

Handläggare  
Anders Frid  
Mobil  
+46 725 66 23 83  
E-post  
anders.frid@afry.com

Datum  
2021-07-15  
Projekt-ID  
6183157

Rapport-ID  
6183157-01

Kund  
VTI / Trafikverket

## Cnossos-EU i Sverige – en granskning av källor för spårburen trafik

### Sammanfattning

En genomlysning och kvalitetsgranskning har gjorts av arbetet med de akustiska källstyrkor för svenska spårfordon som tagits fram av Kunskapscentrum Buller, vilka presenterats i rapporten "Svenska indata för beräkning av buller från spårbunden trafik enligt EU Direktiv 2015/966 (Cnossos-EU)" i den version som är daterad den 4 juni 2021 [1].

I källmodellen för rullningsljud i Cnossos-EU ingår fem parametrar (tersbandsspektrum) som tillsammans ger den utstrålade ljudeffekten för en fordonspassage. Det finns i Cnossos-EU ett bibliotek med standardiserade parametrar men det är också tillåtet att använda andra parametrar om detta kan motiveras. Sverige har valt att ta fram egna parametrar för 15 fordonstyper baserade på en omfattande insamling av bullermätdata från förbipassager på ett flertal olika mätplatser.

I [1] beskrivs varje fordon av tre parametrar (transferfunktion, ytojämnhet hjul, kontaktfilter) som tagits fram med hjälp av en matematisk optimeringsprocedur. För att få önskat slutresultat (ljudeffekt) har de ingående delarna tillåtits variera ganska fritt vilket gör att det inte finns en stark koppling till de fysikaliska egenskaperna hos delparametrarna och förutsätter att ingen av delarna får bytas ut. Det är viktigt att betona detta för framtida Cnossos-beräknare.

I den aktuella rapporten analyseras ingående hur de olika parametrarna bidrar till utstrålad ljudeffekt. Jämförelser görs också mellan framräknad ljudeffekt med de standardiserade parametrarna och de specifikt framtagna parametrarna för svenska tåg.

Resultatet av jämförelsen är att det på dBA-nivå går att få en god överensstämmelse mellan de specifikt framtagna parametrarna och de standardiserade parametrarna. Det bör vara en stor fördel att kunna använda standardiserade parametrar, vilket den aktuella studien pekar på. Den pekar också på att det finns möjligheter att reducera antalet fordonstyper. Det ligger till exempel nära till hands att slå ihop det stora antalet motorvagnståg i ett mindre antal grupper.

## Innehåll

1	Inledning.....	3
2	Källbeskrivning i Cnossos-EU .....	3
3	Standardparametrar i Cnossos-EU .....	4
4	Parametrar för svenska spårfordon i Cnossos-EU.....	9
5	Standardparametrar för fordon .....	13
6	Ytojämnhet på mätplatser .....	14
7	Ljudeffektberäkning för X31 på mätplatser .....	16
8	Ljudeffektberäkning för X50 på mätplatser .....	23
9	Ljudeffektberäkning för samtliga fordon på standardspår.....	26
10	Slutsatser.....	30
11	Referenser.....	32

## 1 Inledning

Cnossos-EU är en EU-gemensam metod som är avsedd för strategisk kartläggning av buller från bl.a. spårtrafik. Inom ramen för Kunskapscentrum Buller har ett arbete pågått sedan 2019 för att ta fram bullerkällor för svenska fordonstyper och svenska spårförhållanden. Detta arbete finns publicerat i [1] och bygger på ett stort antal (mer än 700) förbipassagemätningar med olika fordonstyper på olika mätplatser. Genom att justera och kombinera de ingående källspektrum i metoden har fordons-specifika källspektrum tagits fram som anpassats för att få så god överensstämmelse som möjligt med mätningarna. Metoden beskrivs i detalj i [2] men en översikt av delarna som är mest relevanta för den aktuella studien återges i kapitel 2.

Eftersom källbeskrivningen i Cnossos-EU är komplex med flera olika beståndsdelar som alla beskrivs i form av tersbandsspektrum innebär det att det finns många frihetsgrader att använda i beräkningarna. Det kan upplevas som en fördel men den stora detaljrikedomen riskerar också göra att överblicken förloras. En avsikt med denna rapport är att diskutera om det skulle gå att minska ner på antalet varianter av källspektra och fortfarande ha en acceptabel noggrannhet med robusta resultat.

## 2 Källbeskrivning i Cnossos-EU

De spektra som ingår som nödvändiga beståndsdelar för fullständig källbeskrivning i Cnossos-EU finns listade i tabellen nedan som är kopierad från [1].

Tabell 1. Parametrar i Cnossos-EU för bestämning av ljudeffekt (från [1]).

