



NORD2000 SPÅR

Beräkning av spårkorrektur från ytråhet på
rälen för bullerberäkningar

SAMMANFATTNING

I samband med att nya emissionsdata för svenska tåg togs fram för den EU-gemensamma beräkningsmetoden Cnossos-EU och för Nord2000 skapades en korrektion för varje mätplats utifrån den uppmätta ytråheten på rälen. Detta PM beskriver en förenklad metod för att beräkna motsvarande korrektion baserad på den uppmätta ytråheten som sedan går att använda både för beräkningar med den Nordiska metoden reviderad 1996 och med Nord2000.

Mikael Ögren, AMM, Sahlgrenska
Universitetssjukhuset
Anna Świerkoska, VTI
Peter Torstensson, VTI
Anders Genell, VTI

2024-05-29

Förord

De emissionsdata för svenska tåg som tillhandahållits av Kunskapscentrum om Buller för beräkningar med Nord2000 är normaliserade till ett referensvärde för ytråhet, på samma sätt som emissionsdata för vägtrafik gäller för en referensvägcyta. Om det finns lokalt uppmätta värden för ytråhet där beräkningar av tågbuller med Nord2000 skall genomföras kan dessa översättas till en ytråhetskorraktion med hjälp av underlaget i detta PM.

Detta PM är sammansatt av flera olika delar för att samla underlag från olika källor:

- Beskrivningen av metoden för att beräkna ytråhetskorraktionen är författad av Mikael Ögren.
- Bilaga A är en sammanfattning av Appendix 7 i Delleverans 12.1 i projektet Harmonoise – rapporten är idag svår att få tag på varför relevanta delar åteges i denna bilaga.
- Bilaga B om behandling av rådata från mätningar av ytråhet och bestämning av ytråhetsspektrum är en återgivning av en opublicerad teknisk rapport författad av Anna Świerkoska, som vid tiden var projektanställd vid VTI, och Peter Torstensson, VTI.
- Bilaga C innehåller grafer över ytråhetsspektrum och relaterade värden på ytråhetsindikatorn $L_{\lambda CA}$ från samtliga mätplatser som återpubliceras från en rapport om granskning av emissionsdata för svenska tåg till beräkningar med Cnossos-EU, författad av Anders Frid på konsultfirman AFRY.

Anders Genell

Kunskapscentrum om Buller

2024 05 29

Beräkning av spårkorrektions från ytråhet på rälen för bullerberäkningar

Mikael Ögren

v1.5 2024-05-29

1 Inledning

Vid beräkning av buller från spårburen trafik i de Nordiska länderna har man kunnat ta hänsyn till spårkvalitet med korrektionen ΔL_C som definieras i avsnitt 4.2.3 i beräkningsmetoden [1]. Motsvarande korrektion är också tillåten i den nyare beräkningsmetoden Nord2000, avsnitt 2.3.4 [2]. I samband med att nya emissionsdata togs fram för den EU-gemensamma beräkningsmetoden Cnossos-EU [3] och för Nord2000 [2] skapades en korrektion för varje mätplats utifrån den uppmätta ytråheten på rälen (se Bilaga B). Detta PM beskriver en förenklad metod för att beräkna motsvarande korrektion baserad på den uppmätta ytråheten som sedan går att använda för beräkningar med den Nordiska metoden reviderad 1996 [1] och Nord2000 [2].

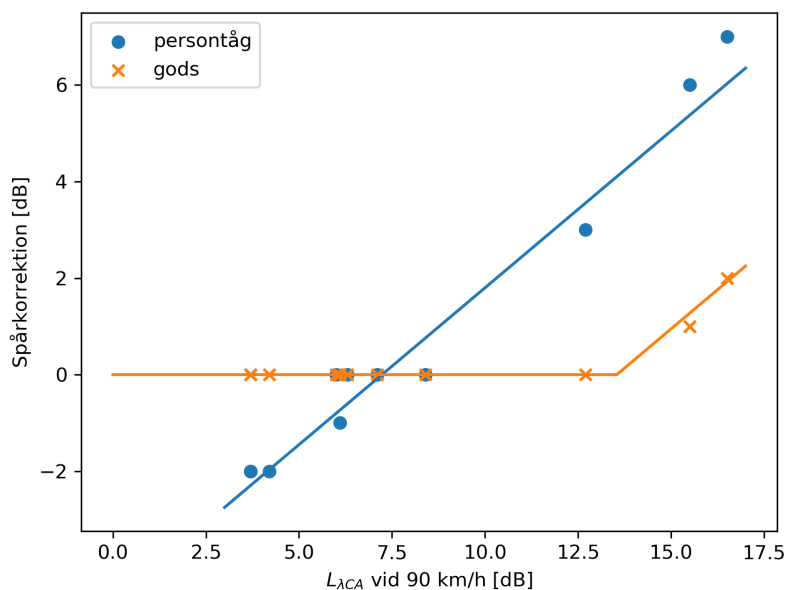
Denna metod är en förenkling, egentligen beror effekten av hela spårkonstruktionens egenskaper; inte bara ytråheten på rälen utan också på vibrationsavklingningen, vilket i sin tur är kopplat till befästningen och mellanlägggen. Korrektionen är också beroende på fordonets egenskaper, effekten är mycket större för fordon med släta hjul, och även hastigheten är viktig. Beräkningsmetoder som har en detaljerad källbeskrivning kan utifrån ytråhet på räl och hjul beräkna effekten för olika fall om samtliga materialegenskaper, överföringsfunktioner med mera är kända. Exempel på beräkningsmetoder som kan detta är TWINS [4] och Harmonoise/Imagine [5].

2 Korrektion för spårkvalitet utifrån ytråhet

Denna metod beskriver hur man kan beräkna spårkorrektionen ΔL_C utifrån en uppmätt (eller teoretiskt beräknad) ytråhet på rälen kontaktyta via parametern $L_{\lambda CA}$, som är en viktad och hastighetsberoende A-vägd ytråhetsindikator för ojämheter med våglängder mellan 20 cm och 4 mm. Den beräknas enligt en algoritm som togs fram i Harmonoise, se appendix 7 i [6]. Beräknade värden för 12 ytråhetsmätningar på mätplatser som användes för inmätning av emissionsdata för både Cnossos-EU och för Nord2000 [7] redovisas i Bilaga C, vilken bygger på data från en kvalitetsgranskning av framtagna svenska emissionsdata för Cnossos-EU [8].

1. Beräkna $L_{\lambda CA}$ vid 90 km/h enligt [6, Appendix 7]
2. För persontåg
$$\Delta L_C = 0,65 \cdot L_{\lambda CA} - 4,7 \text{ dB}$$
3. För godståg med gjutjärnsblockbromsar tillåts endast positiv korrektion
$$\Delta L_C = 0,65 \cdot L_{\lambda CA} - 8,8 \text{ dB}$$

Formlerna är baserade på de korrektionsfaktorer som tagits fram som underlag för nya indata till Nord2000 [7]. Beräknade värden jämförs med korrektionerna för gods- och persontåg i Figur 1 nedan.



Figur 1: Beräknad korrektionsfaktor för spårjämheter jämfört med korrektioner framtagna för Nord2000 vid olika mätplatser.

