

Crossos EU / Nord 2000 Mätserie 2C – Tillägg snabbtåg X2

Pilotstudie bulleremission från livstidsförlängda X2-tåg vid Torp

2023-02-22



CNOSSOS EU / NORD 2000 MÄTSERIE 2C – TILLÄGG SNABBTÅG X2

Pilotstudie bulleremission från livstidsförlängda
X2-tåg vid Torp

KUND

Statens Väg och Transportforskningsinstitut (VTI)
på uppdrag av Trafikverket (TRV)
Anders Genell
Regnbågsgatan 1
417 55 Göteborg

KONSULT

Ingenjörfirma Elton Tjörn
Hövikstrandsvägen 108
471 70 Höviksnäs
Tel: +46 10 7225000
Org nr: 520215-4695

KONTAKTPERSONER

Anders Genell – Akustiker
Statens Väg och Transportforskningsinstitut (VTI)
Mobil: 0734 32 02 65
E-post: anders.genell@vti.se

Tomas Jerson – Senior konsult
Ingenjörfirma Elton
Mobil: 0702 66 84 42
E-post: tomas.jerson@telia.com

PROJEKT
Cnossos EU – Indata tågbuller

UPPDRAGSNAMN
Mätserie 2C – Pilotstudie bulleremission
från nyrenoverade snabbtåg X2

UPPDRAGSNUMMER
202202

UPPRÄTTAD AV
Anders Genell / Tomas Jerson

DATUM
2022-11-10

ÄNDRINGSDATUM
2023-01-09

INNEHÅLL

1	MÄTningar	6
1.1	Mätmetod	6
1.2	LinjesTRÄCKA	7
1.3	MÄTPLATS TORp	7
1.4	Mätpunkt TORp	8
2.4.1	Ljud	8
2.4.2	Vibrationer	8
1.5	Mätinstrument	9
1.6	VÄDERLEK	9
2	resultat	10
2.1	Mätningar X2-tåg	10
2.2	Mätningar övriga tågtyper	10
2.3	Analys	11
	TSD-krav	14
3	Kommentarer	16
4	Bilagor	18
5.1	RÅDATA TÅGMÄTNINGAR	18
	"Nya" livstidsförlängda X2-tåg	18
	Gamla X2-tåg	19
	X40 elmotorvagn	20
	X52/53 elmotorvagn	21
	X61 elmotorvagn	21
	X74 elmotorvagn	22
	Y31 dieselmotorvagn	23
	Lokdraget person-/sovvagnståg	23
	Godståg 24	
4.1	Mätpunkter med koOrdinater	27
4.2	tekniska data eldrivna passagerartåg	28
	X2 Snabbtåg	28
	X2 Snabbtåg – Renoverade och livstidsförlängda	28
	X40 elmotorvagn	29
	X52/53 elmotorvagn	30
	X60 - X62 elmotorvagn	31
	X74 elmotorvagn	31
4.3	TEKNISKA dATA Dieselmotorvagn	32
	Y31 dieselmotorvagn	32
4.4	TEKNISKA DATA eldrivna lok	33
	Persontågslok Rc6 och godstågslok Rd2	33
	Person och godstågslok Vectron	33
5.5.3	Ellok EL16	34
5.5.4	Ellok TRAXX	34

1 SAMMANFATTNING

De här avrapporterade mätningarna föranleddes av att "nya" X2-snabbtåg började sättas i trafik mellan Stockholm och Göteborg. "Nya" sätts inom citationstecken för att tågsätten har behållit stommen från originaltågsätten och sedan blivit livstidsförlängda genom omfattande renovering och uppgradering av övriga komponenter. Livstidsförlängningen innebar enligt preliminära uppgifter bland annat att styr- och reglerutrustningen i loken bytts ut mot modernare hårdvara och frågan uppstod om denna omfattande ombyggnad har effekt på bulleremissionen. Enligt senare uppgifter är själva kylfläktanläggningen i drivenheten densamma i de "nya" tågsätten som i de ursprungliga, men behovet av kylning kan vara mindre i de "nya" tågsätten vilket skulle innebära att kylanläggning går med maximalt varvtal under en mindre del av tiden.

Mätningar utfördes vid tre olika tillfällen vid mätplats Torp längs Västra Stambanan. Sammanlagt inmättes sex passager med de "nya" tågsätten och sex passager med de ursprungliga tågsätten på närliggande nedspår.

Mätresultaten visar att det inte föreligger någon skillnad i bulleremission mellan de ursprungliga och de "nya" tågsätten. En analys visar att både de ursprungliga och de "nya" tågsätten överskrider de nivåer som föreskrivs för nya tåg i EU:s tekniska specifikation (TSD). Resultaten visar också att a-vägd maximalnivå för loken är ca 10dB högre än för vagnarna. Intrycket på plats var att den dominerande källan var de högt placerade frånluftsgallren för kylfläktarna. För att dessa resultat skall kunna komma till nytta har kontakt tagits med fordonsägaren. Den typ av högt placerad källa med bidrag i ett brett frekvensområde som frånluftsgallren utgör tas inte hänsyn till i de nu förekommande beräkningsmodellerna för buller från tågtrafik vilket visar på ett behov av komplettering av källbeskrivningen inför en övergång till inhemska beräkningar med Nord2000 för att minska felaktiga beräkningsresultat. En kompletterande mätning med s.k. akustisk kamera för att identifiera bidraget från respektive källa vore lämpligt.

2 BAKGRUND

Den europeiska beräkningsmodellen Cnossos EU samt den nordiska gemensamma beräkningsmetoden Nord 2000 saknar båda relevanta indata för beräkning av bulleremission från aktuella svenska tåg. Då omfattande mätningar krävs av såväl representativa fordon som av järnvägsanläggningen så har mätningarna indelats i 3 mätserier. Mångfalden av mätfall kräver omfattande förberedelser för att kraven med fokus på såväl akustik, tillgänglighet, fordonsförekomst, sth (största tillåten hastighet) m.m. skall vara uppfyllda vid mätplatserna.

Mätserie 1 och 2 samt 3A har utförts av WSP Akustik i Göteborg. Mätserie 1 och 2 har fokuserat på buller från person- och godståg i konstanta hastigheter samt till viss del under acceleration och bromsning.

Mätserie 2 utökades med 2B för att man även skulle erhålla bullerdata från moderna skivbromsade personvagnar (Flixtrain) i höga hastigheter. Mätserie 2D föranleddes av att godsvagnar som används i regelbunden trafik med stålämnen s.k. slabs mellan Luleå och Borlänge har olika bromssystem och omfattande byte från gjutjärnsblock till kompositblock eller skivbromsar skulle ge en påtaglig reduktion av bulleremissionen från godstågen. Målet var att utvärdera den effekten.

Mätserie 3A fokuserade på tågpassager över broar. Sedan tillkom mätserie 3B som fokuserat på tågpassager genom växlar och därefter tillkom 3C som var inriktad mot tågpassager i kurvor med liten radie; runt 300 m.

Det aktuella tillägget, mätserie 2C, föranleddes av att "nya" X2-snabbtåg började sättas i trafik mellan Stockholm och Göteborg. De "nya" tågsätten har behållit stommen från originaltågsätten och sedan blivit livstidsförlängda genom omfattande renovering och uppgradering av övriga komponenter. Livstidsförlängningen innebar enligt preliminära uppgifter bland annat att styr- och reglerutrustningen i loken bytts ut mot modernare hårdvara.