Parameter	CNOSSOS-EU	XML	XML förälder
Överföringsfunktion bana	$H_{TR}$	<TrackTransfer>	<TrackParameters>
Ytjämnhetsnivå räl	$L_{r,TR}$	<Rail>	<RailRoughness>
Överföringsfunktion hjul/boggie	$H_{VEH}$	<Transfer>	<VehicleTransfer>
Ytjämnhetsnivå hjul	$L_{r,VEH}$	<Roughness>	<WheelRoughness>
Kontaktfilter	$A_3$	<Contact>	<ContactFilter>
Traktionsljud	$L_{W,0,const}$	<Traction>	<TractionNoise>
Tomgångsljud	$L_{W,0,idling}$	<Traction>	<TractionNoise>

De fem första parametrarna är relaterade till rullningsljud medan de två sista handlar om bidrag från traktionsutrustning. Eftersom rullningsljud är den absolut dominerande ljudkällan för de tåghastigheter som ingick i underlaget från mätserierna (ca 60-200 km/h) kommer fokus fortsättningsvis vara på dessa fem parametrar.

För att ha behållning av analysen i rapporten kan det vara på sin plats att inleda med en kort sammanfattning av hur ljudeffekten tas fram i Cnossos-EU. I kapitel 7 demonstreras sedan steg för steg hur detta går till för ett verkligt exempel (fordon X31 på mätplats Åsa).

1. Addera ytojämnhet för hjul ( $L_{r,VEH}$ ) och räl ( $L_{r,TR}$ ) till en kombinerad yojämnhet
2. Subtrahera kontaktfiltret ( $A_3$ ) från den kombinerade yojämnheten till en effektiv ytojämnhet
3. Transformera den effektiva ytojämnheten från våglängd till frekvens genom att använda tåghastigheten.
4. Addera den frekvens-transformerade effektiva yojämnheten till transferfunktionerna för fordon ( $H_{VEH}$ ) respektive spår ( $H_{TR}$ ). Resultatet blir utstrålat ljudeffektbidrag från fordon och spår.
5. Addera slutligen ljudeffektbidragen från fordon och spår till totalt utstrålad ljudeffekt

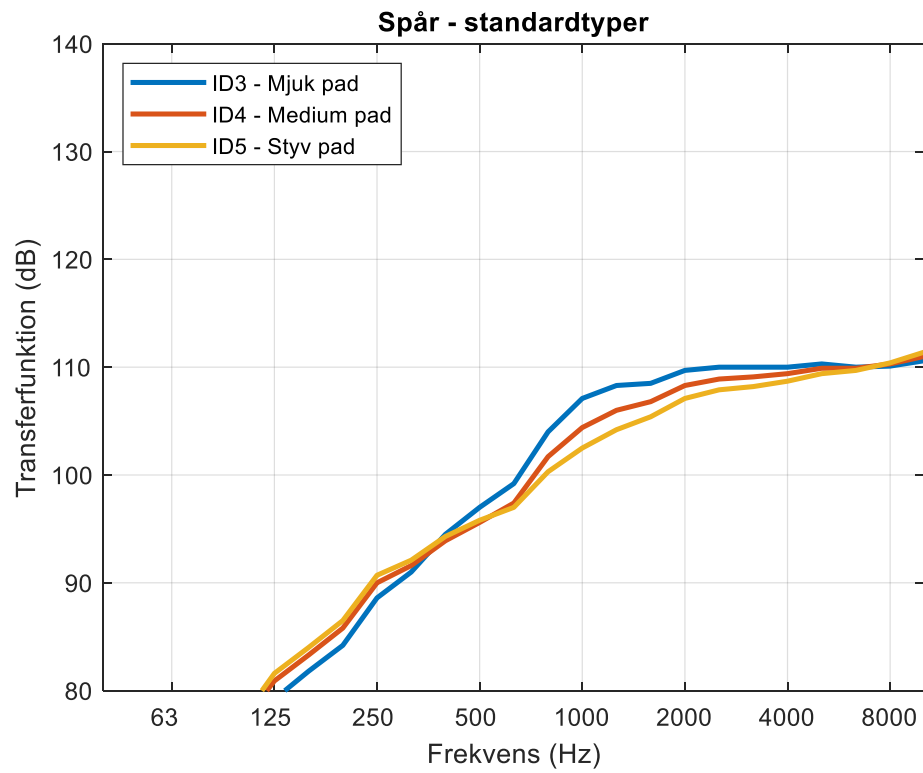
### 3 Standardparametrar i Cnossos-EU

Som nämnts tidigare finns ett antal fördefinierade spektrum för de fem parametrar som beskrevs i föregående kapitel. Dessa spektrum visas i nedanstående fem diagram. Notera att samtliga diagram har samma spann (60 dB) på y-axeln för att underlätta visuell jämförelse.

