård för ett tåg av typen X55.



Figur 6b. Momentan a-vägd ljudtrycksnivå för de tre mikrofonpositionerna vid passage genom tågväxel i Ledsgård för ett tåg av typen X55.

I Figur 6 visas passage genom växel av äldre typ, UIC60, för ett X60-tåg. Tersbandsspektrumet (Figur 6a) visar hur stötbullret från växelpassagen är dominerat av låga frekvenser, medan nivågrafén (Figur 6b) visar att den maximala a-vägd nivå inte skiljer sig nämnvärt mellan rakspår och växelpassage, även om det också är tydligt att ljudnivån mellan stötljuden är betydligt lägre än ljudnivån mellan respektive axelpassage vid referensmätningen. Skillnaden mellan toppar och dalar för referenspassagen är ca 2dB(A) medan skillnaden mellan toppar och dalar för växelpassagen är ca 7 dB(A), vilket skulle innebära ett påslag på ca 5dB(A) för växelpassage jämfört med referenspassagen, men eftersom topparna för referenspassage och växelpassage ligger på i stort sett samma nivå, medan dalarna för växelpassage ligger ca 5-7dB(A) lägre än för referenspassage så indikerar det snarare att rälojämnheten är större vid referensmätningsspositionen ca 100 m från växeln än omedelbart före och efter hjärtstycket på växeln.

Algutsgården

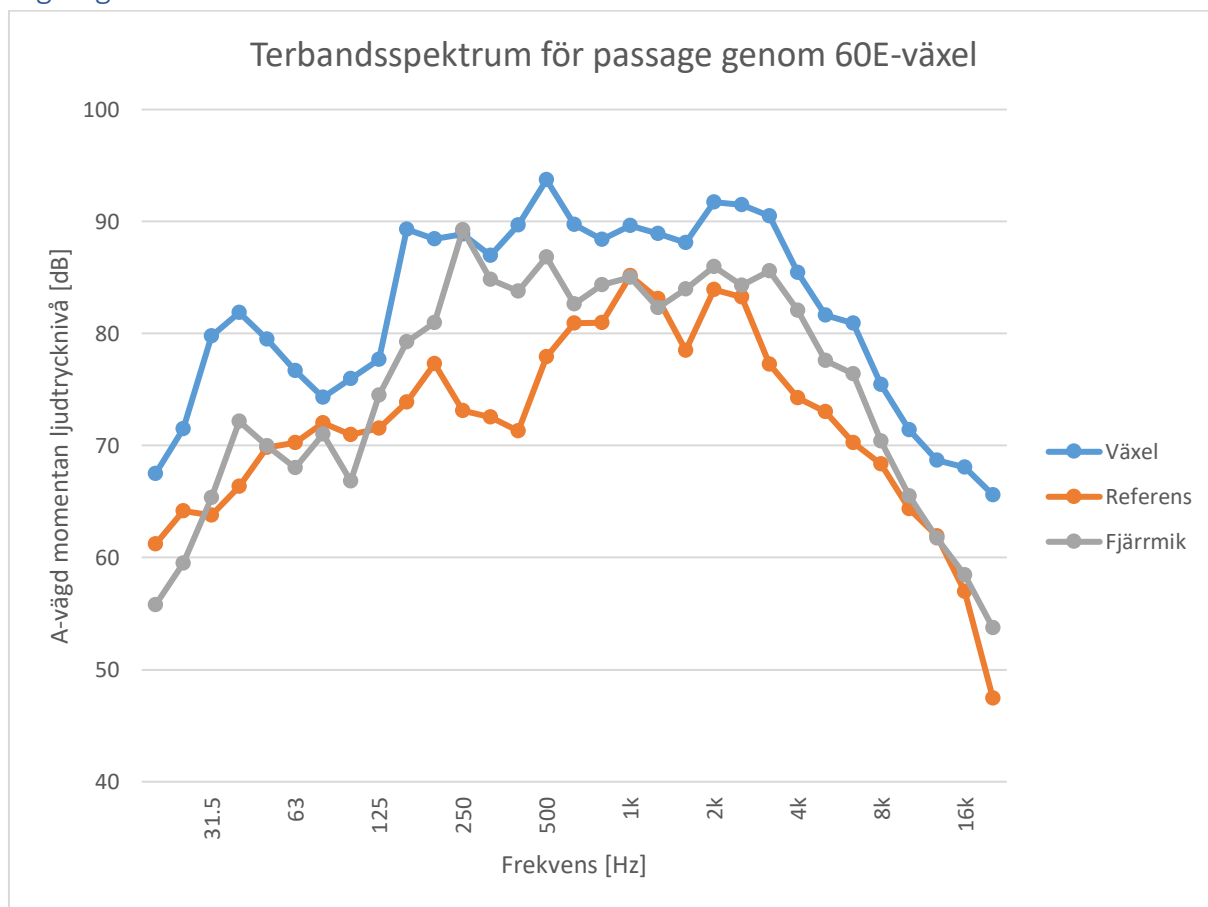
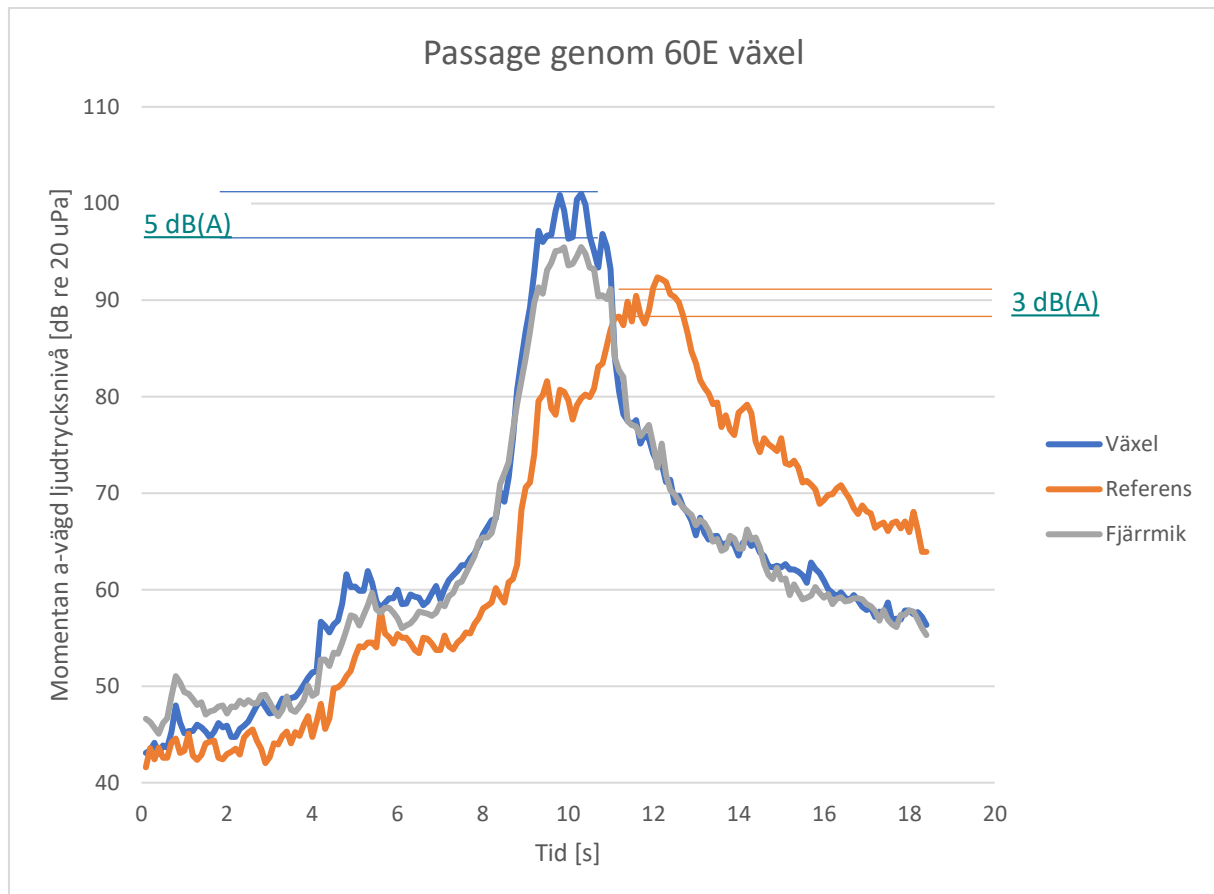