Referenser

- [1] Naturvårdsverket. Buller från spårburen trafik – Nordisk beräkningsmodell. Rapport 4935, Naturvårdsverket, Stockholm, 1996.
- [2] Jonasson, H. och Storeheier, S. Nord2000. New Nordic prediction method for rail traffic noise. SP Rapport 2001:11, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås, 2001.
- [3] Kommissionens direktiv (EU) 2015/996 av den 19 maj 2015 om fastställande av gemensamma bedömningsmetoder för buller enligt Europaparlamentets och rådets direktiv 2002/49/EG. Direktiv 2015/996, Europeiska Kommissionen, 2015.
- [4] Thompson, D. J., Hemsworth, B. och Vincent, N. Experimental validation of the TWINS prediction program for rolling noise, part 1: description of the model and method. *Journal of Sound and Vibration*, 193:123–135, 1996.
- [5] de Vos, P., Beuving, M. och Verheijen, E. Harmonised accurate and reliable methods for the EU directive on the assessment and management of environmental noise – final technical report. Teknisk rapport, 2005.
- [6] van Beck, A. och Verheijen, E. Harmonised accurate and reliable methods for the EU directive on the assessment and management of environmental noise – definition of track influence: Roughness in rolling noise. Rapport HAR12TR-020813-AEA10 (Del. 12 part 1), AEA Technology Rail BV, 2003.
- [7] Ögren, M., Genell, A., Jerson, T., Torstensson, P. och Gustafson, A. Svenska emissionsdata för beräkning av buller från spårburen trafik med hjälp av Nord 2000. Teknisk rapport, Västra Götalandsregionens Miljömedicinska Centrum, 2023.
- [8] Frid, A. Cnossos-EU i Sverige – en granskning av källor för spårburen trafik. Rapport 6183157-01, ÅF Industry AB, 2021.

Bilaga A

Beräkning av $L_{\lambda CA}$

En fullständig beskrivning hur man beräknar det A-vägda ytråhetstalet $L_{\lambda CA}$ finns i [6], i denna bilaga återges kortfattat de viktigaste formlerna. Samtliga beräkningar sker i våglängdsband motsvarande tersband. Observera att våglängden λ i följande formler anges i cm, medan ytråhetsspektrumet $R(\lambda)$ får enheten dB re $1 \mu\text{m}$. Faktorn $A(f(\lambda, v))$ är A-vägningsfiltret vid den frekvens som ges av vålängden λ och hastigheten v . I detta fall sätts hastigheten till 90 km/h vilket som exempel innebär att en våglängd på 1 cm ger en frekvens på 2500 Hz enligt (4) vilket ger en korrektion på 1.3 dB enligt A-vägningsfilterkurvan (IEC 61672). λ i ekvationerna nedan är ”centervåglängderna” i de våglängdsband (noterade med räknevariabeln ” i ” nedan) som tagits fram från ytråhetsmätningarna enligt Appendix B.

$$L_{\lambda CA} = 10 \log \left(\sum_i 10^{0,1(R(\lambda_i) + \Lambda(\lambda_i) + C(\lambda_i) + A(f(\lambda_i, v)))} \right) \quad (1)$$

$$\Lambda(\lambda_i) = 25 \log \left(\frac{\lambda_i}{5} \right) \quad (2)$$

$$C(\lambda_i) = \begin{cases} 0 & \lambda_i \geq 10^{0,85} \\ 10 \log(\lambda_i) - 8,5 & 10^{0,35} < \lambda_i < 10^{0,85} \\ 20 \log(\lambda_i) - 12 & \lambda_i \leq 10^{0,35} \end{cases} \quad (3)$$

$$f(\lambda_i, v) = \left(\frac{v/3,6}{\lambda_i/100} \right) \quad (4)$$

Bilaga B

I detta appendix återges den tekniska rapport som redovisar bestämningen av ytråhetsspektrum från mätning av ytråhet med Corrugation Analysis Trolley-utrustning (CAT).

Rail roughness and Track Decay Rate measurement results

Results from rail roughness measurements at:

Skårby, Åsa, Torp and Kode

Results from track decay rates measurements at:

Skårby and Torp

Anna Świerkoska, 2019.

1 Rail roughness

This chapter of the document presents measurement results of rail roughness performed with Corrugation Analysis Trolley (CAT) at four different sites: Skårby, Åsa, Torp and Kode, Sweden. The data were collected on 24 and 25 May 2019. The measurements were performed by Jan Gomersson, MÄT, and Tomas Jerson, WSP. The analysis of the measurement data has been performed by Peter Torstensson and Anna Świerkoska of VTI.

Results presented in the following chapter show roughness level averaged over 3 measured lines along ca 100 m track (except for Kode, where the length of the measured rail was 50 m and Torp left rail, for which the average covers 2 lines). The reference line was placed in the middle of the reference surface. Two additional lines were measured ± 5 mm from the reference line. The sampling distance is 1 mm. The measuring speed was approximately 0.5 m/s. Corrugation Analysis Trolley (CAT), sn: 06, 5166Q that was used for measuring surface roughness has a wavelength range that was only specified down to 10 mm. Data-table was created to summarise results, see Table 1 in Appendix A.

1.1 Results

1.1.1 Skårby

Measured track stretch between 26 530 and 26 630 km of Bohusbanan. Rail BV50 L (Luleå) 1995, rail temperature: 9.9°C, slipper: concrete 2.5; fastening: Pandrol E-clip; spacer: G5.