Då den nya utrustningen möjligen skulle kunna ha högre verkningsgrad som kräver mindre kylning och då det sedan tidigare är känt att lokets ursprungliga kylfläktar var bullriga, samt att det förekom information om att dessa fläktar skulle vara bytta mot nya tystare varianter så ansågs en inmätning motiverad. Det förutsätts även att renoveringen av tågsätten inneburit att drivande boggier i lok och löpboggierna i vagnarna renoverats och att samtliga befintliga hjul svarvats eller bytts ut mot nya hjulsatser.

De här redovisade mätningarnas syfte är att undersöka om vidtagna åtgärder påverkat bulleremissionen från de livstidsförlängda snabbtågen.

Ingenjörskfirma Elton har av Trafikverket genom VTI fått i uppdrag att medverka i mätserie 2C. I rapporten redovisas förutsättningar och rådata från mätningar från passager på Västra Stambanan som är en linje med regelbunden snabbtågstrafik samt en begränsad analys med syfte att klarlägga eventuella skillnader i ljudemission mellan "nya" och original X2-tågsätt. Syftet har varit att tillhandahålla rådata som efter analys och bearbetning av VTI kan användas som indata i beräkningsmetoderna Cnossos-EU och Nord 2000. För mätningarnas utförande ansvarar Anders Genell VTI, Göteborg och Tomas Jerson Ingenjörskfirma Elton, Tjörn.

3 MÄTNINGAR

3.1 MÄTMETOD

I tillämpliga delar så är mätningarna utförda enligt SS EN-ISO 3095. Ljud från tågpassagerarna är uppmätta med en realtidsanalysator. Mätningar har påbörjats och avslutats ca 100 m före respektive 100 m efter varje passage. Mätningarna har skett tidseriellt med ΔT 0,125s.

Under passagerarna så har ljudnivåer registrerats i tersbanden 20 – 20000 Hz. Varje passage har även registrerats med avseende på ekvivalenta och maximala ljudnivåer (tidsvägning F). Tågpassagerarna är även lagrade som icke komprimerade ljudfiler (Wave).

Vibrationsnivåerna från tågsättens hjulpassager är uppmätta med en accelerometer som monterats under rälfoten. CAT-mätningar samt räldämpning (track decay rate) har vid tidigare tillfällen utförts på den aktuella mätplatsen, dock inte i närtid, varför status för räfflor och vågor på den aktuella platsen är något osäker. De aktuella mätningarna utgör främst grund för jämförande analys för passager under samma tidsperiod med två olika tågsättsversioner, så inflytande från rälojämnhet är samma för alla passager.

Tågtyp, antal vagnar, färdriktning och hastighet har noterats. Förekomst av onormala ljud som t.ex. repetitiva impulser eller svirrande/tonala ljud före och under passagerna har noterats. Tågens passagehastighet har uppmätts med dopplerradar och vid godstågspassager även med tidtagning.

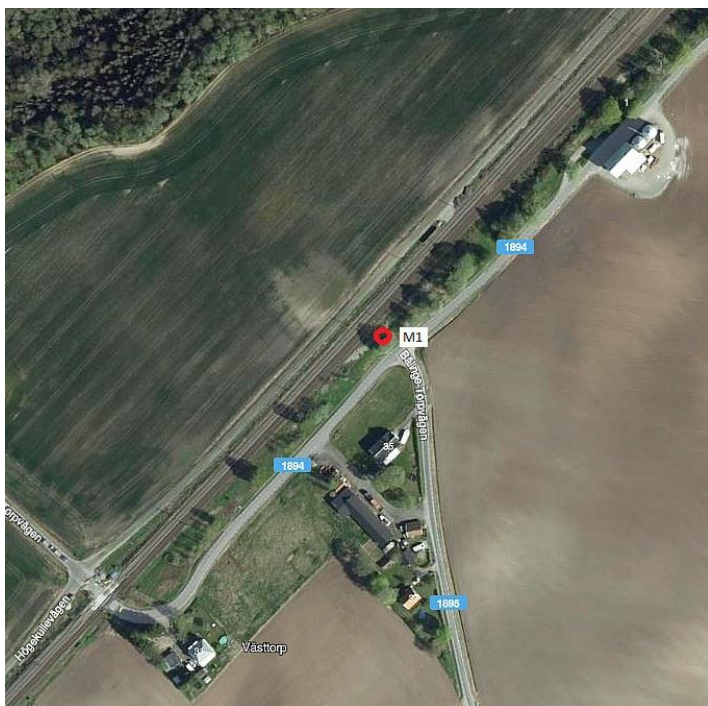
3.2 LINJESTRÄCKA

Snabbtågen trafikerar i stort antal dagligen sträckan Stockholm - Göteborg. Linjen vid mätplatsen Torp har dubbelspår och rälen (UIC60) är helsvetsad och monterad med Pandrol-befästning på betongslipers. Betydande trafik med ett antal andra typer av järnvägsfordon, såväl persontåg som godståg förekommer även.

3.3 MÄTPLATS TORP

Samtliga tågpassager har skett som förbipassager i konstant hastighet. Den aktuella mätpunkten är belägen ca 225 m nordost om järnvägsövergången i Torp, på östra sidan av spåren. Sth på platsen är 160/200 km/h.

Mätplatsen trafikeras dagligen av snabbtåg X2 samt elmotorvagnar X40, X52/53, X61, samt X74 samt dieselmotorvagn Y31. Lokdragna person-/sovvagnar, förekommer företrädesvis i tåg dragna av Rc-lok och nu även i fjärrtåg dagtid med Vectronlok. Banan har också en betydande godstågstrafik, företrädesvis med Green Cargo ellok littera Rd2 eller liknande. Övriga trafikoperatörer kan använda andra loktyper i godstågen.



Figur 1. Dubbelspår vid Torp där ljudmätningar av tågpassager utförts på ca 225 m avstånd nordost om järnvägsövergången, mätpunkten 1 är markerad med en röd cirkel

3.4 MÄTPUNKT TORP

2.4.1 Ljud

Mätningarna utfördes på 7.5 m från spårets mittpunkt, mikrofoner var monterad på 1,2 m och 3,5 m rök (rälsöverkant) och var försedda med vindskydd. Bakgrundsivån har typiskt varit betydligt mer än 10 dBA under ljudnivåerna från tågpassagera. I avsnitt 5.3 – 5.4 redovisas tekniska data på de fordon som förekommit vid mätplatserna. Markprofilen mellan spår och mätpunkter samt orientering vid respektive bandel har dokumenterats, dessa uppgifter redovisas i avsnitt 5.2, Tabell 15.

2.4.2 Vibrationer

Vibrationsnivån från tågpassagera har uppmätts i närmaste räl på närmaste spår. Accelerometern har monterats under mitten på rälfoten. Ytan under rälerna har skrapats och stålborstats så att inga lösa korrosionsfragment förekommit. Givaren har sedan fixerats med en magnetplatta under rälfoten. För att undvika att givaren överstyrts av transienta toppar från enskilda hjulpassager så har ett mekaniskt filter varit monterad mellan givare och magnetplatta.

3.5 MÄTINSTRUMENT

Följande instrument användes vid mätningarna.