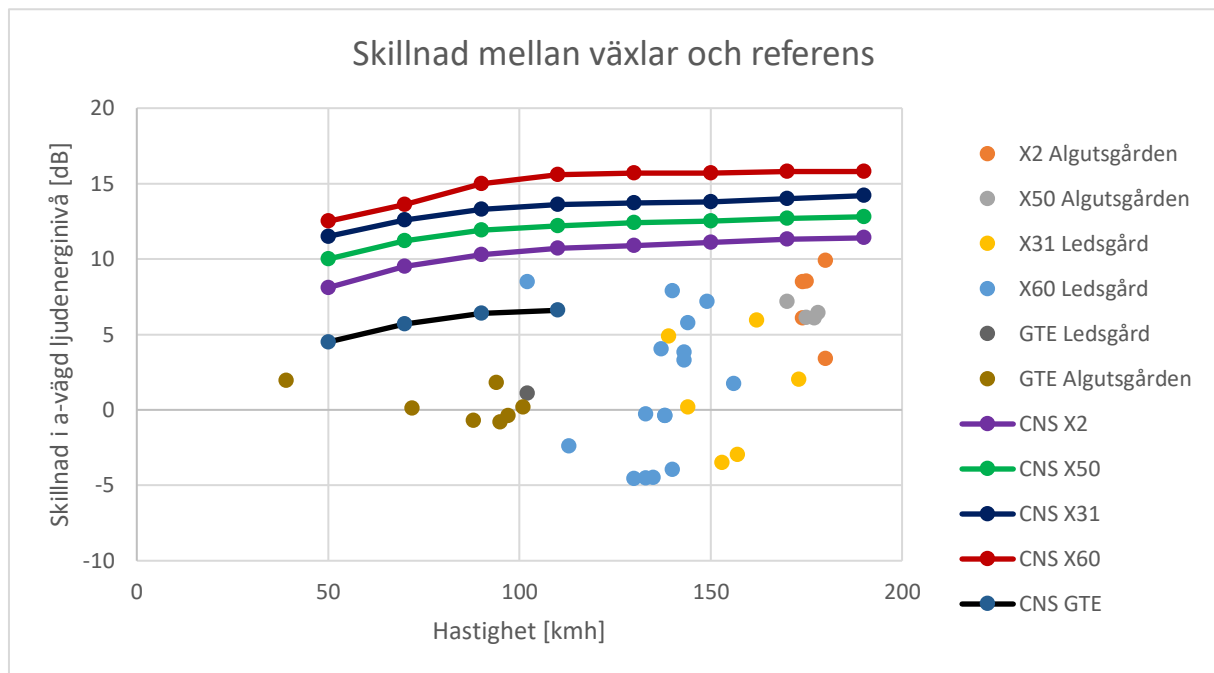
Figure 7a Tersbandsspektra för stötljud från de tre mikrofonpositionerna vid axelpassage genom tågväxel av nyare typ i Algutsgården för ett tåg av typen X2.



Figur 7b. Momentan a-vägd ljudtrycksnivå för de tre mikrofonpositionerna vid passage genom tågväxel av nyare typ, 60E, i Algutsgården för ett tåg av typen X50.

I Algutsgården är växlarna av nyare typ och som synes i Figur 7a är skillnaden i tersbandsspektrum mindre, men den maximala a-vägda nivån skiljer sig i större omfattning. Skillnad i maximalnivå kan ses i Figur 7b där den a-vägda ljudnivån från växelpassagen är tydligt högre än referenspassagen. På samma sätt som för passage genom växlar av typen UIC60 så syns toppar för varje axelpassage tydligt, med dalar mellan varje axelpassage som indikerar själva tillskottet för stötljudet. I detta fall är tillskottet ca 5dB(A). Motsvarande skillnad för referenspassage är ca 3dB(A). Vad som är intressant att notera är att ljudnivån för dalarna mellan växelstötarna än nästan 10dB(A) högre än för referenspassagen. Det skulle kunna indikera att tväremot mätplatsen i Ledsgård, där rälen föreföll mindre ojämna just omkring växeln än vid referensposition, så verkar det som att rälen alldeles omkring växeln är mer ojämna än vid referensposition. Möjligen är alltså stötljudsbidraget ännu högre för en ny eller nyslipad räl nära växeln.

Jämförelse med CNOSSOS-EU

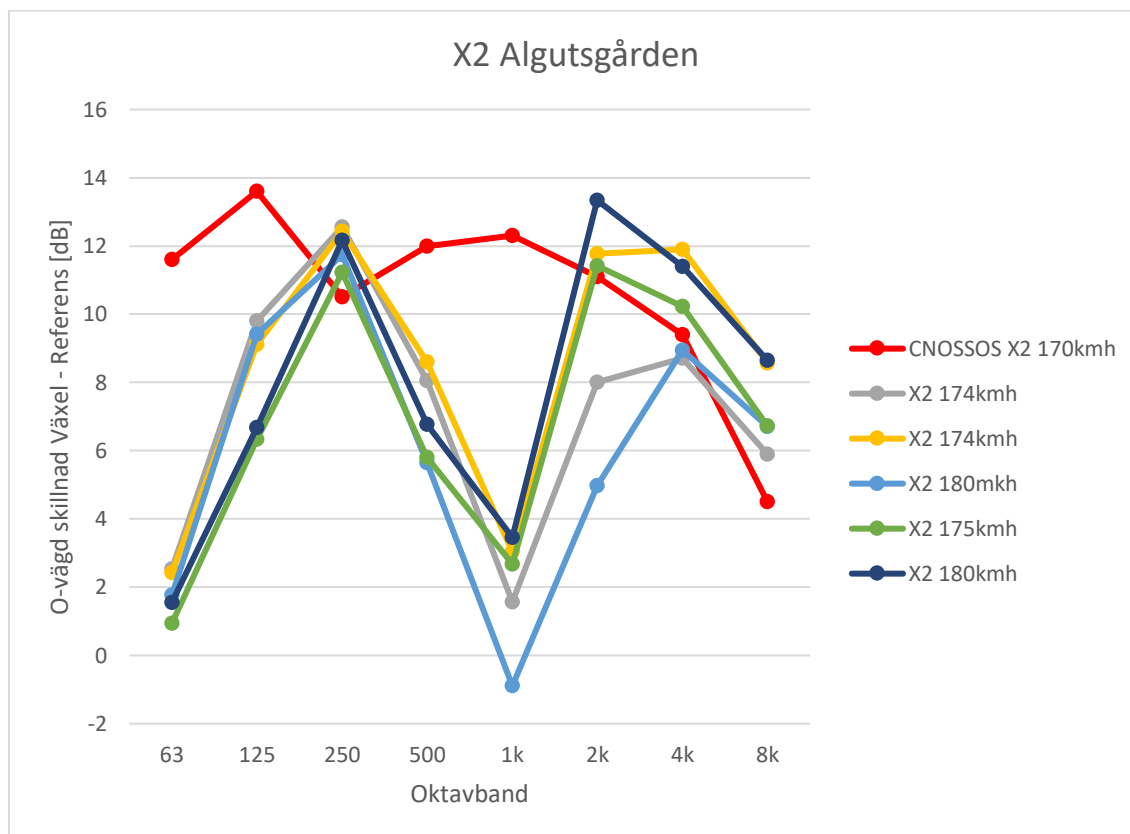


Figur 8. Jämförelse av skillnad i LAE-nivåer för hel tågpassage mellan mätningar, i Ledsgård (UIC60) av tågtyp X60, X31 och godståg (GTE) samt i Algutsgården (60E) av tågtyp X2, X50 och godståg (GTE), och motsvarande beräknade schablonpåslag i CNOSSOS-EU för respektive tågtyp (CNS).