#### **Överföringsfunktion spår ( $H_{TR}$ )**

I Cnossos-EU finns olika överföringsfunktioner för spår beroende på sliper-typ och mellanläggsstyvhetsnivå. I Sverige används monoblock betongsliprar och då finns tre fördefinierade styvhetsnivåer för mellanlägg: mjuk, medium och styv. Dessa visas i Figur 1 nedan. ID3-5 refererar till beteckningen i Cnossos-EU.

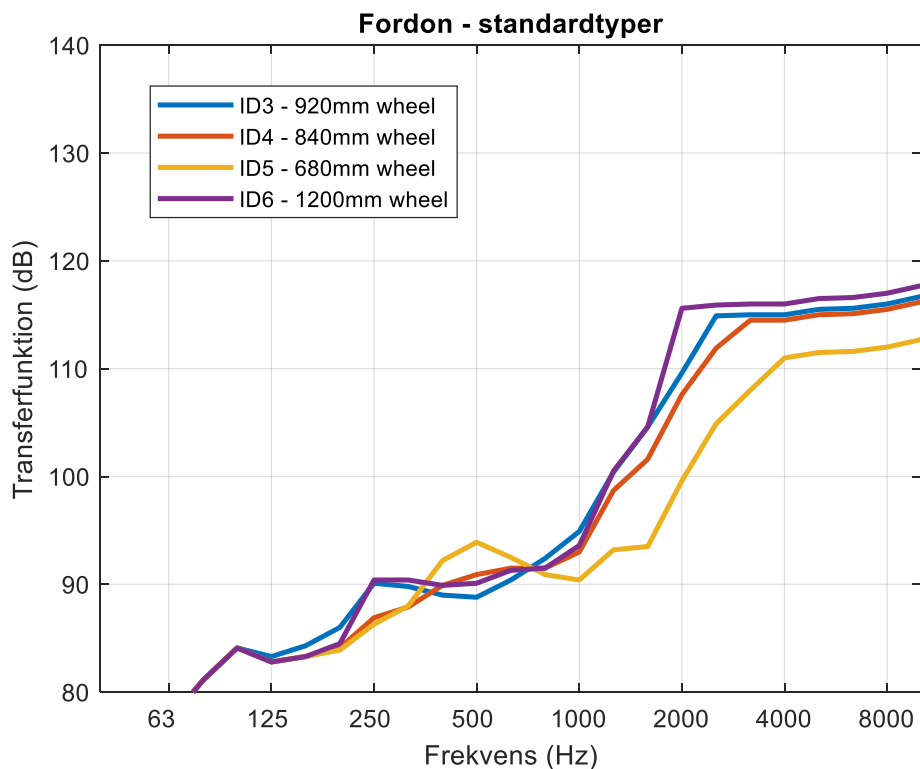
Överföringsfunktionen för fordon bestäms huvudsakligen av hjuldiametern. Det finns fyra fördefinierade diametrar: 680mm, 840mm, 920mm och 1200mm.



Figur 1. Standardspektrum för överföringsfunktioner för spår.