Tabell 1: Mätinstrument

Instrument	Typ	Serienummer
Ljudnivåanalysator	Sinus Apollo LB LT-4L	908047
Mikrofon+förstärkare ch1	B&K 4188-A-21	2906549
Mikrofon+förstärkare ch2	B&K 4188-A-21	2906550
Akustisk kalibrator	B&K 4231	300779
Accelerometer	PCB 352C03	LW257246
Vibrationskalibrator	Svantec SV110	105413
Mekaniskt filter	B&K UA0553	--
Magnetplatta	DYTRAN 6196	--
Radarpistol	Bushnell 101911	INR2101
Tidtagarur	King Tech	INR2102
Vindmätare	Silva ADC Wind	Ö-074
Avståndsmätare	Nikon 124	5006425

Ljudnivåmätaren med tillhörande utrustning uppfyller kraven för mätinstrument klass I enligt SS EN 61 672. VTI:s policy för kalibrering följer riksprovplatsen RISE:s kvalitetssystem. Kontroll av kalibreringsnivåer i fält, före och efter mätningarna har utförts utan anmärkning.

3.6 VÄDERLEK

Medelvindhastigheten har under samtliga mätningar varit <5 m/s. Då avståndet till spåren vid mätningarna varit kort så har inte rådande vindriktning beaktats. Mätningar har inte utförts då regn förekommit. Lufttemperaturen har vid samtliga mätningar varit > 10°C.

4 RESULTAT

Mätningar av buller och vibrationer från tågpassager i Torp har utförts vid tre tillfällen från juni – oktober månad 2022. I bilaga 5.1 redovisas rådata från mätningarna för varje tågtyp.

4.1 MÄTNINGAR X2-TÅG

Tabell 2: Antal mätningar av ljudnivåer från snabbtåg

Riktning	N-X2 ¹⁾	G-X2 ²⁾
A ^{3)/H⁴⁾}	Antal	Antal
A	6	6
H	1	9
A		3 ⁵⁾

- 1) Nyrenoverat och ombyggt X2-tåg
- 2) Ursprungligt X2-tåg
- 3) Passager mot Alingsås på nedspår, 7,5 m från spårmit
- 4) Passager mot Herrljunga på uppspår, 12 m från spårmit
- 5) Passager med multipelkopplade X2-tågsätt, 2 enheter med vardera lok+6 vagnar

I tabell 2 framgår att 6 passager med vardera ursprunglig respektive nyrenoverat X2-tågset har uppmätts på närliggande nedspår. Det är dessa totalt 12 passager som ligger till grund för den jämförande analysen. Därutöver mättes även 3 multipelkopplade X2-tågsätt på nedspåret. Mätningar har även utförts på 9 X2-passager på uppspåret, dessa mätningar saknar accelerometersignal då en accelerometer endast var monterad på nedspåret.

4.2 MÄTNINGAR ÖVRIGA TÅGTYPEN

Utöver ovanstående X2-passager inmättes även ljudnivåer från övriga passerande tåg under perioden. Antal tågtyper och passager redovisas i tabell 3 nedan.

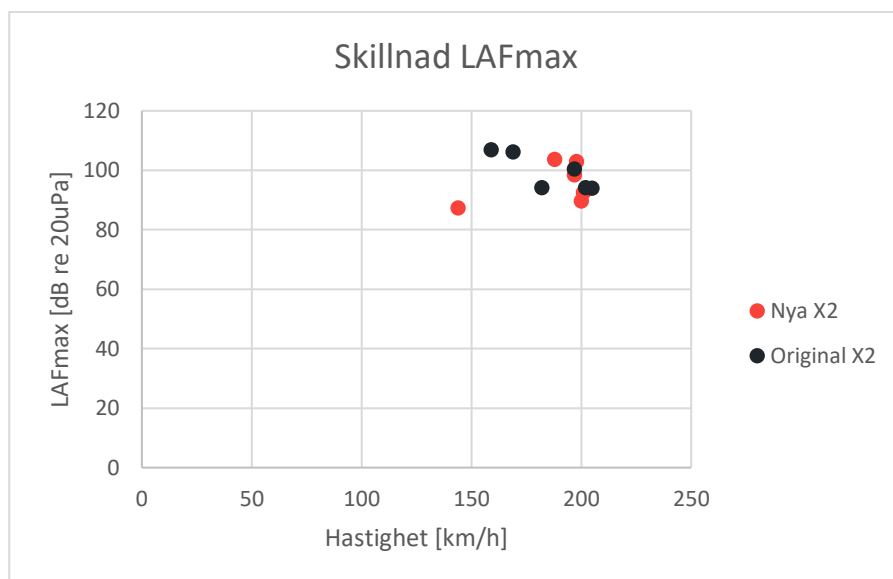
Tabell 3: Antal mätningar av ljudnivåer från övriga tågtyper

Riktning	X40 ¹⁾	X52/53 ¹⁾	X61	X74	Y31	PT ²⁾	GT ³⁾
A ^{4)/H⁵⁾}	Antal	Antal	Antal	Antal	Antal	Antal	Antal
A	7	6	1	7	4	2	16
H	9	7	2	6	4	5	15

- 1) Motorvagnssätt med 2/3 vagnar som ibland även går multipelkopplade
- 2) Lokdragna person eller sovvagnståg
- 3) Elloksdragna godståg
- 4) Passager mot Alingsås på nedspår, 7,5 m från spårmit
- 5) Passager mot Herrljunga på uppspår, 12 m från spårmit

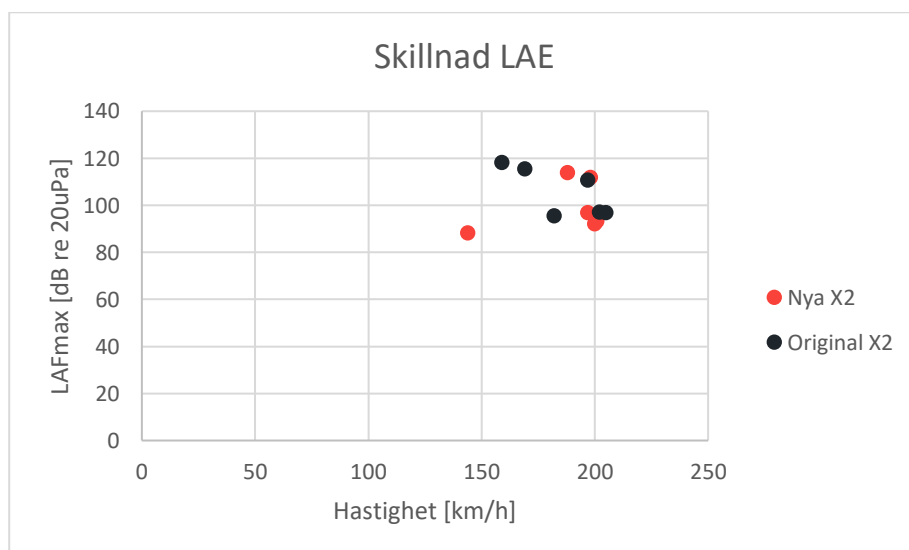
5 ANALYS

De sex original och sex "nya" X2-tågsätt som passerade på närliggande nedspår analyserades för att kunna identifiera eventuella skillnader i utstrålat buller.