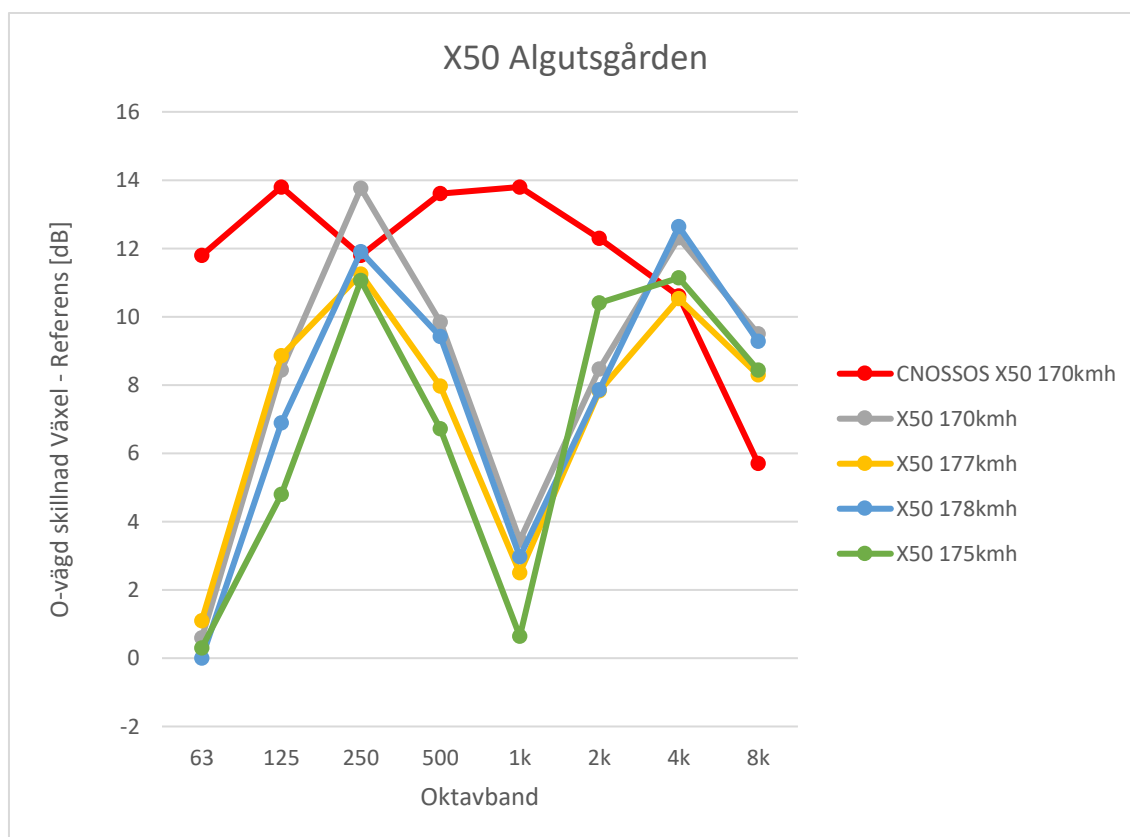
Figur 8 visar skillnad i ljudenerginivåer för hela tågpassager mellan referensspår och passager genom växlar i Ledsgård och Algutsgården samt schablonpåslaget (LR,TOT+IMPACT) för respektive tågtyp i CNOSSOS-EU. Som synes verkar CNOSSOS-EU överskatta den ökade ljudutstrålningen från växelpassagera. Det är också tydligt att spridningen mellan individuella passager för respektive tågtyp är stor men att inte ens de bullrigaste passagera motsvarar schablonpåslaget, förutom för X2-tåg, men då dessa ofta domineras av fläktbuller är schablonens giltighet ändå osäker. Den stora spridningen för mätningarna i Ledsgård indikerar att det är stor variation i ojämnheter på hjulens rullyta. Möjligen kan man anta att de olika tågindividerna befinner sig i olika delar av sin underhålls cykel, och att hjulen ruggas upp efter en tid på Västkustbanan. Eftersom växelstötljudet modelleras som ökad ytråhet i CNOSSOS-EU är beräkningarna starkt beroende på hjulöjämnheten hos de olika tågtyperna. Detta är särskilt tydligt för X60-tåg, som vid framtagandet av indata tilldelades en relativt liten hjulöjämnheter och som därmed påverkas extra mycket av den ökade rälöjämnheten som stötljuden innebär i CNOSSOS-EU. En individuell variation av ytråhetsdata för olika tågindivider skulle sannolikt minska beräkningens överskattning av stötbuller. För godståg visar mätresultaten att stötljudets bidrag till hela tågsetspassagens ljudenergi är minimal oavsett hastighet, så även om schablonpåslaget i CNOSSOS-EU är mindre än för persontåg så överskattas ändå bidraget.

Avvikelserna mellan uppmätta skillnader och de schablonpåslag som ingår i CNOSSOS-EU blir också tydliga när man studerar avvikelserna för varje oktavband. Figurerna 9-14 visar hur avvikelserna uppträder i oktavband för olika tågtyper och växlar. Det är tydligt att för vissa frekvensband, t.ex. 1kHz, är det inte bidraget från stötbuller i växeln som dominerar, vilket innebär att skillnaden mellan referenspassage och passage genom växeln blir liten. Samtidigt uppvisar CNOSSOS-EU ett stort schablonpåslag i samma frekvensband. För de enskilda växelstötljuden är skillnaden mellan referens

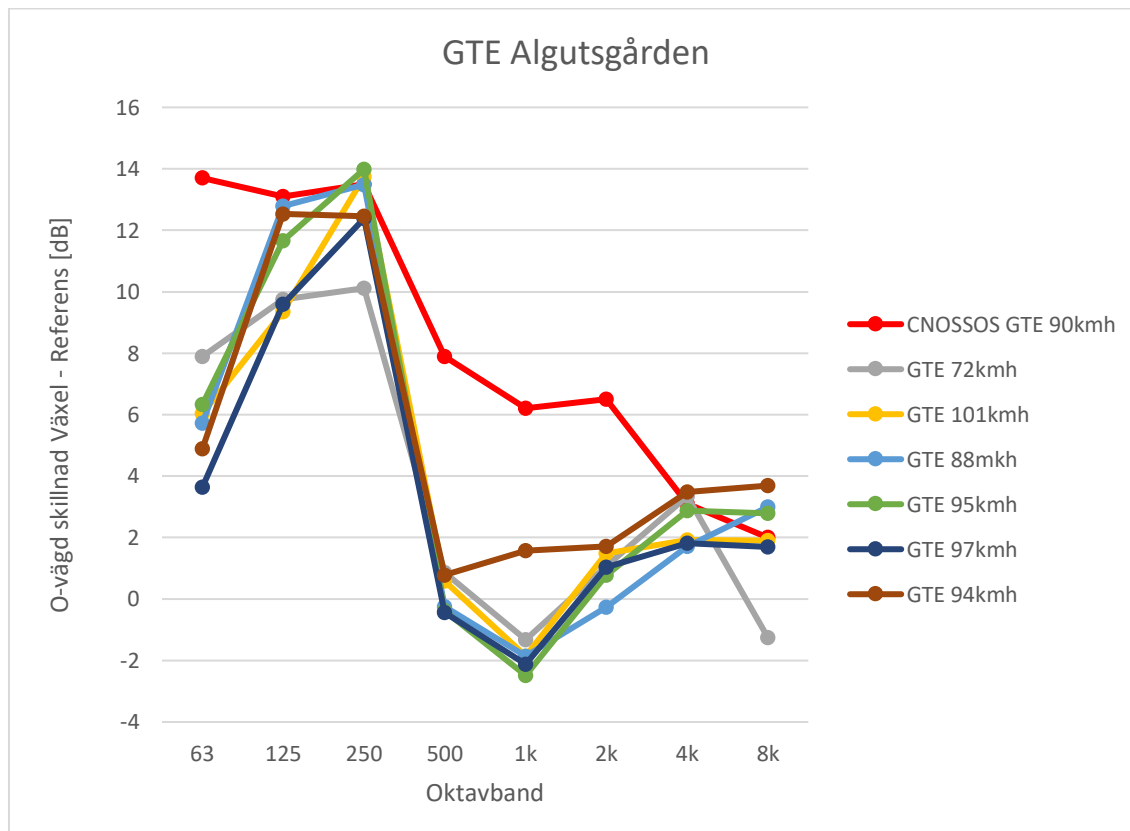
och växelpassage tydlig också i 1kHz-bandet åtminstone för passager genom 60E-växel (se Figur 7a), men alltså inte när det gäller ljudenergin för hela passagen.