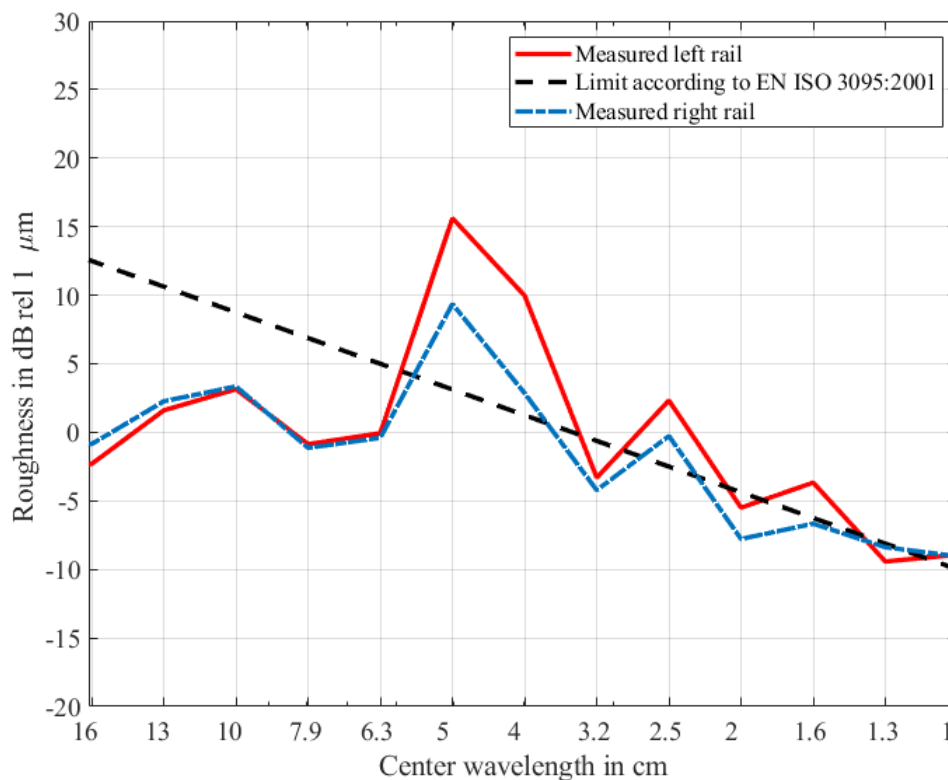


Figure 1: Third-octave band spectrum of rail roughness measured at Skårby

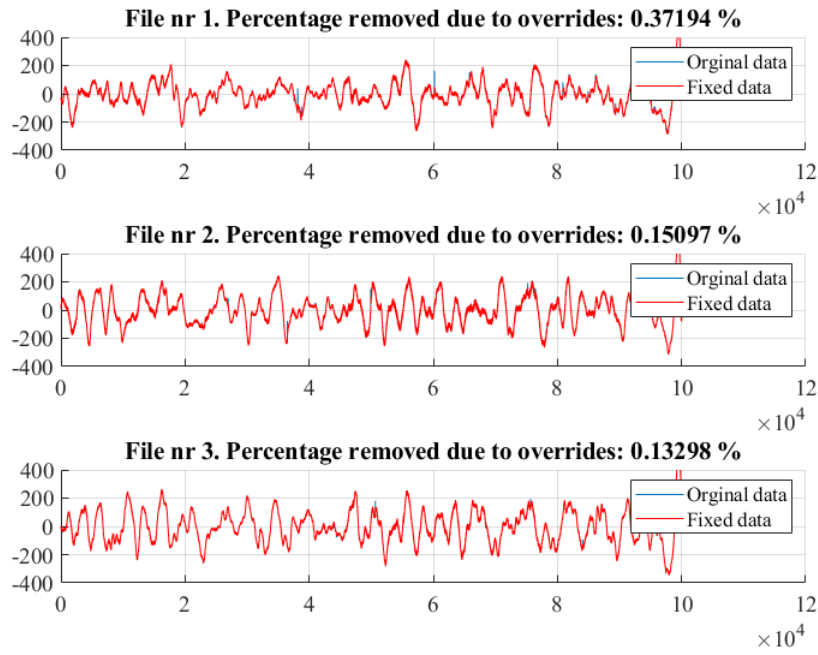


Figure 2: Raw rail roughness data measured at Skårby on the left rail

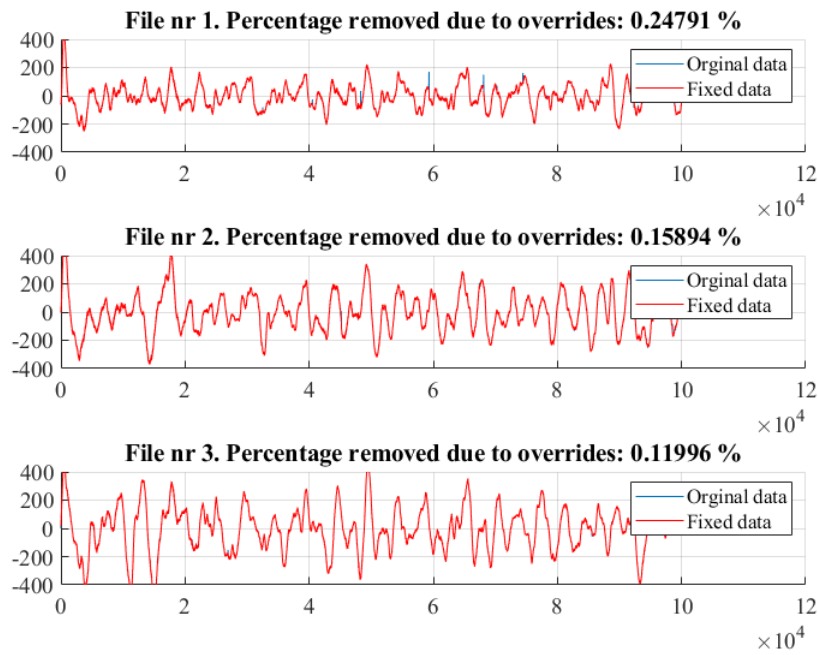


Figure 3: Raw rail roughness data measured at Skårby on the right rail

1.1.2 Torp

Measured track stretch between 405 837 and 405 937 km of Västra stambanan. Rail UIC 60 Do (Donawitz, Voestalpine) 2017, rail temperature: 5.7°C, slipper: concrete 2.3; fastening: Pandrol Fastclip; spacer: FC6015.