Figur 2. Jämförelse av uppmätta maximala ljudnivåer för passager med originaltågsätten respektive "nya" X2-tågsätt.

I Figur 2 visas maximal ljudnivå för respektive passage som funktion av hastigheten. För höga hastigheter kan man konstatera att det inte går att identifiera någon övergripande skillnad mellan originaltågsätten och de "nya" X2-tågen. För lägre hastigheter är antalet datapunkter för få för att dra någon slutsats, men det är möjligt att de "nya" tågsätten skulle kunna uppvisa något lägre maximalljudnivåer utifrån de få datapunkter som finns.

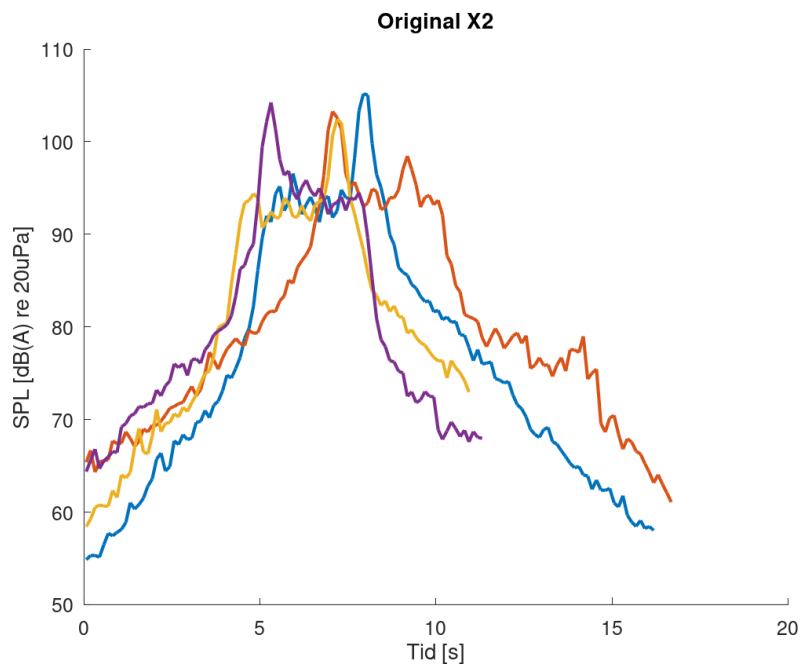


Figur 3. Jämförelse av uppmätta ljudenerginivåer för passager med originaltågsätten respektive "nya" X2-tågsätt.

Liksom för maximal ljudnivå skiljer sig ljudenerginivåerna väldigt lite mellan originaltågsätten och de "nya" tågsätten. Fördelningen av ljudenerginivåer som visas i Figur 3 är påfallande lik den för maximala ljudnivåer, vilket

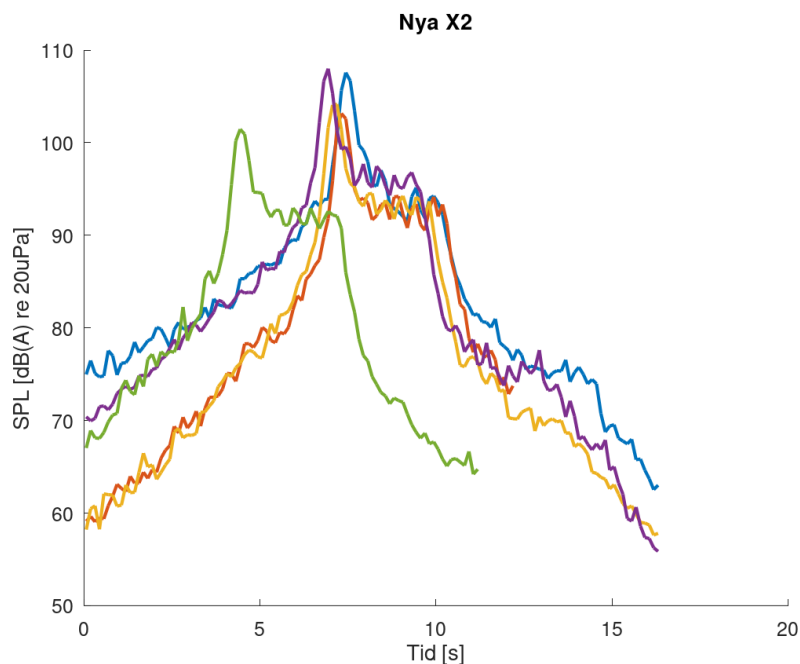
indikerar att källan till maximalbullernivån ger ett betydande bidrag till ljudenergin för hela passagen.

För att ytterligare undersöka skillnader mellan originaltågsätt och "nya" tågsätt studerades ljudnivåns tidshistorik för passager vid jämförbara hastigheter av respektive typ.



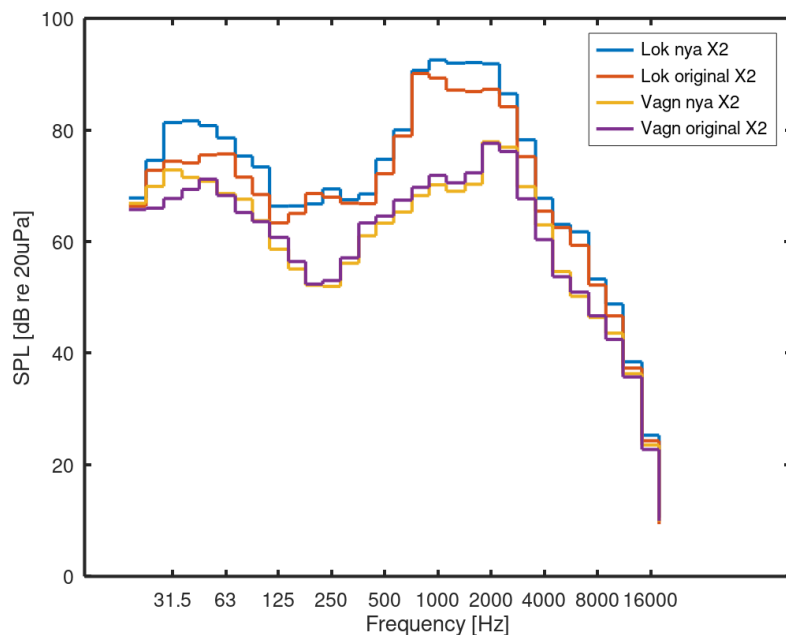
Figur 4. Tidshistorik för individuella passager av original X2-tågsätt.

Figur 4 visar tidshistorik för passager med original X2-tågsätt i hastigheter kring 200 km/h. Varje passage uppvisar en topp i ljudnivå i början eller i slutet av passagen, vilket med stor sannolikhet kan tillskrivas kylfläktarna som sitter monterade i loket. X2-tågsätten körs med loket dragande, eller skjutande då med föraren placerad på en manöverplats i den sista vagnen, vilket är förklaringen till att lokets ljudkälla ibland uppträder i början och ibland i slutet av tidshistoriken för passagerna. Högsta ljudnivå för loket förefaller vara ca 10dB(A) högre än för vagnarna i tågsättet.



Figur 5. Tidshistorik för individuella passager av "nya" X2-tågsätt.