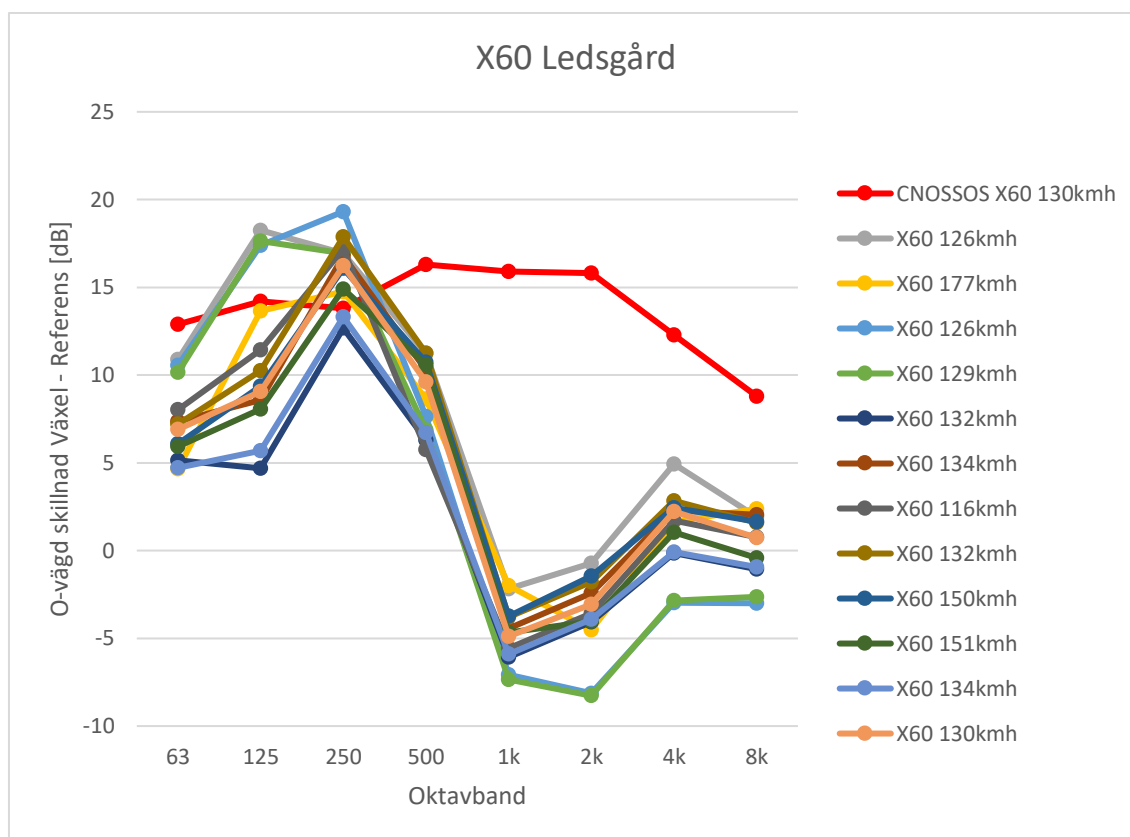
Figur 9. Skillnad i ljudnivå mellan referensspår och X2-tågpassager i Algutsgården samt CNOSSOS-EU:s schablonpåslag (LR,TOT+IMPACT) för X2-tåg, i oktavband.



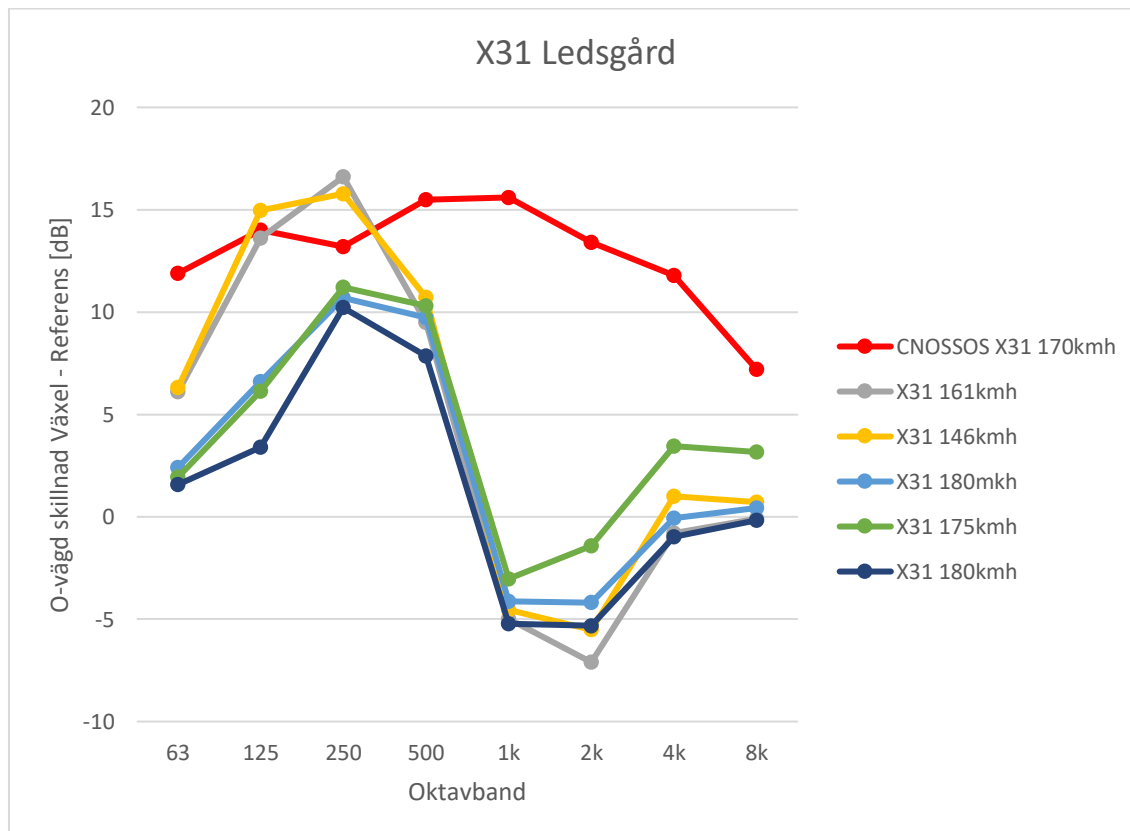
Figur 10. Skillnad i ljudnivå mellan referensspår och X50-tågpassager i Algutsgården samt CNOSSOS-EU:s schablonpåslag (LR,TOT+IMPACT) för X50-tåg, i oktavband.