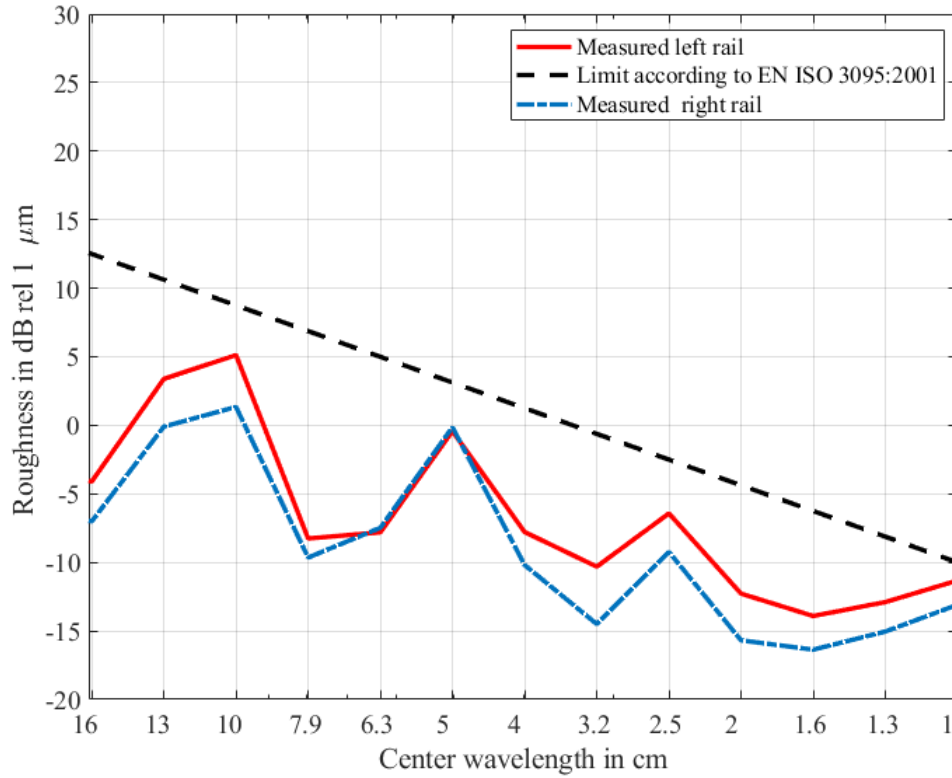


Figure 4: Third-octave band spectrum of rail roughness measured at Torp

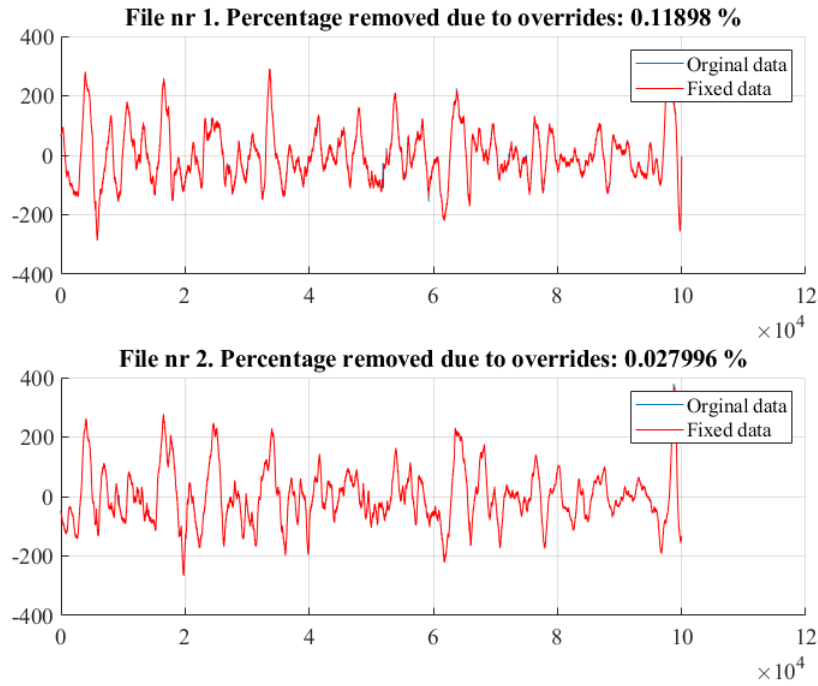


Figure 5: Raw rail roughness data measured at Torp on the left rail

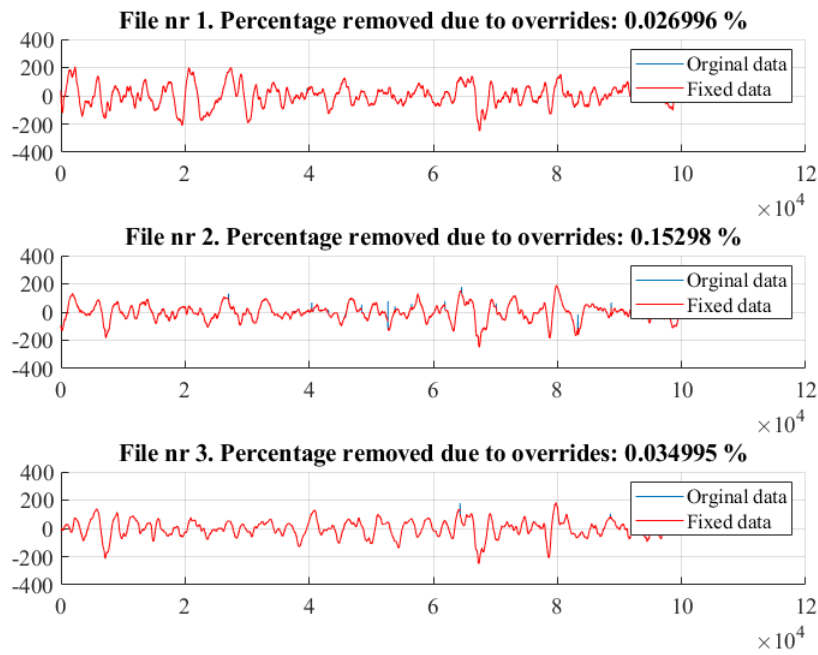


Figure 6: Raw rail roughness data measured at Torp on the right rail

1.1.3 Åsa

Measured track stretch between 45 355 and 45 455 km of Väst kustbanan. Rail UIC60 Do (Donawitz, Voestalpine) 2003, rail temperature: 9.9°C, slipper: concrete 2.5; fastening: Pandrol E-clip; spacer: G10.