Figur 5 visar motsvarande tidshistorik för "nya" X2-tågsätt. Även dessa passager uppvisar en tydlig ljudnivåtopp för loket jämfört med vagnarna i tågsättet. Detta indikerar att även de "nya" tågsätten har fläktsystem med hög bulleremission. För att vidare undersöka ifall ljudnivåtoppen för loket skulle kunna ha olika orsaker för originaltågsätten och de "nya" tågsätten togs också ljudtrycksnivåer i tersband fram dels för ett tidsfönster som representerar då lokets läge var tvärs för mätmikrofonen, dels för ett tidsfönster då sista vagnen var tvärs för mätmikrofonen.



Figur 6. Medeltersbandsspektra för lok respektive vagnar för passager med originaltågsätt respektive "nya" X2-tågsätt i hastigheter omkring 200 km/h.

I Figur 6 visas medeltersbandsspektra för passager i hastigheter omkring

200 km/h för lok respektive vagnar för både originaltågsätt och "nya" X2-tågsätt. Det är tydligt att loken har högre ljudemission än vagnarna, i frekvensområdet omkring 1kHz är skillnaden mellan lok och vagnar uppemot 20dB SPL. Det är inte självklart utifrån mätresultaten vilken källa som bidrar till den effekten, men intrycken vid mätning indikerar dock att det är de högt placerade frånluftsgallren för lokets kylfläktssystem som dominerar ljudemissionen för loket. Tersbandsspektra skiljer sig väldigt lite mellan original och "nya" tågsätt vilket vidare indikerar att källan bör vara densamma för de två olika tågsätten. Dessa resultat stämmer väl överens med tidigare inmätning av bidraget från kylfläktssystemet på ursprungliga X2 tåg¹. De stora skillnaderna i ljudemission från lok respektive vagnar ger också en förklaring till att uppmätt maximalnivå och uppmätt ljudenergi för respektive passage överensstämmer så väl med varandra som syns i Figur 1 och Figur 2, dvs. att ljudenergin för hela passagen domineras av bidraget från loket. Detta är av speciell vikt eftersom källan är högt placerad vilket inte hanteras av de beräkningmetoder som använder källdata för X2-tåg, och eftersom bullerskärmar som dimensioneras för att minska exponering för hjul-/rälbuller riskerar att bli ineffektiva.

TSD-krav

Enligt EU-kommissionens förordning nr 1304/2014 skall alla nya tåg uppfylla en så kallad teknisk specifikation för driftskompatibilitet (TSD) rörande bulleremission. I förordningens Tabell 4 anges att för elmotorvagnar, till vilka enligt kommissionens definition X2-tågen hör, gäller ett gränsvärde för förbifartsbuller, $L_{pAeq, Tp(80 \text{ km/tim})} = 80 \text{ dB}$. Då X2-tågen utvecklades innan förordningen och tidigare regelverk om buller togs i bruk krävs formellt inte att de skall uppfylla gränsvärdet eller tidigare gränsvärden, men det krävs enligt förordningen att man kan visa att bullernivåerna för de moderniserade eller ombyggda enheterna inte har ökat. Sådan visning krävs bara för de grundläggande parametrar som påverkas av moderniseringen/uppgaderingen. Oavsett kravuppfyllan utgör $L_{pAeq, Tp(80 \text{ km/tim})}$ en intressant grund för jämförelse. Mätningarna genomfördes för hastigheter omkring 200 km/tim, medan gränsvärdet gäller för referenshastigheten 80 km/h. I förordningen anges att mätvärden för avvikande hastigheter skall normaliseras till referenshastighet genom följande formel

$$L_{pAeq, Tp(80 \text{ km/tim})} = L_{pAeq, Tp(v_{test})} - 30 \times \log\left(\frac{v_{test}}{80 \text{ km/tim}}\right)$$

där $L_{pAeq, Tp(v_{test})}$ är den ekvivalenta ljudtrycksnivån för tiden, T_p , för tågsättets passage förbi mätpositionen och v_{test} är den aktuella hastigheten för den uppmätta passagen.

Tabell 4 redovisar normaliserade emissionsnivåer för original respektive "nya" X2-tågsätt i enlighet med ovanstående, beräknat för samtliga passager på nedspår i Tabell 2 förutom multipelkopplade tågsätt.

¹ Jerson, T., "Pilotstudie Buller från rangering", WSP-rapport, 2015-09-03

Tabell 4. Normaliserade emissionsnivåer för original respektive ”nya” X2-tågsätt i enlighet med TSD-kraven.

$L_{pAeq, Tp(v_{test})}$ original X2	V_{test} km/tim		$L_{pAeq, Tp(v_{test})}$ ”nya” X2	V_{test} km/tim
85.0	197		85.0	198
84.6	182		85.8	188
86.9	205		85.0	200
86.2	202		81.6	144
84.6	159		85.9	201
83.6	169		86.0	197

Som synes ligger de TSD-normaliserade emissionsnivåerna över gränsvärdet 80 dB(A), vilket indikerar att genom att trafikera järnvägsnätet enbart med tåg som uppfyller TSD-gränsvärdet skulle bullerexponeringen kunna minska.

TSD-krav finns även för enskilda lok, vilket egentligen inte är applicerbart på X2-tågen då de räknas som elmotorvagn men som kan vara en intressant jämförelse då mätningarna indikerar att den dominerande källan är drivenhetens kylfläktsystem. Om man plockar ut ett tidsfönster då drivenheten befinner sig tvärs mätpositionen och beräknar $L_{pAeq, Tp(v_{test})}$ för en passagetid som endast motsvarar tiden för lokets passage så kan resultatet jämföras med gränsvärdet för en enskilt lok vilket i TSD-förordningen anges vara 84 dB(A).

Tabell 5. Normaliserade emissionsnivåer för original respektive ”nya” X2-lok i enlighet med TSD-kraven

$L_{pAeq, Tp(v_{test})}$ original X2	V_{test} km/tim		$L_{pAeq, Tp(v_{test})}$ ”nya” X2	V_{test} km/tim
93.9	197		98.7	198
96.5	182		98.3	188
92.6	205		93.0	200
95.9	202		93.6	144
94.8	159		96.8	201
94.3	169		98.0	197

Tabell 5 redovisar normaliserade emissionsnivåer för X2-lok. Det är viktigt att notera att mätningarna formellt inte uppfyller förutsättningarna för att beräkna emissionsnivå från enskilt lok då det inte går att undvika bidrag från

vagnarna som är kopplade till loket, men eftersom maximalnivån för loket är ca 10 dB(A) högre än för vagnarna så är det sannolikt en relativt robust indikation. Det är också oklart hur lämplig normaliseringen $30 \cdot \log(V_{\text{test}}/V_{\text{ref}})$ är, då den bara är giltig för hjul/räl-relaterat buller, medan loken sannolikt domineras av fläktbuller.

6 KOMMENTARER

Antalet mätningar av "nya" X2-tåg har blivit färre än förväntat. Vid det första mättillfället 2022-06-29 förväntades enligt trafikplanen att tre "nya" X2-tåg skulle passera under mätdagen. Endast ett nyrenoverat tågsätt passerade dock, vilket sannolikt kan förklaras av lokförarbrist under sommarperioden. Flera ordinarie X2-tåg passerade multipelkopplade under dagen vilket stödjer denna hypotes. Vid det sista mättillfället 2022-10-04 förväntades att fyra "nya" X2-tåg skulle passera. Endast ett nyrenoverat tågsätt passerade dock denna dag då övriga enligt uppgift var inne på verkstad.