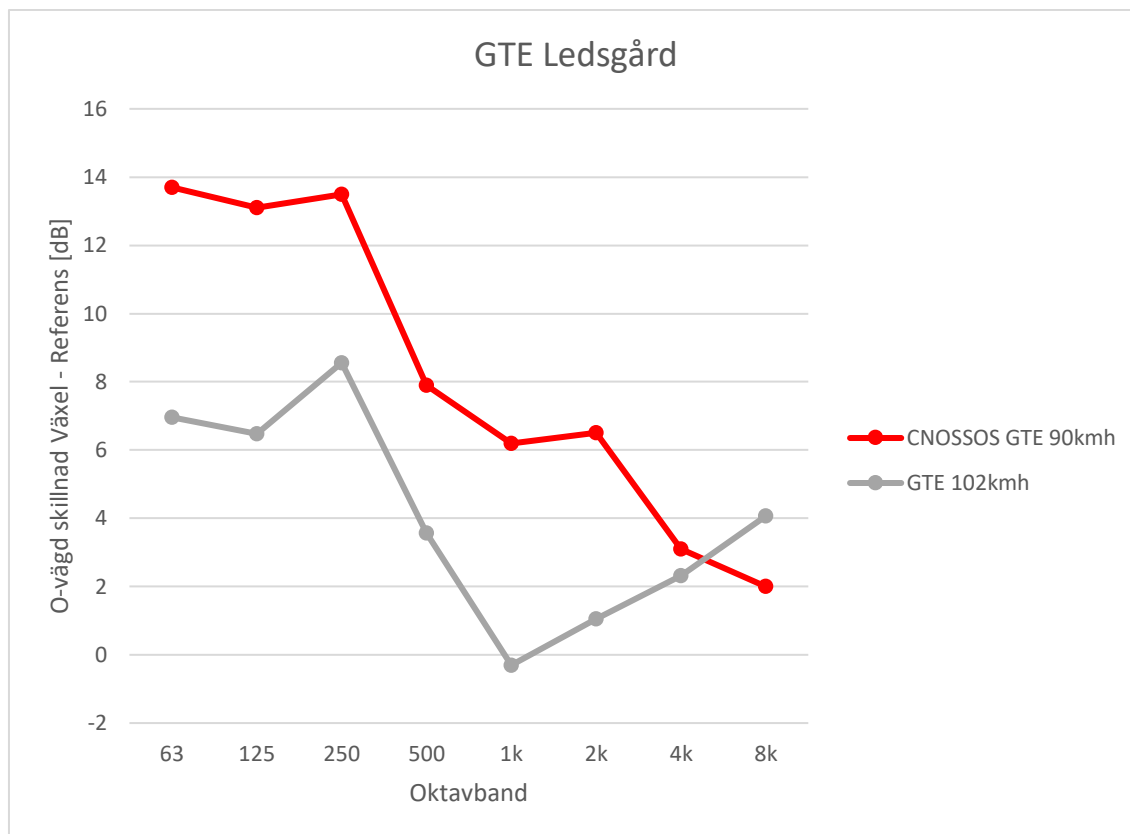
Figur 11. Skillnad i ljudnivå mellan referensspår och godstågpassager i Algutsgården samt CNOSSOS-EU:s schablonpåslag (LR,TOT+IMPACT) för godståg, i oktavband.



Figur 12. Skillnad i ljudnivå mellan referensspår och X60-tågpassager i Ledsgård samt CNOSSOS-EU:s schablonpåslag (LR,TOT+IMPACT) för X60, i oktavband.



Figur 13. Skillnad i ljudnivå mellan referensspår och X31-tågpassager i Ledsgård samt CNOSSOS-EU:s schablonpåslag (LR,TOT+IMPACT) för X31, i oktavband.



Figur 14. Skillnad i ljudnivå mellan referensspår och godstågpassager i Ledsgård samt CNOSSOS-EU:s schablonpåslag (LR,TOT+IMPACT) för godståg, i oktavband

Mätserie 3C – Kurvor

I direktivtexten för CNOSSOS-EU står följande angående skrikkljud:

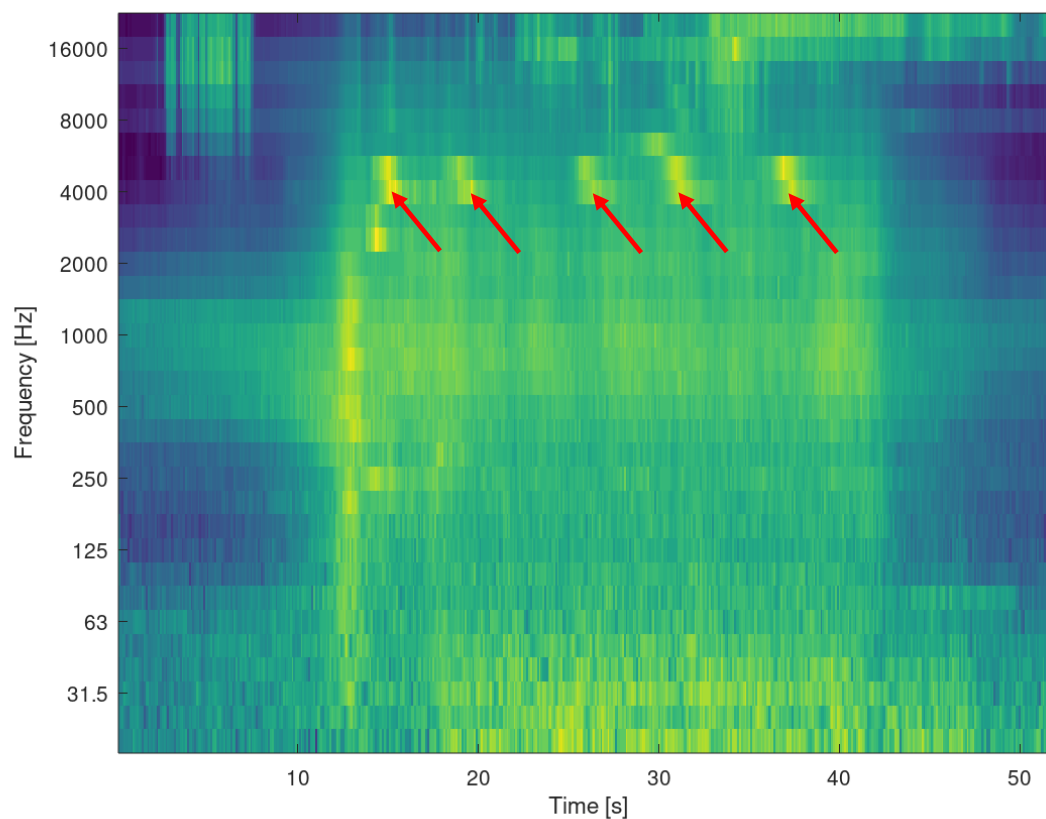
Kurvskrik är en särskild ljudkälla för kurvor. Källan är alltså lokal. Eftersom kurvskrik kan vara kraftiga krävs det en lämplig beskrivning. Kurvskrik beror i allmänhet på krökningen, friktionsförhållanden, tågets hastighet, spår- och hjulgeometri samt dynamik. Emissionsnivån bestäms för kurvor med största radie 500 m och för snävare kurvor och stickspår med mindre radier än 300 m.