### Överföringsfunktion fordon ( $H_{VEH}$ )

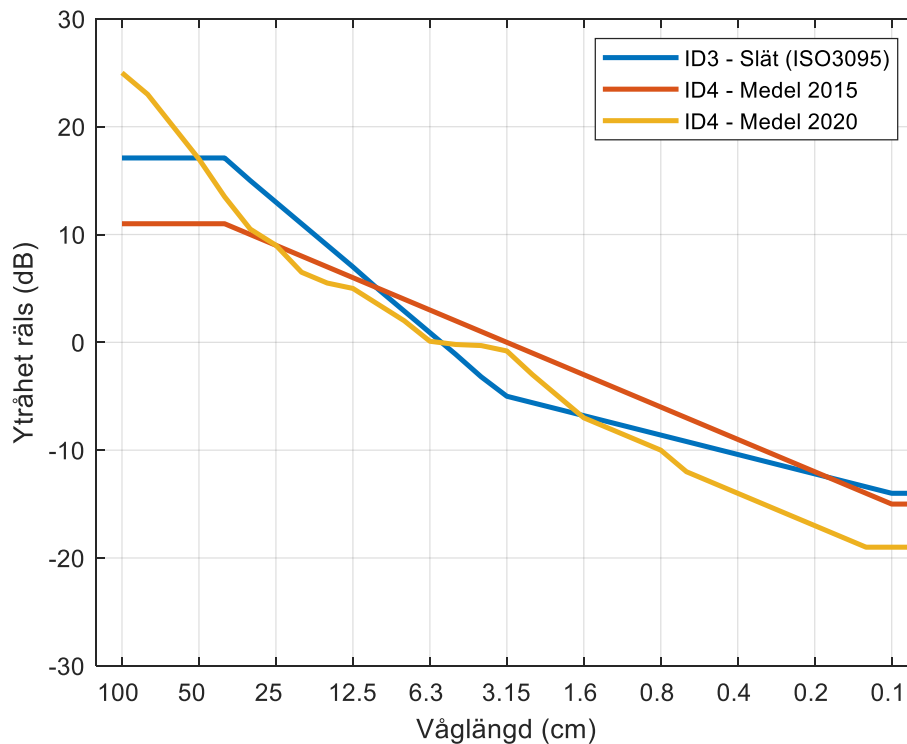
Överföringsfunktionen för fordon bestäms uteslutande av hjuldiametern. Det finns fyra fördefinierade diametrar: 680 mm, 840 mm, 920 mm och 1200 mm. Dessa visas i Figur 2 nedan. ID3-6 refererar till beteckningen i Cnossos-EU. För motorvagnståg ligger hjuldiametern typiskt i spannet 800-900mm. Godståg har normalt 920mm och lok närmare 1200mm. Notera att alla kurvor gäller för hjul utan ljudreducerande åtgärder som dämpare, hjulmonterade bromsskivor eller optimerad tvärsnittsform.



Figur 2. Standardspektrum för överföringsfunktioner för fordon.

### Ytojämnhet räl ( $L_{r,TR}$ )

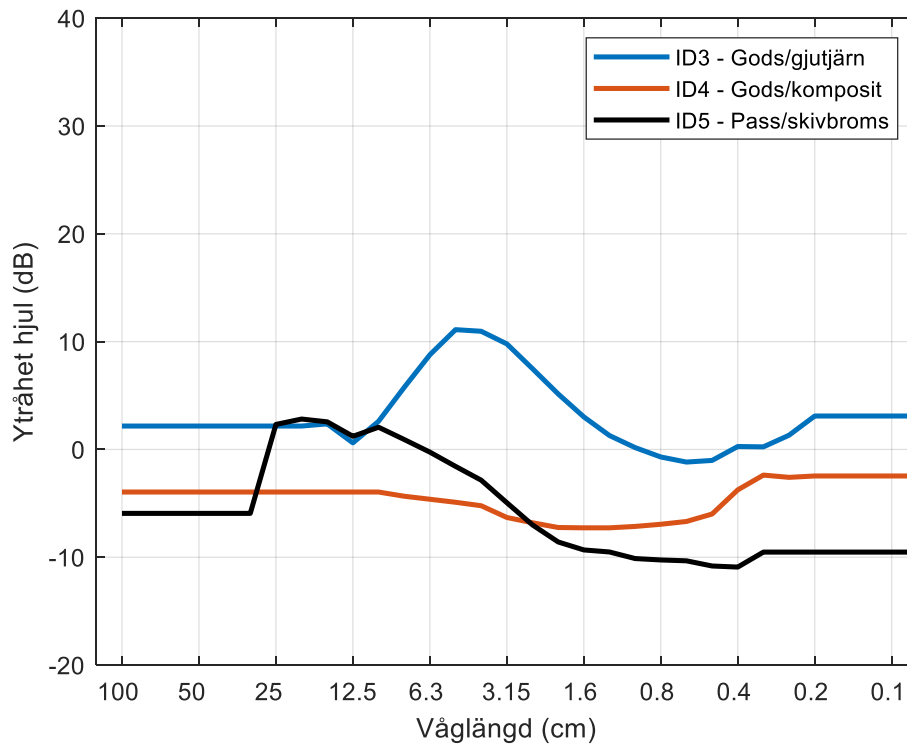
För ytojämnhet för räl finns det bara två fördefinierade nivåer: "slät" som motsvarar referenskurvan i ISO 3095 och "medel" som skall representera ett normalt underhållet spår. Av någon anledning har spektrumet för "medel" i den nya versionen av Cnossos (från dec 2020) ändrats så att det nya "medel" är mycket lik kurvan för "slät". Dessa visas i Figur 3 där även det tidigare spektrumet för "medel" (från 2015) tagits med. ID3-4 refererar till beteckningen i Cnossos-EU. För framtida bullerkartläggning med Cnossos-EU rekommenderas att använda kurvan "medel (2015)" för svenska tåg.



Figur 3. Standardspektrum för ytojämnhet för räl.