Analysen visar att det inte förefaller vara någon avgörande skillnad i ljudemission mellan original och "nya" X2-tågsätt, och både analysen och framför allt intrycken under mätning indikerar att ljudemissionen domineras av ljud från kylfläktarna på loket. Efter genomförda mätningar har det framkommit information angående kylfläktarna hos X2-tågsätten förmedlad via kontakt med operatören SJ:

- Fläktarna är samma för de "nya" X2-tågsätten som för de ursprungliga. Bara styrningen är ny.
- Kyltorn (4 fläktar) och traktionsmotorfläktar (1 per boggi) är frekvensstyrda 15-50 Hz, vilket alltså innebär en styrning av fläktmotorernas varvtal. Det finns också redundans så att om den ordinarie hjälpkraftströmriktaren faller bort går en annan strömriktare in med fast frekvens 50 Hz, dvs maximalvarv.
- Alla fläktar går med samma varvtal vilket bestäms av aktuella uppmätta temperaturer i transformator, strömriktare, motorer och maskinrum. Det system som har mest kylbehov för tillfället bestämmer varvtalet.
- Kyltorn (4 fläktar) och traktionsmotorfläktar (1 per boggi) är frekvensstyrda 15-50 Hz vilket i sin tur styr varvtalet. Det finns också redundans så att om den ordinarie hjälpkraftströmriktaren faller bort går en annan strömriktare in med fast frekvens 50 Hz vilket innebär maximalt varvtal.
- Det är sannolikt att fläktarna går med maximalt varvtal när tåget kör i 200 km/h men det kan vara lägre också eftersom det är rent temperaturstyrt.
- Fokus i projektet har varit att reducera fläktbullret vid plattform och i låga hastigheter.

Sammantaget kan sägas att det inte finns någon anledning att skilja "nya" och original X2-trågsätt från varandra vid framtagande av källdata för beräkningsmodeller. Det sannolika faktum att ljudemissionen, åtminstone i hög hastighet, domineras av kylfläktar vars frånluftsgaller är högt placerade på loket utgör dock grund för att se över hur ljudenergin fördelas mellan delkällor av olika höjd i beräkningsmetoderna eftersom beräknade nivåer,

speciellt i kombination med förekomst av bullerskärmar, annars riskerar att avvika kraftigt från verkliga nivåer om ljudenergin antas komma uteslutande från lågt placerade källor.

Det skulle vara av stor nytta att komplettera med mätningar där man använder en s.k. akustisk kamera för att tydligt visa bidraget från kylfläktar respektive hjul och räl.

7 BILAGOR

5.1 RÅDATA TÅGMÄTNINGAR

I följande bilaga redovisas samtliga uppmätta passager i samband med mätserie 2D, inklusive passager på motstående spår samt passager som innefattar multipelkopplade X2-tågsätt (2 enheter med vardera 1 lok+6 vagnar). Det är dock endast passager på närliggande spår med mätpunkten 7,5 m från spårmittpunkt som ligger till grund för indata till beräkningsmodeller. Förekommande ljudnivåer från varje enskild passage redovisas i samtliga tabeller med följande beteckningar.

SEL: Sound exposure level (ekvivalentnivå normaliserad till 1s)

FMax: Maximala ljudtrycksnivå under passagen är utförd med tidvägning Fast 0,125 sekunder.

dBA: Redovisade ljudnivåer är frekvensvägda med A-filter

"Nya" livstidsförlängda X2-tåg

Tabell 6: Rådata från mätning av "nya" X2-passager. Grönmarkerade rader är de passager som ingår i analysavsnittet.

Datum	Fil	Mätplats	Vagnar	Riktning	Hastighet	SEL ³⁾	FMax ³⁾
			st	H ¹⁾ /A ²⁾	km/h	dBA	dBA
2022-06-30	23	Torp	6	A	198	111,9	102,8
2022-09-23	30	Torp	6	A	188	113,9	103,6
2022-09-23	46	Torp	6	A	200	92,1	89,6
2022-09-23	65	Torp	6	A	144	88,3	87,2
2022-09-23	79	Torp	6	A	201	93,2	92,4
2022-10-05	82	Torp	6	A	197	96,8	98,3
2022-10-05	111	Torp	6	H	183	107,9	107,7

1) Herrljunga

2) Alingsås

3) Mät punkt 7,5 m från spårmittpunkt och 1,2 m rök

Gamla X2-tåg

Tabell 7: Rådata från mätning av "gamla" X2-passager. Grönmarkerade rader är de passager som ingår i analysavsnittet.

Datum	Fil	Mätplats	Vagnar	Riktning	Hastighet	SEL ³⁾	FMax ³⁾
			st	H ^{1)/A²⁾}	km/h	dBA	dBA
2022-06-30	7	Torp	12 ⁴⁾	A	181	105,4	105,1
2022-06-30	22	Torp	12 ⁴⁾	A	197	96,8	95,9
2022-09-23	37	Torp	6	A	197	110,6	100,3
2022-09-23	51	Torp	6	A	182	95,4	94
2022-10-05	89	Torp	6	A	205	96,8	93,8
2022-10-05	97	Torp	6	A	202	97,1	94,1
2022-10-05	104	Torp	6	A	159	118,1	106,8
2022-10-05	113	Torp	6	A	169	115,4	106,1
2022-06-30	15	Torp	12 ⁴⁾	H	180	105,9	102,9
2022-09-23	31	Torp	6	H	188	102,8	103
2022-09-23	44	Torp	6	H	177	93,7	91,7
2022-09-23	48	Torp	6	H	188	104,8	91,7
2022-09-23	59	Torp	6	H	185	105,6	107,5
2022-09-23	78	Torp	6	H	183	115	104,7
2022-10-05	84	Torp	6	H	162	101,2	101,8
2022-10-05	94	Torp	6	H	172	99,1	94,7
2022-10-05	102	Torp	6	H	179	95,3	92,3
2022-10-05	119	Torp	6	H	169	101,7	102,9

1) Herrljunga

2) Alingsås

3) Mätpunkt 7,5 m från spårmittpunkt och 1,2 m rök

4) Multipelkopplat tågsätt, (2 enheter med vardera 1 lok+6 vagnar)

X40 elmotorvagn

Tabell 8: Rådata från mätning av X40-passager

Datum	Fil	Mätplats	Vagnar	Riktning	Hastighet	SEL ³⁾	FMax ³⁾
			st	H ^{1)/A²⁾}	km/h	dBA	dBA
2022-06-30	9	Torp	3	A	176	74,9	74,7
2022-06-30	19	Torp	5	A	167	92,8	91,3
2022-09-23	42	Torp	2	A	175	94,6	85,2
2022-09-23	54	Torp	5	A	173	97,6	95,5
2022-09-23	74	Torp	3	A	165	96,1	96,8
2022-10-05	91	Torp	3	A	176	96,2	96,5
2022-10-05	109	Torp	5	A	177	100,3	98,3
2022-06-30	4	Torp	3	H	152	92,3	89,4
2022-06-30	12	Torp	3	H	149	97,9	95,7
2022-06-30	26	Torp	3	H	167	102,5	104
2022-09-23	40	Torp	3	H	165	114,1	105,1
2022-09-23	47	Torp	3	H	156	109,1	101,3
2022-09-23	66	Torp	3	H	154	97,1	93,7
2022-10-05	81	Torp	3	H	155	104,5	94,3
2022-10-05	100	Torp	3	H	150	113,7	105,3
2022-10-05	116	Torp	3	H	166	96	93,4