Bulleremissionen ska vara specifik för varje typ av rullande material, eftersom vissa hjul- och boggityper är mer benägna att avge kurvskrik än andra.

Lämpligheten för dessa ljudeffektsspektrum bör normalt verifieras på plats, särskilt för spårvagnar.

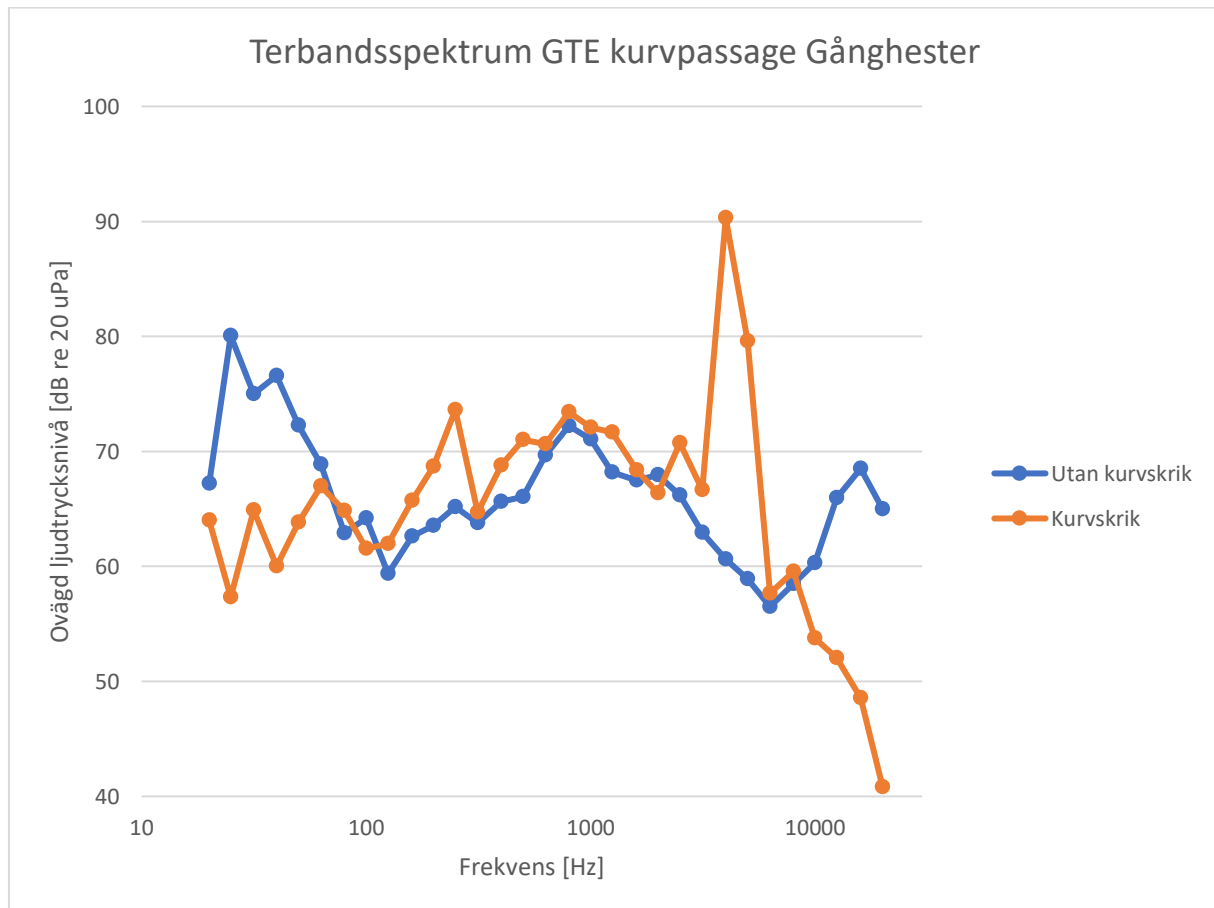
Med en enkel metod ska kurvskriket beaktas genom att, till rullningsbullrets ljudeffektsspektrum (för alla frekvenser), addera 8 dB för $R < 300$ m och 5 dB för $300 \text{ m} < R < 500$ m. Kurvskrikets bidrag ska appliceras på spåravsnitt där minst 50 m spårlängd har en radie inom de ovan angivna intervallen.

Mätningar av passager genom kurvor har gjorts för kurvor med radie mindre än 300m vid två olika platser; Hindås och Gånghester. Mätrapporten för kurvskrikmätningarna noterar för vilka passager det förekommit skrikkljud vid mättillfället, men i de flesta fall uppträder skrikkljuden endast under korta stunder för respektive passage. För att identifiera tillfällena med skrikkljud kan förloppet visualiseras i ett spektrogram baserat på de tersbandsspektrum som mätinstrumentet beräknat tio gånger per sekund, (Figur 15).



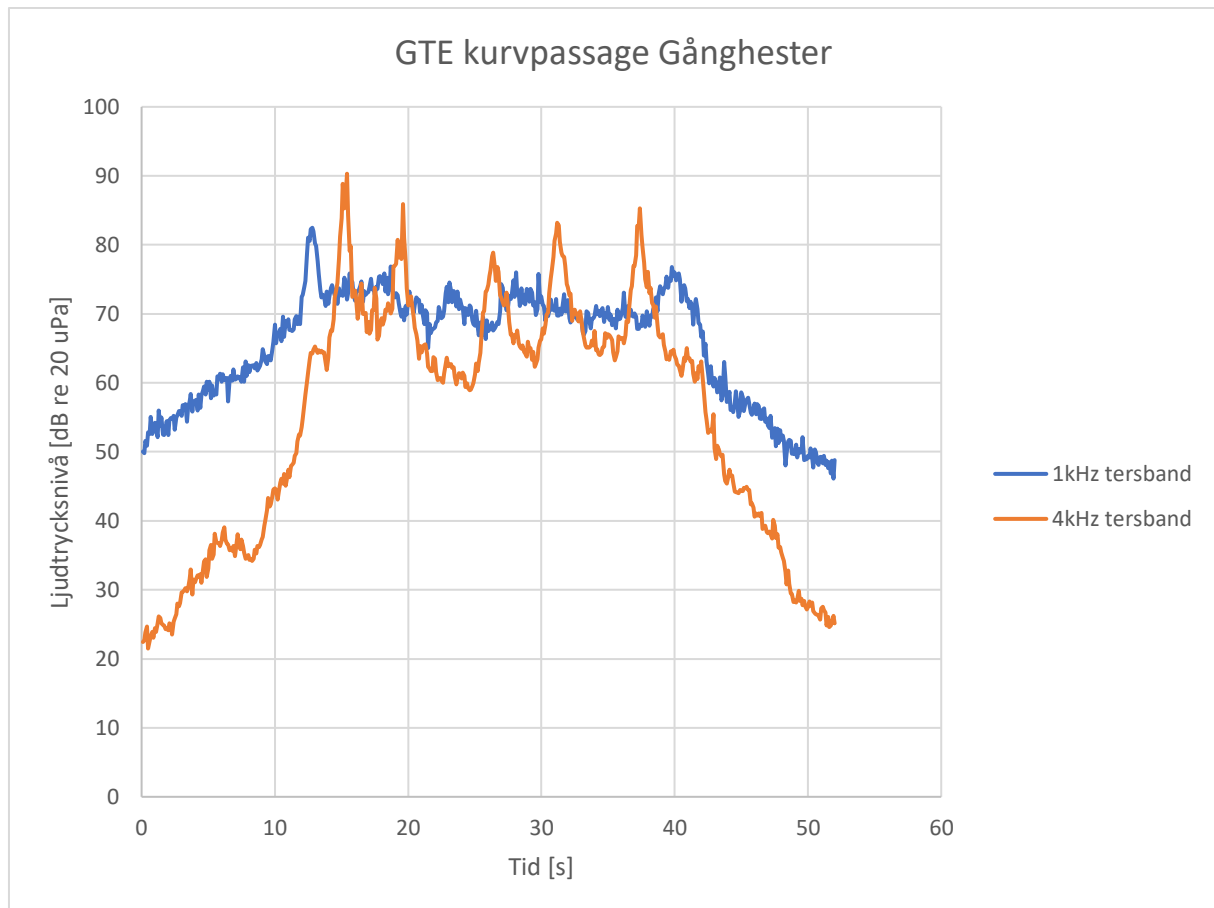
Figur 15. Exempel på spektrogram för kurvpassage, i detta fall för ellokdraget godståg vid mätplats Gånghester. Kurvskriken ses som återkommande ljusa områden vid 4kHz-tersbandet, här markerade med röda pilar.