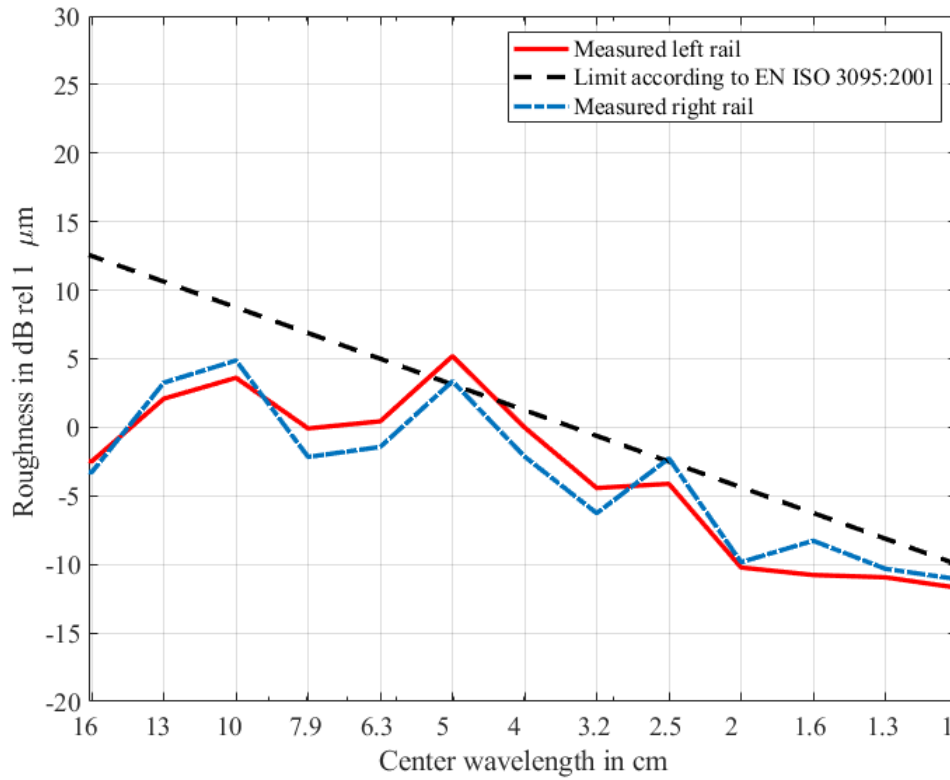


Figure 7: Third-octave band spectrum of rail roughness measured at Åsa

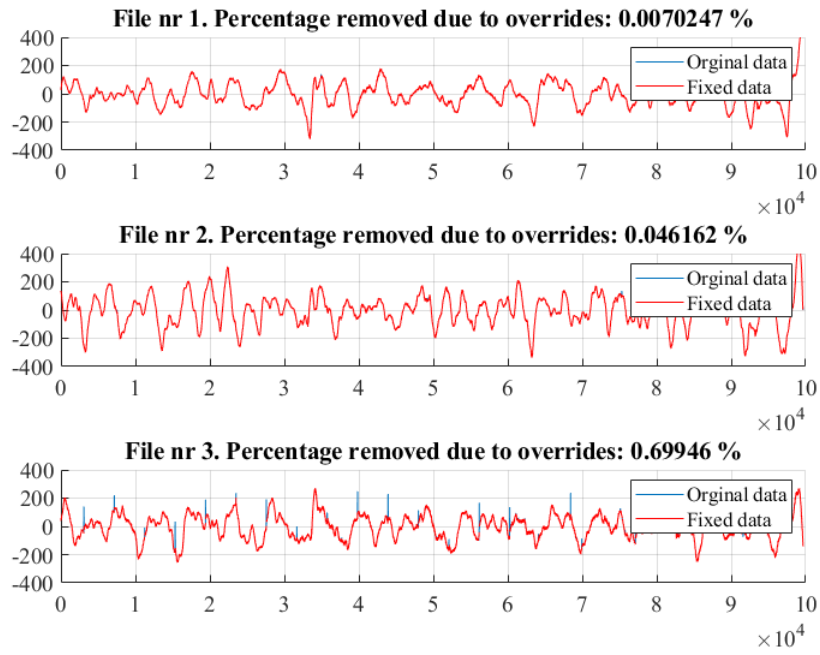


Figure 8: Raw rail roughness data measured at Åsa on the left rail

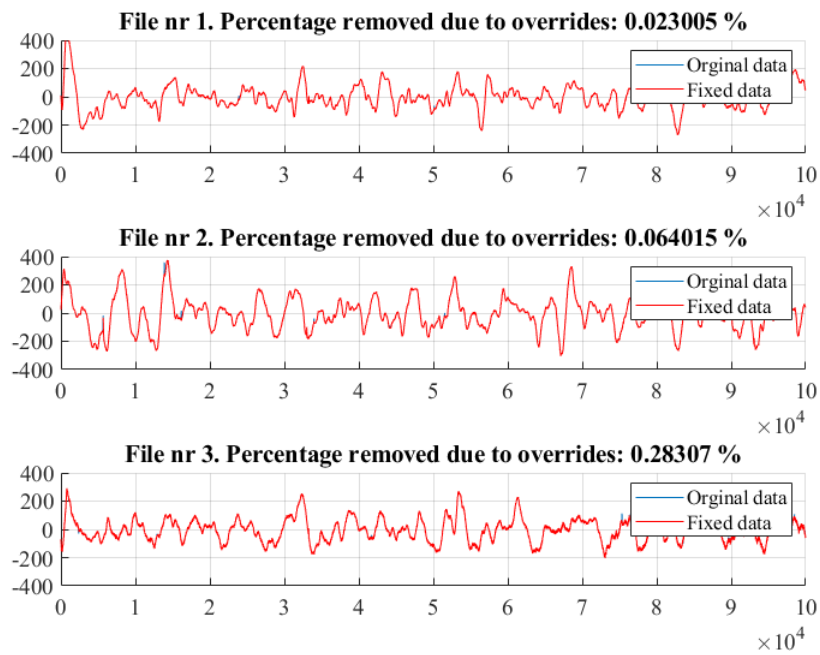


Figure 9: Raw rail roughness data measured at Åsa on the right rail

1.1.4 Kode

Measured track stretch between 32 520 and 32 570 km of Bohusbanan. Rail BV50 L (Luleå) 1995, rail temperature: 11.2°C, slipper: concrete 2.5; fastening: Pandrol E-clip; spacer: G5.