1) Herrljunga

2) Alingsås

3) Mätpunkt 7,5 m från spårmittpunkt och 1,2 m rök

X52/53 elmotorvagn

Tabell 9: Rådata från mätning av X50-passager

Datum	Fil	Mätplats	Vagnar	Riktning	Hastighet	SEL ³⁾	FMax ³⁾
			st	H ^{1)/A²⁾}	km/h	dBA	dBA
2022-06-30	3	Torp	3	A	174	92,4	91,7
2022-06-30	13	Torp	3	A	150	90,4	89,7
2022-06-30	27	Torp	5	A	175	91,9	89
2022-09-23	64	Torp	3	A	167	96,2	95,5
2022-10-05	99	Torp	2	A	176	97,3	97,5
2022-10-05	115	Torp	3	A	172	94,7	93,4
2022-06-30	6	Torp	3	H	167	90,3	87,3
2022-06-30	18	Torp	3	H	168	104,2	98,9
2022-09-23	41	Torp	2	H	164	94,2	92,1
2022-09-23	55	Torp	3	H	155	98,3	95,7
2022-09-23	76	Torp	6	H	164	102	99,1
2022-10-05	90	Torp	3	H	167	90	85,6
2022-10-05	110	Torp	5	H	159	113,5	103,9

- 1) Herrljunga
- 2) Alingsås
- 3) Mät punkt 7,5 m från spårmittpunkt och 1,2 m rök

X61 elmotorvagn

Tabell 10: Rådata från mätning av X61-passager

Datum	Fil	Mätplats	Vagnar	Riktning	Hastighet	SEL ³⁾	FMax ³⁾
			st	H ^{1)/A²⁾}	km/h	dBA	dBA
2022-10-05	117	Torp	8	A	155	99,2	96,6
2022-09-23	45	Torp	4	H	160	100	99,6
2022-10-05	105	Torp	4	H	150	102,5	101,8

- 1) Herrljunga
- 2) Alingsås
- 3) Mät punkt 7,5 m från spårmittpunkt och 1,2 m rök

X74 elmotorvagn

Tabell 11: Rådata från mätning av X74-passager

Datum	Fil	Mätplats	Vagnar	Riktning	Hastighet	SEL ³⁾	FMax ³⁾
			st	H ^{1)/A²⁾}	km/h	dBA	dBA
2022-06-30	11	Torp	5	A	174	96,8	96,7
2022-06-30	28	Torp	5	A	183	99,8	101,5
2022-09-23	32	Torp	5	A	176	93	90,4
2022-09-23	58	Torp	5	A	184	97,9	98,5
2022-09-23	75	Torp	5	A	175	97,2	95,3
2022-10-05	86	Torp	5	A	148	109,8	99,1
2022-10-05	95	Torp	5	A	196	93,6	93,5
2022-06-30	2	Torp	5	H	179	94,5	92,6
2022-06-30	17	Torp	5	H	155	103,2	105
2022-09-23	39	Torp	5	H	170	99	100,1
2022-09-23	52	Torp	5	H	166	104,4	103,3
2022-09-23	73	Torp	5	H	170	103,5	98,9
2022-10-05	107	Torp	5	H	174	92,9	91

1) Herrljunga

2) Alingsås

3) Mät punkt 7,5 m från spår mitt och 1,2 m rök

Y31 dieselmotorvagn

Tabell 12: Rådata från mätning av Y31-passager

Datum	Fil	Mätplats	Vagnar	Riktning	Hastighet	SEL ³⁾	FMax ³⁾
			st	H ^{1)/A²⁾}	km/h	dBA	dBA
2022-09-23	33	Torp	2	A	139	91,9	90,3
2022-09-23	53	Torp	2	A	133	92,2	90,3
2022-10-05	85	Torp	2	A	136	87,2	85
2022-10-05	108	Torp	2	A	136	90,1	88,2
2022-09-23	34	Torp	2	H	138	98,3	96,5
2022-09-23	49	Torp	2	H	134	114,2	102,9
2022-10-05	87	Torp	2	H	147	94,4	91,6
2022-10-05	103	Torp	2	H	120	93,4	91,2

4) Herrljunga

5) Alingsås

6) Mätpunkt 7,5 m från spårmittpunkt och 1,2 m rök

Lokdraget person-/sovvagnståg

Tabell 13: Rådata från mätning av passager med person-/sovvagnståg

Datum	Fil	Mätplats	Vagnar	Riktning	Hastighet	SEL ³⁾	FMax ³⁾
			st	H ^{1)/A²⁾}	km/h	dBA	dBA
2022-09-23	35	Torp	4	A	161	88,7	86,7
2022-10-05	88	Torp	4	A	138	90,1	89,8
2022-06-30	5	Torp	1	H	158	96,9	97,9
2022-09-23	29	Torp	8	H	141	87,6	86
2022-09-23	70	Torp	4	H	152	88,3	86,3
2022-09-23	71	Torp	4	H	160	96,2	95,3
2022-10-05	96	Torp	4	H	161	92,6	90,8

1) Herrljunga

2) Alingsås

3) Mätpunkt 7,5 m från spårmittpunkt och 1,2 m rök

Godståg

Tabell 14: Rådata från mätning av passager med godståg

Datum	Fil	Mätplats	Vagnar	Riktning	Hastighet	SEL ³⁾	FMax ³⁾
			st	H ^{1)/A²⁾}	km/h	dBA	dBA
2022-06-30	10	Torp	29	A	107	113,7	103,5
2022-06-30	14	Torp	32	A	108	84,8	83,2
2022-06-30	16	Torp	28	A	110	110,4	103,7
2022-06-30	20	Torp	41	A	100	92,8	90,8
2022-06-30	24	Torp	20	A	114	96,7	97,8
2022-09-23	38	Torp	29	A	109	97,8	95,8
2022-09-23	43	Torp	28	A	102	109,3	99,5
2022-09-23	50	Torp	29	A	100	102,5	100,3
2022-09-23	56	Torp	26	A	106	90,7	86,2
2022-09-23	60	Torp	19	A	110	108,7	99
2022-09-23	69	Torp	44	A	97	101,2	102,2
2022-09-23	77	Torp	13	A	103	102,2	103,5
2022-10-05	92	Torp	29	A	97	107,6	96,7
2022-10-05	93	Torp	6	A	78	100,1	100,7
2022-10-05	98	Torp	32	A	107	108,1	97
2022-10-05	118	Torp	36	A	98	98,8	95,1
2022-06-30	8	Torp	41	H	101	111,1	101,6
2022-06-30	21	Torp	44	H	103	89,2	87
2022-06-30	25	Torp	29	H	111	88,3	87,7
2022-09-23	36	Torp	32	H	114	111,9	103,1
2022-09-23	57	Torp	44	H	98	111,9	105,2
2022-09-23	62	Torp	29	H	70	100,5	101,2
2022-09-23	63	Torp	23	H	102	99	93,4
2022-09-23	67	Torp	36	H	101	88,9	88,9