Genom att studera ett enskilt tersbandsspektrum för en tidpunkt under passagen då det förekommer kurvskrik och jämföra med ett tersbandsspektrum för en tidpunkt då inget kurvskrik förekommer kan effekten av kurvskrik tydliggöras. För samma godstågpassage vars spektrogram visas i Figur 15 har två enskilda spektrum valts ut, dels ett 15.4 s in i mätningen då ett tydligt skrik ljud förekommer, dels 24 s in i mätningen då inget skrik ljud förekommer. Dessa två tersbandsspektrum redovisas i Figur 16.



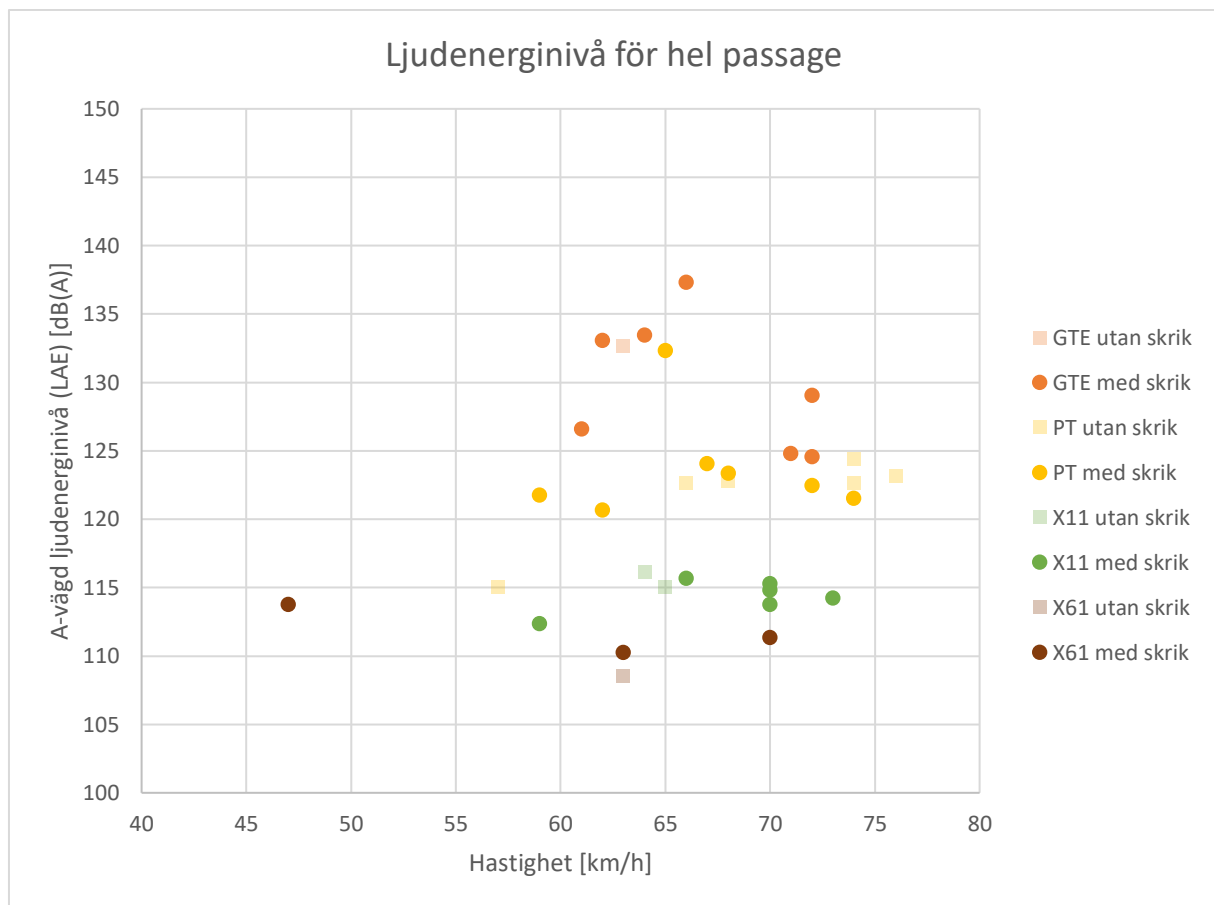
Figur 16. Tersbandsspektrum för tillfällena med och utan kurvskrik för kurvpassage med ellokdraget godståg vid mätplatsen i Gånghester.

I Figur 16 syns kurvskriket som en hög nivå i tersbanden vid 4kHz och vid 5kHz. Skillnaden mellan kurvskrik och avsaknad av kurvskrik är så stor som 30 dB för 4kHz-tersbandet, och 20 dB för tersbandet vid 5kHz. Räknar man ut en a-vägd ljudtrycksnivå för de båda tillfällena blir det i stället 91.7 dB(A) för kurvskrik och 78.8 dB(A) för avsaknad av kurvskrik vilket innebär en skillnad på 12.9 dB(A). Cnossos-EU föreskriver ett schablonpåslag för spårkurvor med en radie på 300 m eller mindre om 8 dB över alla frekvensband, vilket alltså är en underskattning för de tillfällena då kurvskrik uppstår. För att få en tydligare bild av hur stor del av tiden det förekommer kurvskrik presenteras i Figur 17 den momentana ljudtrycksnivån var tiondels sekund i 4kHz-tersbandet jämfört med den momentana ljudtrycksnivån i 1kHz-terbandet var tiondels sekund, eftersom kurvskriket förfaller sakna energi i det frekvensbandet. I Figur 17 ses tydligt fem tillfällen då kurvskrik förekommer under passagen.



Figur 17. Momentan ljudtrycksnivå i 1kHz-tersbandet jämförd med momentan ljudtrycksnivå i 4kHz-tersbandet för kurvpassage med ellokdraget godståg vid mätplatsen i Gånghester.

CNOSSOS-EU föreskriver att schablonpåslaget skall inkluderas för spåravsnitt längre än 50 m med aktuell kurvradie, vilket här tolkas som att det gäller för hela kurvans längd, och alltså för hela tågpassagen för samtliga tåg. Figur 18 visar a-vägda ljudenerginivåer uppdelat på tågtyp och förekomst av kurvskrik för de tågtyper som har fler än två passager registrerade. Som kan ses i grafen syns inte någon systematisk skillnad i ljudenerginivåer mellan passager med kurvskrik och passager utan kurvskrik, vilket indikerar att för passager med endast periodvis förekomst av kurvskrik så överskattar schablonpåslaget i CNOSSOS-EU kraftigt effekten av kurvskrik på ljudenerginivån.



Figur 18. A-vägd ljudenerginivåer för kurvpassager med och utan kurvskrik för ellokdragna godståg (GTE), lokdragna persontåg (PT), X11-motorvagnar och X61-motorvagnar. De transparenta datapunkterna representerar passager utan kurvskrik.