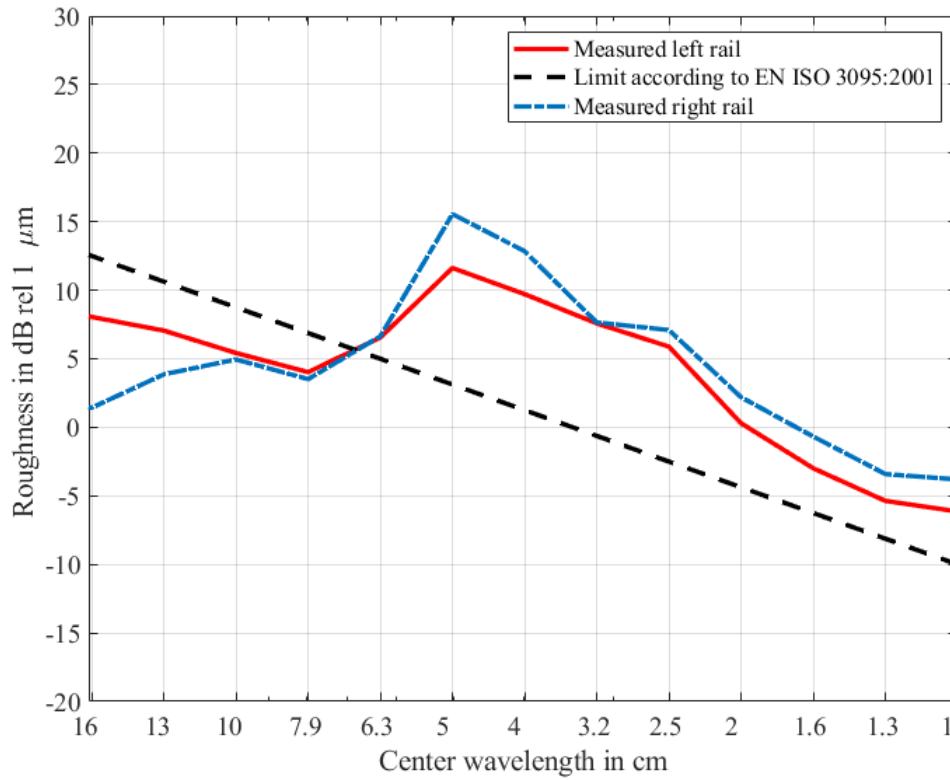


Figure 10: Third-octave band spectrum of rail roughness measured at Kode

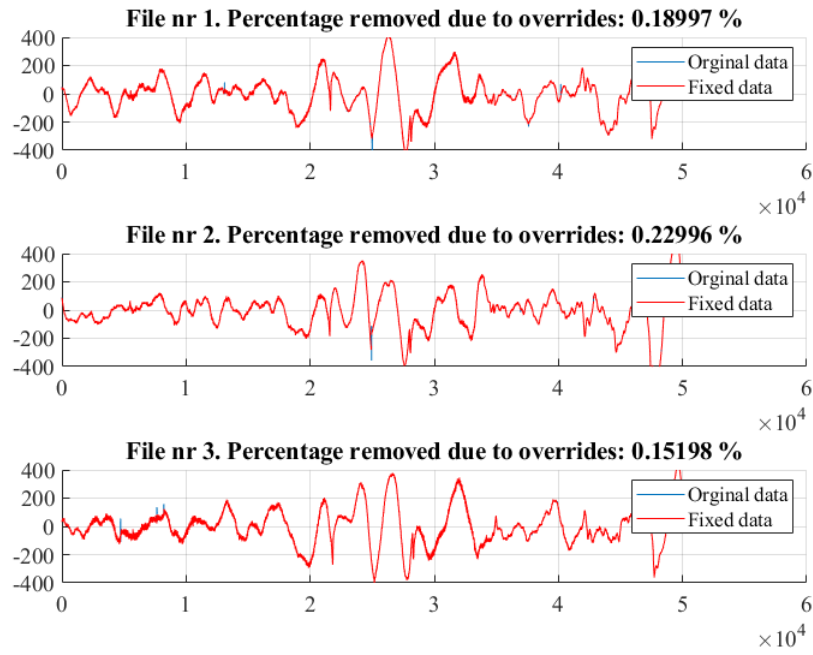


Figure 11: Raw rail roughness data measured at Kode on the left rail

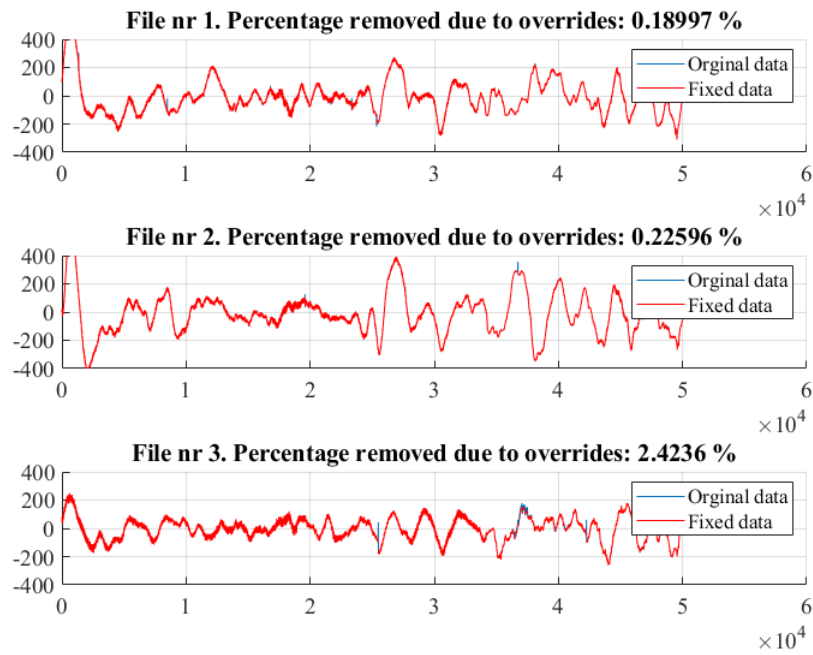


Figure 12: Raw rail roughness data measured at Kode on the right rail

2 Track decay rate

This part of the document presents measurement results of track decay rates performed on June 19 2019 at Torp and on September 16 2019 at Skårby, Sweden. Track decay rates were calculated based on measured Frequency Response Functions, according to the standard: SS-EN 15461:2008+A1:2010. The measurements were performed by Tomas Jerson, WSP and Peter Torstensson, VTI. The analysis of the measurement data has been performed by Peter Torstensson and Anna Świerkoska of VTI.

Figures 13, 15 and 16 show track decay rates in one-third octave bands calculated based on FRFs measured in lateral and vertical directions at Torp (southbound track) and Skårby (east and west rail), respectively. Figures 14, 17 and 18 represent measured response in the vertical direction and response estimated with obtained track decay rates for each one-third octave band. Results are summarised in form of the data-table, see Table 2 in Appendix A.

2.1 Results

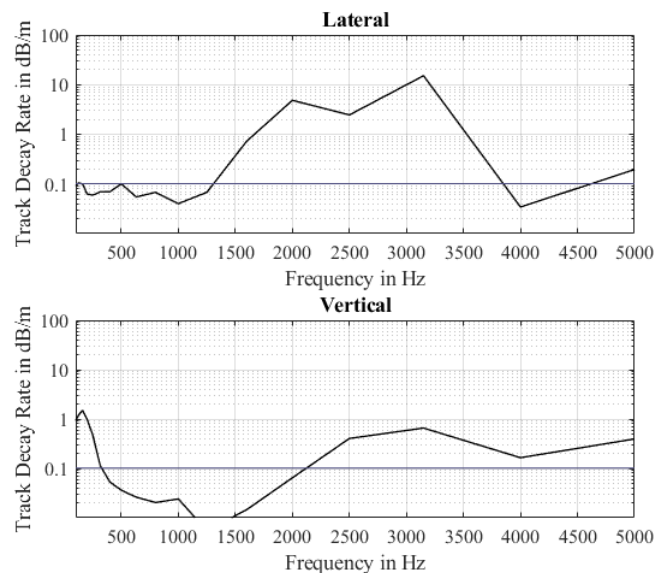
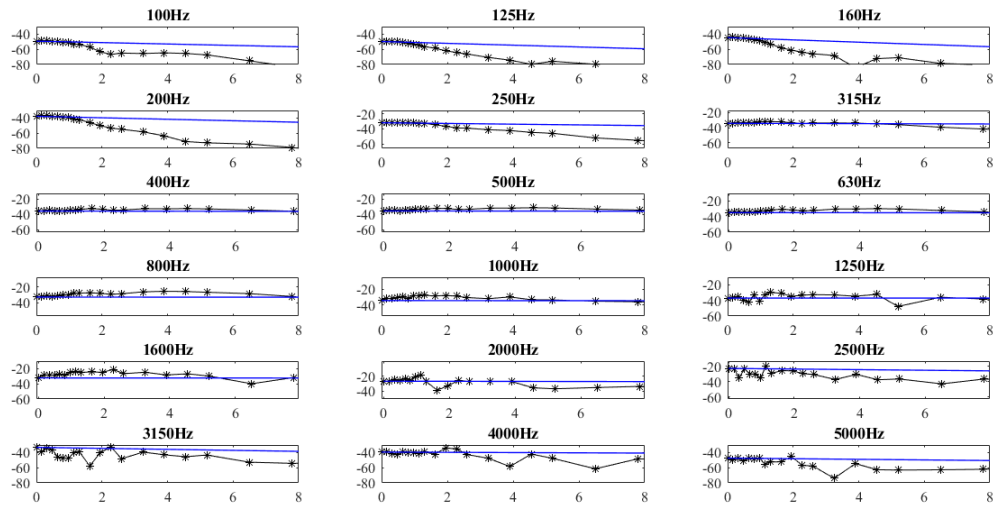


Figure 13: Track Decay Rate calculated for Torp, with minimum Decay Rate according to SS-EN 15461:2008+A1:2010 indicated at 0.1012 dB/m



Measured and calculated response decay in each 1/3 octave band. x-axis: distance in m, black line with*: measured response; blue line: response due to calculated decay rate.

Figure 14: Measured and calculated response decay in each 1/3 octave band. x-axis: distance in m, black line with*: measured response; blue line: response due to calculated decay rate at Torp

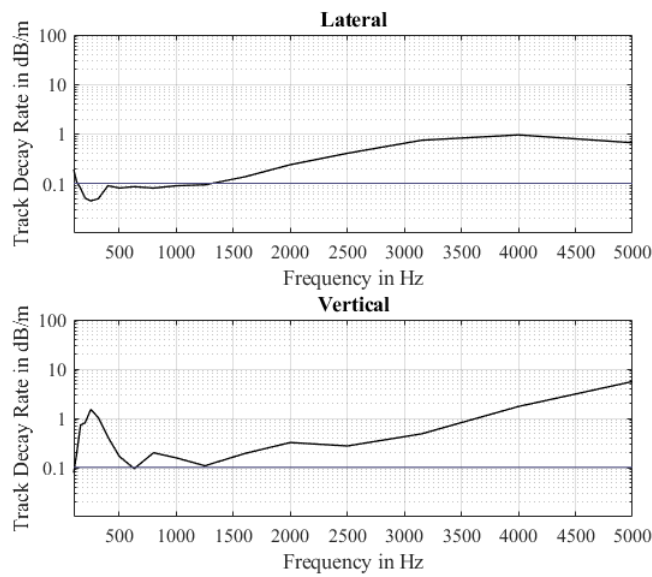


Figure 15: Track Decay Rate calculated for the east rail at Skårby, with minimum Decay Rate according to SS-EN 15461:2008+A1:2010 indicated at 0.1012 dB/m