1) Herrljunga

2) Alingsås

- 3) Mätpunkt 7,5 m från spårmitte och 1,2 m rök

Fortsättning Tabell 14: Rådata från mätning av passager med godståg

Datum	Fil	Mätplats	Vagnar	Riktning	Hastighet	SEL ³⁾	FMax ³⁾
			st	H ^{1)/A²⁾}	km/h	dBA	dBA
2022-09-23	68	Torp	41	H	66	104,9	102,2
2022-09-23	80	Torp	32	H	103	90,8	88,9
2022-10-05	83	Torp	16	H	85	82,6	81
2022-10-05	101	Torp	24	H	78	99,1	96,9
2022-10-05	106	Torp	45	H	89	105,2	101,2
2022-10-05	112	Torp	42	H	101	105,4	106,9
2022-10-05	114	Torp	29	H	109	100,1	94,7

1) Herrljunga

2) Alingsås

3) Mätpunkt 7,5 m från spårmitte och 1,2 m rök

7.1 MÄTPUNKTER MED KOORDINATER

Tabell 15: Mätpunktskoordinater i kurvor orienterad vid respektive bandel

Plats	Mät punkt	Mikrofon höjd (Sweref99TM E	Sweref99TM N	Bandel	km + m
Torp	M1	1.2	358285	6427459	611	N
Torp	M1	4	358285	6427459	611	N

- 1) Mikrofonhöjd i m över rälsöverkant (rök)
- 2) N - nedspår

7.2 TEKNISKA DATA ELDRIVNA PASSAGERARTÅG

X2 Snabbtåg

Typ: Lokdraget snabbtåg,
6 vagnar, framförs även multipel
Axelföljd: Bo`Bo`
Längd: 6 vagnar 164,2 m
Tjänstevikt: 365 ton
Effekt: 3260 kW
Sth: 200 km/h
Tillverkare: ASEA/ KV
Byggår: 1989 - 1998
Antal: 43 st.
Tillhör: SJ



X2 Snabbtåg – Renoverade och livstidsförlängda

Typ: Lokdraget snabbtåg,
6 vagnar
Axelföljd: Bo`Bo`
Längd: 6 vagnar 164,2 m
Tjänstevikt: 365 ton
Effekt: 3260 kW
Sth: 200 km/h
Tillverkare: ASEA/ KV
Renoveras av: ABB / Stadler
Utförs: 2021 -
Antal: ? st.
Tillhör: SJ



X40 elmotorvagn

Typ: Elmotorvagn, 2 eller 3 vagnar, även multipel
Axelföljd: 2 vagnar Bo`2`+ 2`Bo
3 vagnar Bo`2`+ 2`Bo´+ 2`Bo´
Längd: 2 vagnar 55,1 m
3 vagnar 81,5 m
Tjänstevikt: 2 vagnar 144 ton
3 vagnar 216 ton
Effekt: 1700/2550 kW
Sth: 200 km/h
Tillverkare: Alstom
Byggår: 2004 - 2008
Antal: 70 st.
Tillhör: SJ



X52/53 elmotorvagn

Typ: Elmotorvagn, 2 eller 3 vagnar, även multipel

Axelföljd: 2 vagnar Bo`Bo` + Bo2`

3 vagnar Bo`Bo` + 2`2` + Bo`Bo`

Längd: 2 vagnar 53,9 m

3 vagnar 80,5 m

Tjänstevikt: 2 vagnar 142 ton

3 vagnar 203 ton

Effekt: 2 vagnar 1590 kW

3 vagnar 2012 kW

Sth: 180 - 200 km/h

Tillverkare: Bombardier

Byggår: 2000 – 2013

Antal: 89 st.

Tillhör: Västtrafik, Norrtåg, X-
trafik, Transito, TiM, TiB, UL,
VL, SJ

X60 - X62 elmotorvagn

Typ: Elmotorvagn, 4 – 6-delad
även multipelkopplade

Axelföljd:

X60

Bo` (Bo`)(Bo`)(Bo`)(2`)(Bo`)

Bo`

X61/62 Bo` (Bo`)(2`)(Bo`) Bo`

Längd: X60 107 m

Längd: X61/62 74,3 m

Tjänstevikt: X60 206 ton

Tjänstevikt: X61/62 155 ton

Effekt: X60 3000kW

Effekt: 61/62 2000 kW

Sth: X60/61 160 km/h

Sth: X62 180 km/h

Tillverkare: Alstom

Byggår: 2005 -

Antal: 280 st.

Tillhör: SL, Västtrafik, Norrtåg



X74 elmotorvagn

Typ: Elmotorvagn, 5-delad

Axelföljd: Bo`2`2`Bo+2`2`Bo`

Längd 105,5 m

Tjänstevikt: 216 ton

Effekt: 4500 kW

Sth: 200 km/h

Tillverkare: Stadler

Byggår: 2014 - 2015

Antal: 6 st.

Tillhör: MTR Express



7.3 TEKNISKA DATA DIESELMOTORVAGN

Y31 dieselmotorvagn

Typ: Dieselmotorvagn,
Y31 (2-delad), Y32 (3-delad)
även multipelkopplade

Axelföljd: Y31 B`2`B,
Y32 B`2`2`B

Längd Y31 38,4 m,
Y32 54,8 m

Tjänstevikt: Y31 78 ton,
Y32 98 ton

2 st. dieselmotorer

Effekt: 960 kW

Sth: 140 km/h

Tillverkare: Bombardier

Byggår: 2002 - 2010

Antal: 30 st.

Tillhör: JLT, KLT, Västtrafik,
Värmlandstrafiken, Norrtåg,
Transito



7.4 TEKNISKA DATA ELDRIVNA LOK

Persontågslök Rc6 och godstågslök Rd2

Typ: Elektriskt lok Rc6/Rd

Axelföljd: Bo`Bo`

Längd 15,5 m

Tjänstevikt: 78 ton

Effekt: 3600 kW

Sth: 160/135 km/h

Tillverkare: ASEA

Ombyggnadsår till Rc6:

1992 - 1995

Ombyggnadsår till Rd2:

2009 - 2014

Tillhör: SJ, Green Cargo,



Person och godstågslök Vectron

Typ: Elektrisk lok 193/243

Axelföljd: Bo'Bo'

Tjänstevikt: 87 ton

Längd: 18980 mm

Effekt: 6400 kW

Sth: 200 km/h

Tillverkare: Siemens

Byggår: 2010-2018

Tillhör: Flixtrain, Snälltåget,
Hector Rail



5.5.3 Ellok EL16

Typ: Elektriskt lok EL16

Axelföljd: Bo`Bo`

Längd 15,5 m

Tjänstevikt: 80 ton

Effekt: 4440 kW

Sth: 135 km/h

Tillverkare: ASEA

Byggår: 1977 – 1984

Antal: 17

Tillhör: Cargo Net



5.5.4 Ellok TRAXX

Typ: Elektriskt lok TRAXX

Axelföljd: Bo`Bo`

Längd 18,9 m

Tjänstevikt: 84 ton

Effekt: 5600 kW

Sth: 140 km/h

Tillverkare: Bombardier

Byggår: 2006 - 2013

Tillhör: Green Cargo, Hector Rail, Railpool, Railcare mfl