### Ytojämnhet hjul ( $L_{r,VEH}$ )

För ytojämnhet för hjul finns det tre fördefinierade nivåer: "godsvagn med gjutjärnsblock", "godsvagn med kompositblock" och "passagerarvagn med skivbroms". Dessa visas i Figur 4. ID3-5 refererar till beteckningen i Cnossos-EU.

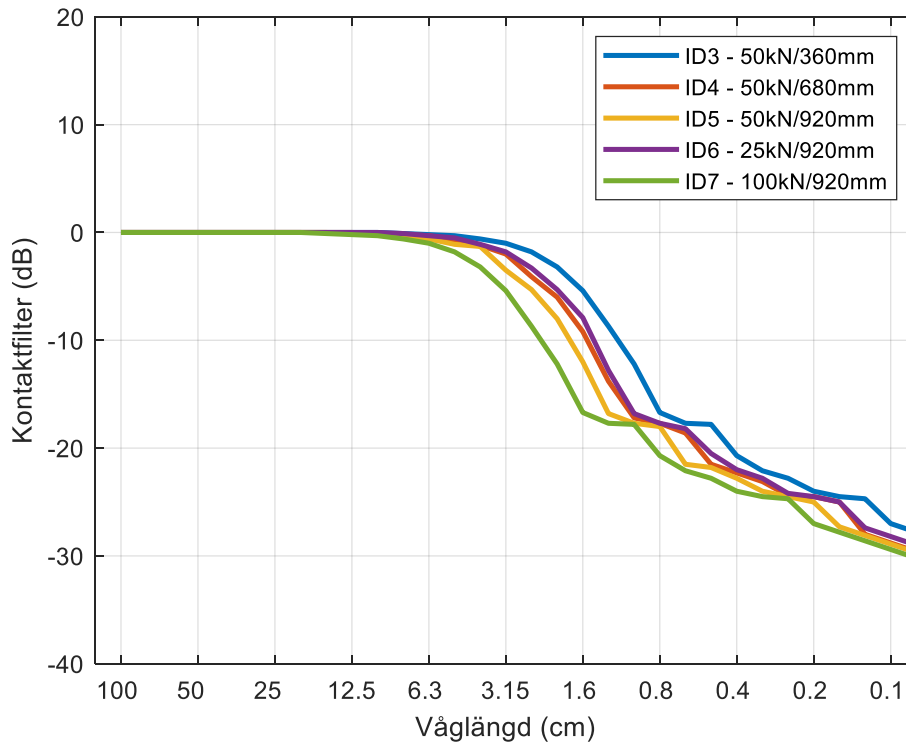


Figur 4. Standardspektrum för ytojämnhet för hjul.



### Kontaktfilter ( $A_3$ )

Kontaktfiltret påverkas av hjuldiameter och axellast. Det finns fem fördefinierade spektrum. Notera att det gjordes en ganska stor förändring (skärpning) i kontaktfilter-spektrumen i Cnossos version 2020. Kurvorna i Figur 5 gäller för version 2020. ID3-7 refererar till beteckningen i Cnossos-EU.



Figur 5. Standardspektrum för kontaktfilter.

## 4 Parametrar för svenska spårfordon i Cnossos-EU

I [1] beskrivs varje fordonstyp av de tre parametrar som är markerade med röda pilar i nedanstående ruta som är ett utdrag från Tabell 1.

Parameter	CNOSSOS-EU
Överföringsfunktion bana	$H_{TR}$
Ytjämnhetsnivå räl	$L_{r,TR}$
→ Överföringsfunktion hjul/boggie	$H_{VEH}$
→ Ytjämnhetsnivå hjul	$L_{r,VEH}$
→ Kontaktfilter	$A_3$
Traktionsljud	$L_{W,0,const}$
Tomgångsljud	$L_{W,0,idling}$

Överföringsfunktionen  $H_{VEH}$  är unikt framtagen för varje fordon medan kontaktfiltret valts bland standardparametrarna ID3-7 och ytojämnheten för hjul också valts bland standardparametrarna ID3 och ID5 men med tillägget att fyra nivåer av dB-offset införts för passagerarfordonen.

Tabell 2 nedan visar kombinationen av parametrar för samtliga fordon i [1]. Namnen på ojämnhetsparametrarna skall läsas som att "p" betyder "plus", "m" betyder "minus". SE\_5p3 betyder alltså kurvan för SE\_5 har adderats med en offset på +3 dB. Dessa visas i Figur 8. För en beskrivning av parametrarna för traktionsbidraget hänvisas till [1].

Tabell 2. Sammanställning av källparametrar för samtliga fordonstyper i [1].