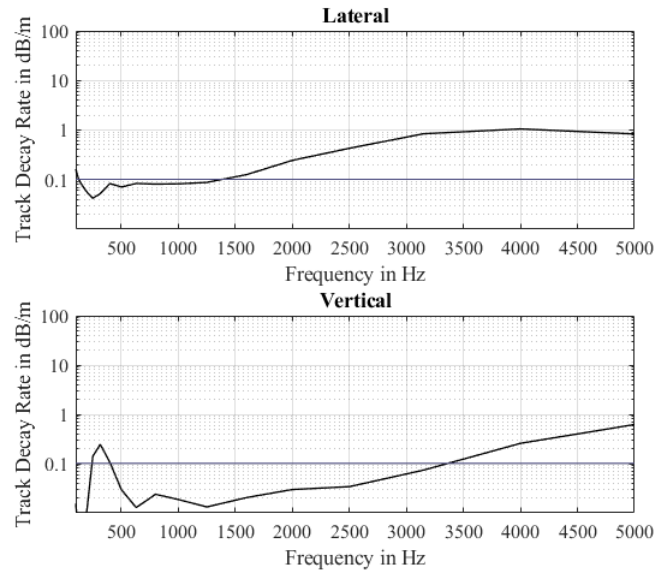


Figure 16: Track Decay Rate calculated for the west rail at Skårby, with minimum Decay Rate according to SS-EN 15461:2008+A1:2010 indicated at 0.1012 dB/m

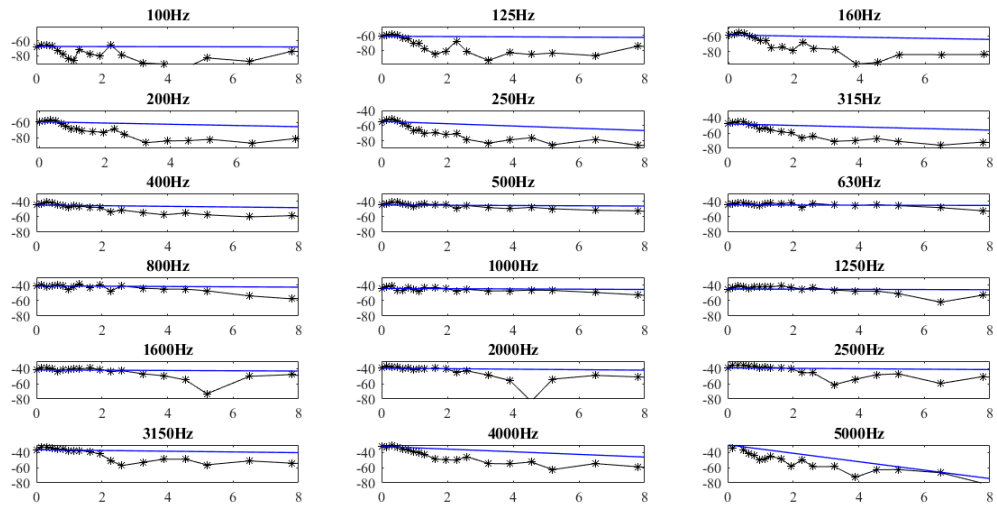


Figure 17: Measured and calculated response decay in each 1/3 octave band. x-axis: distance in m, black line with*: measured response; blue line: response due to calculated decay rate at Skårby, east rail

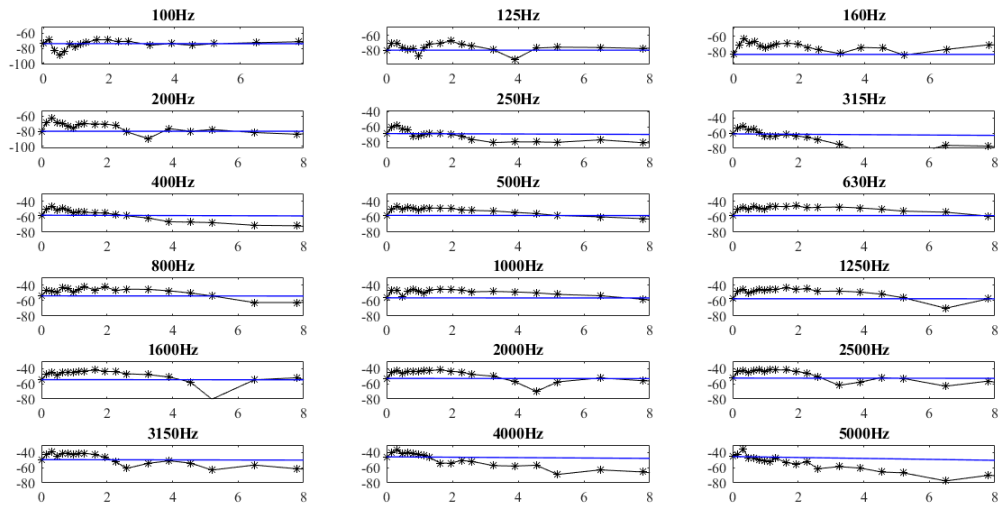


Figure 18: Measured and calculated response decay in each 1/3 octave band. x-axis: distance in m, black line with*: measured response; blue line: response due to calculated decay rate at Skårby, west rail

A Appendix

Table 1: Rail roughness in dB rel $1\mu\text{m}$ at four locations, L-left, R-right rail

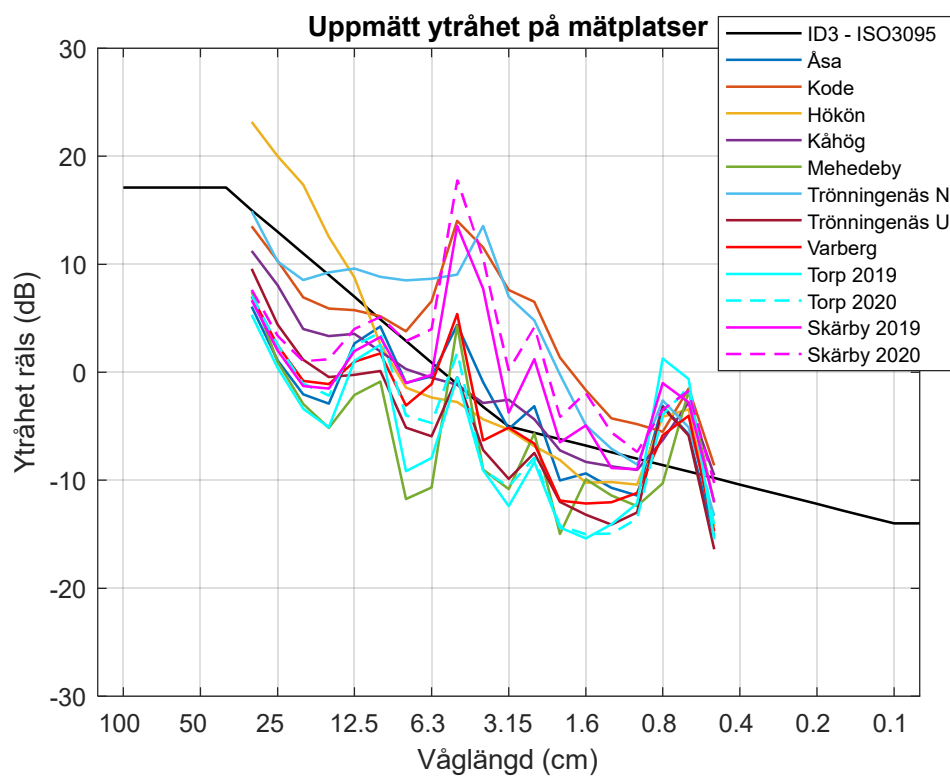
Center wavelngth in cm	Skärby L	Skärby R	Torp L	Torp R	Åsa L	Åsa R	Kode L	Kode R
1,00	-8,93	-9,05	-11,32	-13,09	-11,71	-11,07	-6,14	-3,80
1,26	-9,42	-8,38	-12,89	-15,04	-10,94	-10,33	-5,37	-3,41
1,58	-3,67	-6,67	-13,91	-16,37	-10,77	-8,27	-2,99	0,67
2,00	-5,50	-7,78	-12,28	-15,68	-10,23	-9,84	0,30	2,20
2,51	2,33	0,27	-6,43	-9,23	-4,12	-2,27	5,88	7,10
3,16	-3,30	-4,22	-10,31	-14,50	-4,43	-6,27	7,58	7,65
3,98	9,97	2,85	-7,78	-10,19	0,01	-2,13	9,71	12,85
5,01	15,62	9,36	0,43	0,14	5,19	3,36	11,62	15,55
6,31	0,06	0,40	-7,81	-7,48	0,44	-1,43	6,54	6,64
7,94	0,87	-1,14	-8,26	-9,65	0,08	-2,16	4,03	3,52
10,00	3,14	3,35	5,12	1,34	3,61	4,88	5,42	4,95
12,59	1,60	2,26	3,39	0,10	2,09	3,26	7,06	3,86
15,85	-2,31	0,86	-4,10	-7,01	-2,49	-3,28	8,05	1,43
19,95	-2,40	0,38	-2,86	-5,70	-1,42	-2,58	9,01	2,78
25,12	1,34	2,59	1,76	-2,76	1,77	0,70	12,29	6,64
31,62	6,15	7,14	6,57	2,33	6,66	5,88	15,76	8,58