Sammantaget uppvisade 25 av 35 passager (drygt 70%) skrik ljud vilket, om det är i närheten av att vara representativt för all trafik genom kurvor med radie mindre än 300 m, indikerar att det finns ett behov av att ta fram ett bättre underlag för beräkning av tillägg för kurvskrik än den schablon som ingår i CNOSSOS-EU.

Eftersom hörbara skrik ljud förekommer vid många av passagerna så riskerar ljudet vara mer störande för de som bor nära kurvor med liten radie än på andra platser utmed järnvägen. Men mätt som dygnsekvivalent nivå så blir ökningen av ljudnivån jämfört med rakt spår liten enligt dessa mätningar. Schablonen från CNOSSOS-EU anger att den ekvivalenta nivån skall ökas med 5 – 8 dB, vilket är en stor överskattning i jämförelse.

Det är viktigt att poängtera att de mätningar som presenteras här endast omfattar en kurvradi (ca 295m) och endast konventionell järnväg, det vill säga inte tunnelbana eller spårväg där kurvskrik kan vara betydligt mer vanligt förekommande.

Analys – exponering av buller från broar, kurvor och växlar.

Analysen av buller från tågpassager över broar och genom kurvor och växlar indikerar att de ingående schablonpåslagen i CNOSSOS-EU genomgående överskattar bidraget från dessa delar av

infrastrukturen, med undantag för stålbroar där schablonpåslaget verkar vara relativt rimligt sett till total a-vägd ljudenerginivå för varje passage. Ett av bullerdirektivets huvudmål är att kartlägga antalet individer som utsätts för höga bullernivåer. I kvalitetsramverket för beräkningsmetoden CNOSSOS-EU finns en allmän regel att sådana parametrar för beskrivning av ljudkällan skall inkluderas som innebär en avvikelse i beräknad ljudnivå större än 2dB(A), allt annat oförändrat. De mätningar som ligger till grund för denna rapport indikerar att för kurvskrik så faller dessa i princip under 2dB-gränsen, och att det schablonpåslag om 8dB för kurvor av motsvarande radie i CNOSSOS-EU kraftigt överskattar energin från kurvskrik, vilket tydligast kan ses i Figur 18. En mer omfattande kartläggning skulle behöva genomföras för att med säkerhet bestämma om vilket påslag, om något, som är rimligt på nationell nivå. Analysen visar att vid de korta tillfällena då kurvskrik förekommer så snarare underskattas än överskattas ljudenergin, så det avgörande blir under hur stor del av passagen som kurvskrik förekommer för samtliga kurvor längs den del av järnvägsnätet som ingår i kartläggningen. Det är också möjligt att avsikten med det kraftiga schablonpåslaget för kurvskrik i CNOSSOS-EU är ämnat att hantera störningseffekter, snarare än regelrätt bullerexponering, på motsvarande sätt som att straffpåslag för buller nattetid i det sammanvägda Lden-måttet ämnar hantera att de flesta negativa hälsoeffekter tillskrivs den sömnstörning bullret innebär, men ingen sådan tolkning har direkt stöd i direktivtexten.

För stålbroar förefaller schablonpåslaget i CNOSSOS-EU innebära att mätningar och beräkningar inklusive schablonpåslaget om 4dB hamnar inom 2dB avvikelse och verkar därmed rimligt att använda i den strategiska kartläggningen i enlighet med direktivet, se Tabell 2. Mätningarna på betongbroar indikerar dock liksom för kurvskrik att ljudenergin kraftigt överskattas. Framför allt visar beräkningarna baserade på olika ytråheter att ytråheten på rälen har större effekt än eventuellt ökad ljudutstrålning från passage över betongbro, vilket tydligast visas i Tabell 4. Det är svårt att dra någon definitiv slutsats om effekten av bropassager utan att ha samtidiga mätningar av ytråhet på rälen.

Analysen av växelpassagerna indikerar att även dessa överskattas av CNOSSOS-EU, vilket visas i Figur 8. En viktig aspekt är att mätning främst skett på ett nära avstånd till spåret, 7.5m i enlighet med ISO 3095, varför också jämförande beräkning genomförts för samma avstånd, men då CNOSSOS-EU beräknas växelbuller som från en ökad ytråhet längs en sträcka av 100m medan mätningarna indikerar att stötljudet från växlar uppträder som en punktkälla just där hjulen passerar hjärtstycket så skulle jämförelsen snarare ha gjorts för större avstånd där hela 100m-sträckan kan approximeras med en punktkälla. Då behöver dock tas hänsyn till utbredningsförhållandena vid mätplatsen för att beräkna en källstyrka, vilket kan införa andra felkällor, så som att CNOSSOS-EU:s utbredningsmodell kanske inte överensstämmer med det verkliga fallet vid mätningen. Då växeln modelleras i CNOSSOS-EU som linjekälla med en längd av 100m innebär det att ljudutbredningen överskattas för ett område upp till ett avstånd av 100 - 200 m från källan, varför ljudnivåerna i dessa områden överskattas av CNOSSOS-EU. Mätningarna visar också stora skillnader mellan de två växeltyper som studerats och för mätningarna i Ledsgård så är den maximala nivån för växelpassage i samma storleksordning som för passage på referenspositionen, vilket visar på behovet av att samtidigt mäta ytråheten på platsen.

Två faktorer som inte ingått i denna analys är dels hur representativa mätningarna är för hela spårnätet som ingår i kartläggningen, dels hur stor andel av alla broar, kurvor och växlar som riskerar att exponera kringboende för ökat buller. Det vore lämpligt att kartlägga risken för exponering genom att identifiera broar, växlar och snäva kurvor i närheten av bostäder. För kurvor behöver dessutom ett statistiskt underlag tas fram som beskriver hur stor andel av tågtrafiken genom snäva kurvor som uppvisar skrikjud.

Sammanfattningsvis kan sägas att om mätningarna är representativa så gäller att

- uteslutning av schablonpåslag ger ett mer korrekt resultat för kurvskrik på det statliga järnvägsnätet, förutsatt att kurskrik bara förekommer under korta intervall och inte genom hela kurvpassagen.
- att inkludera schablonpåslaget för stålbro förefaller ge ett mer korrekt resultat än att utesluta det.
- för betongbro innebär osäkerheten i rälojämnhet vid mätplatsen, samt viss osäkerhet i utbredningsegenskaper över ett längre avstånd, att det är oklart om resultatet skulle bli mer korrekt med eller utan schablon, men då schablonpåslaget endast är 1dB för betongbro är konsekvensen av att inkludera schablonen inte kritisk för beräkning av dygnsekvivalenta nivåer. Att utesluta schablonpåslag för betongbroar minskar tid och kostnader för inventering av dessa och därmed kostnader för myndigheternas kartläggningar.
- för växlar indikerar resultaten att beräkningarna överskattar bidraget från stötljud och blir mer korrekta utan schablon, dock är det stor spridning i uppmätta resultat mestadels beroende på ytråhet på hjulen och det är också oklart hur stort bidrag den verkliga rälojämnheten alldeles omkring växeln ger. Överskattningen av beräknade värden blir dessutom extra stor då växelbuller modelleras som en linjekälla vars utbredningsegenskaper är mer gynnsamma än för en punktkälla. Sammanfattningsvis indikerar mätresultaten att uteslutning av schablonpåslag ger ett mer korrekt resultat för växlar på det statliga järnvägsnätet förutsatt att mätningarna är representativa för andra växlar.
- kortvarigt, impulsartat växelstötljud modelleras som ihållande förhöjt rullbuller vilket innebär att även om den övergripande ljudenerginivån skulle varit densamma så är det oklart om störningen är lika för så skilda ljudkaraktärer.
- samtliga jämförelser mellan mätningar och beräknade nivåer pekar på vikten av att ha tillgång till korrekta värden för rälojämnhet på de sträckor som ingår i kartläggningen.