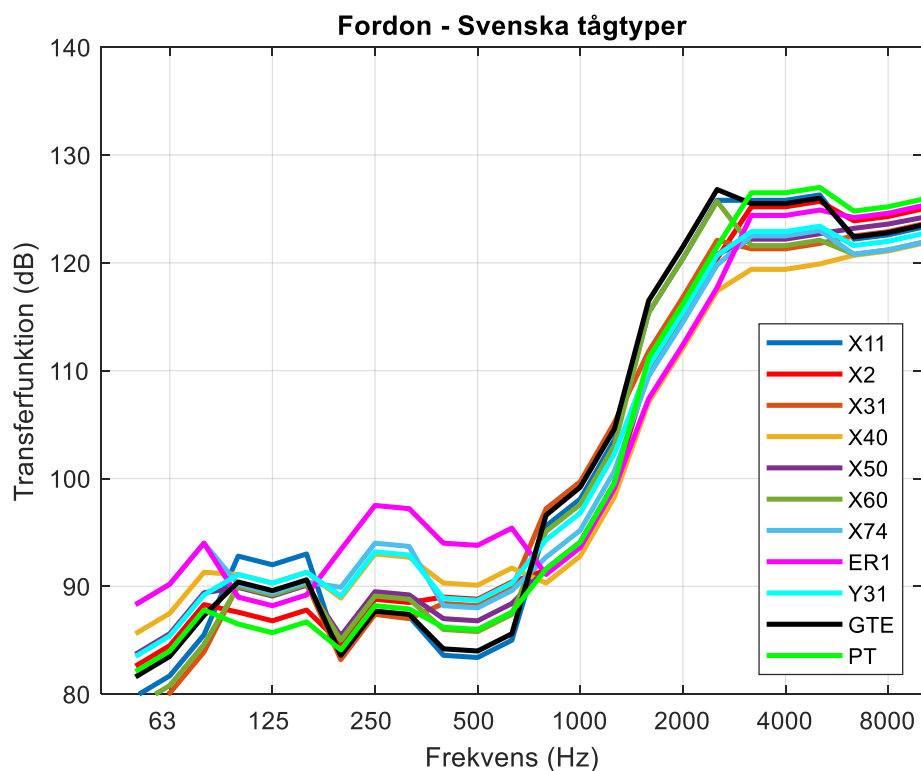
Fordon	Transfer	Ytojämnhet	Kontaktfilter	Traktion
X11	SE_X11_TF	SE_5p6	N25	-
X2	SE_X2_TF	SE_5p6	N25	-
X31	SE_X31_TF	SE_5m3	N25	-
X40	SE_X40_TF	SE_5p6	N25	-
X50	SE_X50_TF	SE_5p3	N25	-
X60	SE_X60_TF	SE_5m3	N50	-
X74	SE_X74_TF	SE_5p6	N25	-
ER1	SE_ER1_TF	SE_5	N50	-
Y31	SE_Y31_TF	SE_5p6	N25	-
PT	SE_PT_TF	SE_5p6	N25	-
GTE	SE_GTE_TF	SE_3	N25	-
GTK	SE_GTE_TF	SE_5	N25	-
X2L	SE_X2_TF	SE_5p6	N25	9
RC	SE_6	SE_5	N100	9
TMX	SE_3	SE_3	N100	4
T44	SE_3	SE_3	N100	6

Varje fordon har en unik transferfunktion (även benämnd överföringsfunktion på vissa ställen i rapporten) och samtliga dessa visas i Figur 6. I Figur 7 har de svenska transferfunktionerna jämförts med de standardiserade spektrumen. Man kan notera en ganska stor skillnad i både form och nivå som påverkar både ljudeffektnivån och hastighetsberoendet, vilket kommer att diskuteras längre fram i rapporten.