Table 2: Track Decay Rates in dB/m

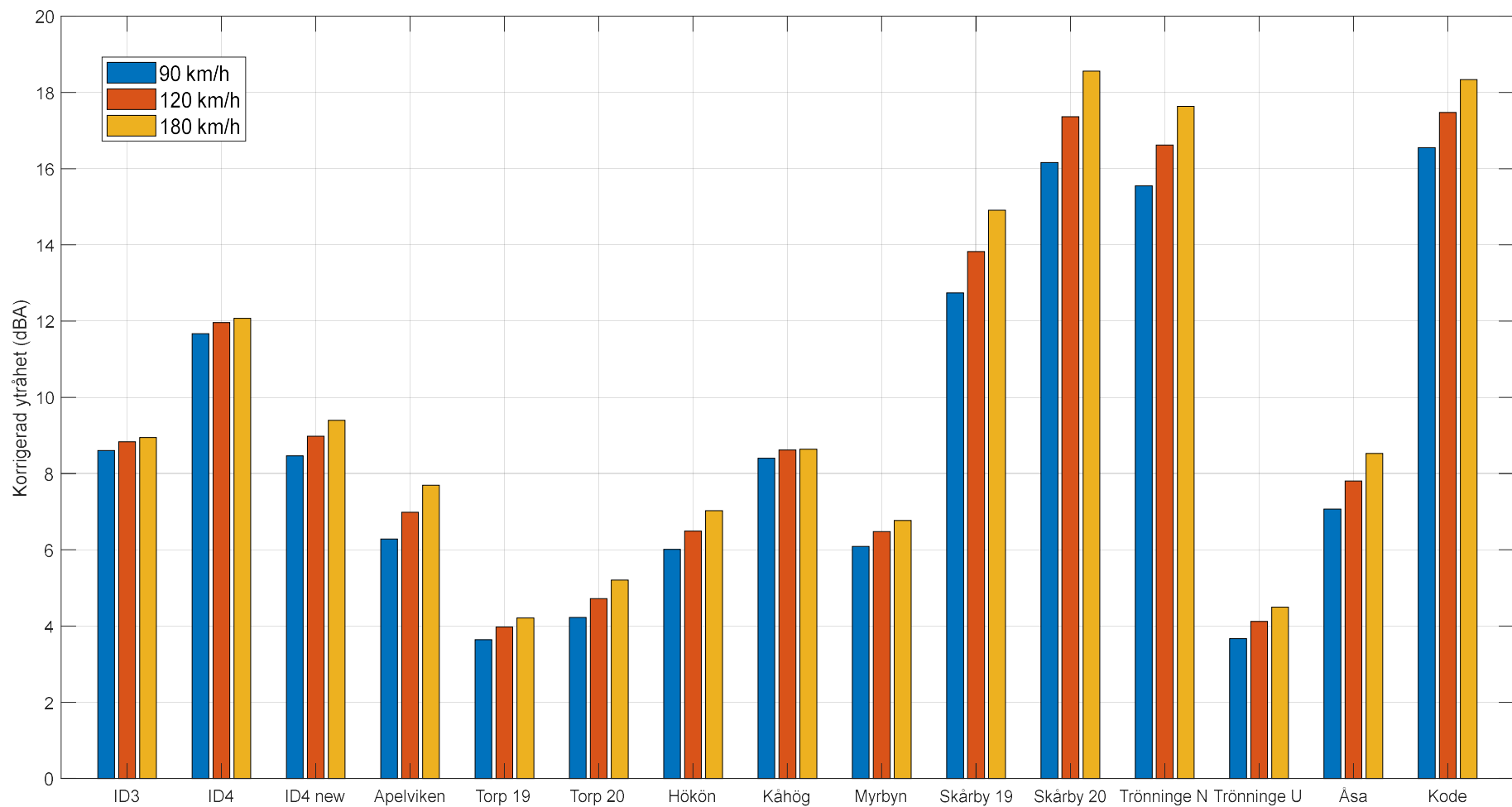
Center frequency	Torp Lateral	Torp Vertical	Skarby East Vertical	Skarby East Lateral	Skarby West Vertical	Skarby West Lateral
100	0,092	0,936	0,193	0,078	0,163	0,015
125	0,105	1,199	0,110	0,185	0,102	0,004
160	0,100	1,503	0,080	0,733	0,074	0,003
200	0,063	0,984	0,051	0,810	0,055	0,012
250	0,059	0,468	0,045	1,515	0,042	0,141
315	0,070	0,113	0,049	1,033	0,052	0,245
400	0,070	0,053	0,091	0,416	0,083	0,106
500	0,100	0,036	0,081	0,169	0,071	0,030
630	0,055	0,026	0,087	0,095	0,084	0,013
800	0,068	0,020	0,081	0,200	0,081	0,024
1000	0,040	0,024	0,091	0,157	0,082	0,019
1250	0,068	0,005	0,095	0,109	0,088	0,013
1600	0,729	0,015	0,137	0,193	0,127	0,020
2000	4,831	0,065	0,241	0,323	0,245	0,030
2500	2,452	0,404	0,409	0,275	0,429	0,034
3150	15,101	0,657	0,749	0,484	0,841	0,074
4000	0,034	0,165	0,961	1,737	1,053	0,258
5000	0,195	0,394	0,668	5,573	0,834	0,620

Bilaga C

Utöver de ytråhetsnivåer som presenteras i Bilaga B så har ytråhet uppmäts på ytterligare fem mätplatser, samt att mätningar upprepats på två av mätplatserna. Resulterande tersbandsnivåer från samtliga ytråhetsmätningar redovisas i grafen nedan. I stapeldiagrammet på nästa sida redovisas motsvarande $L_{\lambda CA}$ för samtliga mätplatser som beräknats enligt Bilaga A.



Figur 2: Ytråhetsnivåer på samtliga mätplatser



Figur 3: $L_{A,CA}$ för samtliga mätplatser i tre olika hastigheter.