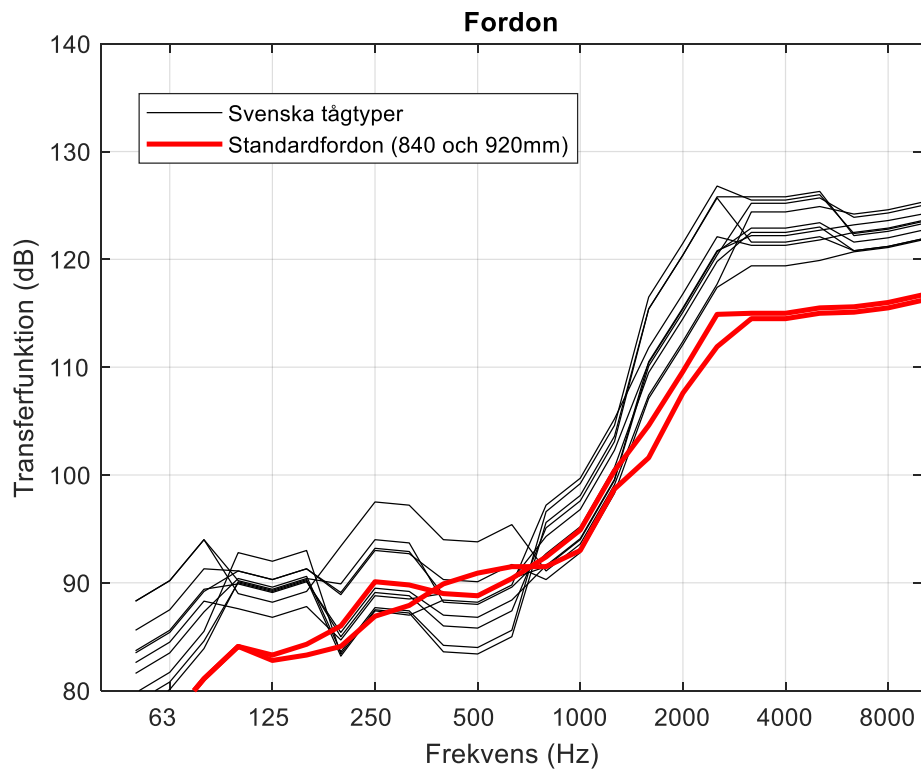
En annan iakttagelse man kan göra i tabellen är att ytojämnheten skiljer väldigt mycket mellan olika (liknande) fordonstyper. Till exempel har motorvagnståget X31 en

mycket låg ytojämnhet (offset -3 dB) medan det liknande motorvagnståget X74 har en hög ytojämnhet (offset +6 dB). För kontaktfiltret har de flesta motorvagnståg samma parameter N25 (25 kN på 920mm hjul) med undantag för X60 och ER1 som har N50 (50 kN på 920mm hjul).

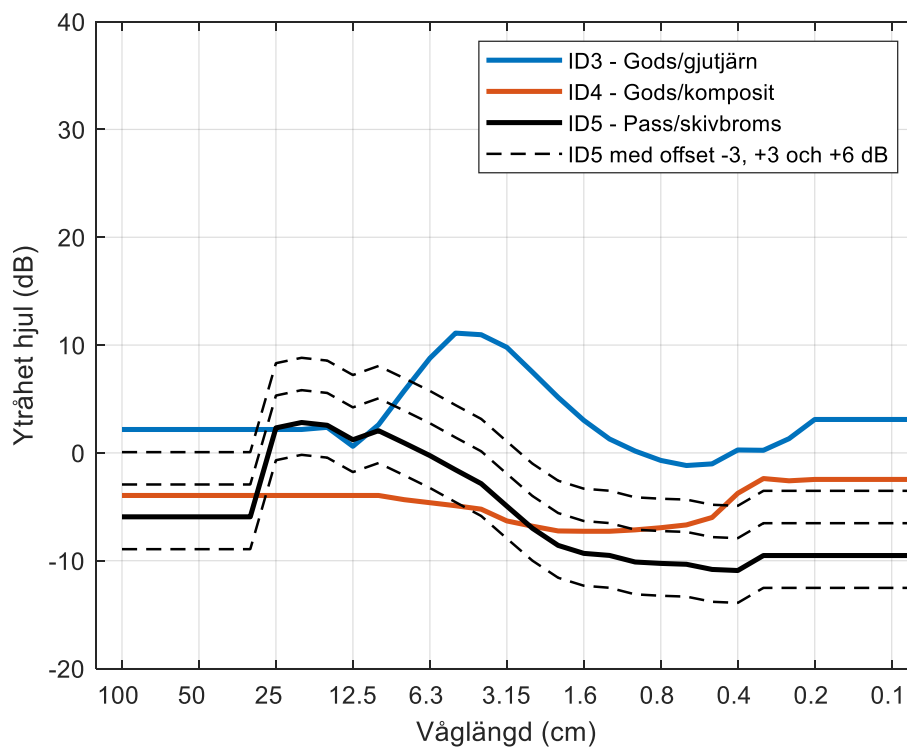
Valet av parametrar för kontaktfiltret och ytojämnhet känns inte riktigt fysikaliskt grundade vilket kan vara en risk i en situation där en Cnossos-beräknare i framtiden kan vilja göra beräkningar för andra ytojämnheter och kontaktfiltret.



Figur 6. Spektrum för transferfunktioner för de svenska fordonen i Tabell 1.



Figur 7. Översiktlig jämförelse mellan transferfunktioner för de svenska fordonen i Tabell 1 och standardfunktionerna ID3 och ID4.



Figur 8. Spektrum för ytojämnhet för hjul som använts för de svenska fordonen i Tabell 1.

## 5 Standardparametrar för fordon

Detta kapitel diskuterar tänkbara val och kombinationer av standardparametrar för fordonen i Tabell 1. Så tidigt som 2014 publicerade Extrium [3] ett förslag på översättningstabell mellan tågtyper i Nord2000 och rekommenderade standardfunktioner i Cnossos-EU. Innehållet i [3] för de aktuella svenska fordonstyperna finns återgivna i Tabell 3. De fordonstyper som saknades i Extrium-dokumentet har lämnats tomma. En iakttagelse är att man även tar med traktionsljud för motorvagnståg (ID10) men i praktiken är ljudeffekten för ID10 försumbar jämfört med ljudeffekten hos rullningsljudet. För källhöjden 0.5m är den 96.6 dB(A) och för källhöjden 4.0m är den 94.3 dB(A). Kontaktfiltret som rekommenderas är genomgående den tyngsta axellasten (100 kN) för samtliga fordon, vilket kanske kan ifrågasättas men det har ganska måttlig effekt. När det gäller transfer-funktioner och ytojämnhet känns rekommendationerna rimliga.

Tabell 3. Rekommendationer på standardfunktioner föreslagna av Extrium 2014 [3]. Siffrorna refererar till ID-numren i Figur 2, Figur 4 och Figur 5.

Fordon	Transfer	Ytojämnhet	Kontaktfilter	Traktion
X11(X10)	3	3	7	10
X2	3	3	7	-
X31	3	5	7	10
X40	3	5	7	10
X50	saknas			-
X60	3	5	7	10
X74	saknas			
ER1	saknas			
Y31	saknas			
GTE	3	3	7	-
GTK				
X2L	9	5	7	9
RC	6	5	7	9
TMX	saknas			
T44	3	3	7	6

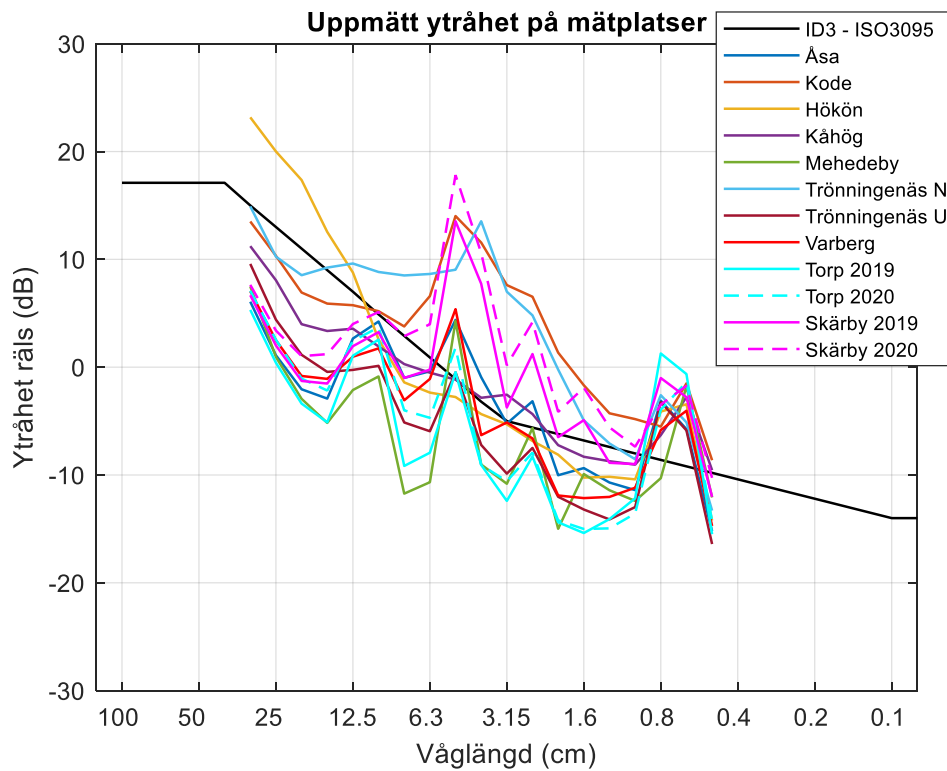
Ett något justerat förslag på val av standardparametrar som kommer att användas i den kommande analysen i rapporten finns angivet i Tabell 4. Som synes är det stora likheter med Tabell 3 men ett mindre kontaktfiler har använts. Tanken är att transferfunktionen skall vara kopplad till hjulstorlek och att ytojämnheten skall vara kopplad till typ av bromssystem. Traktionsbidraget tas bort för motorvagnstågen.

Tabell 4. Förslag på lämpliga källparametrar för samtliga fordonstyper i [1].

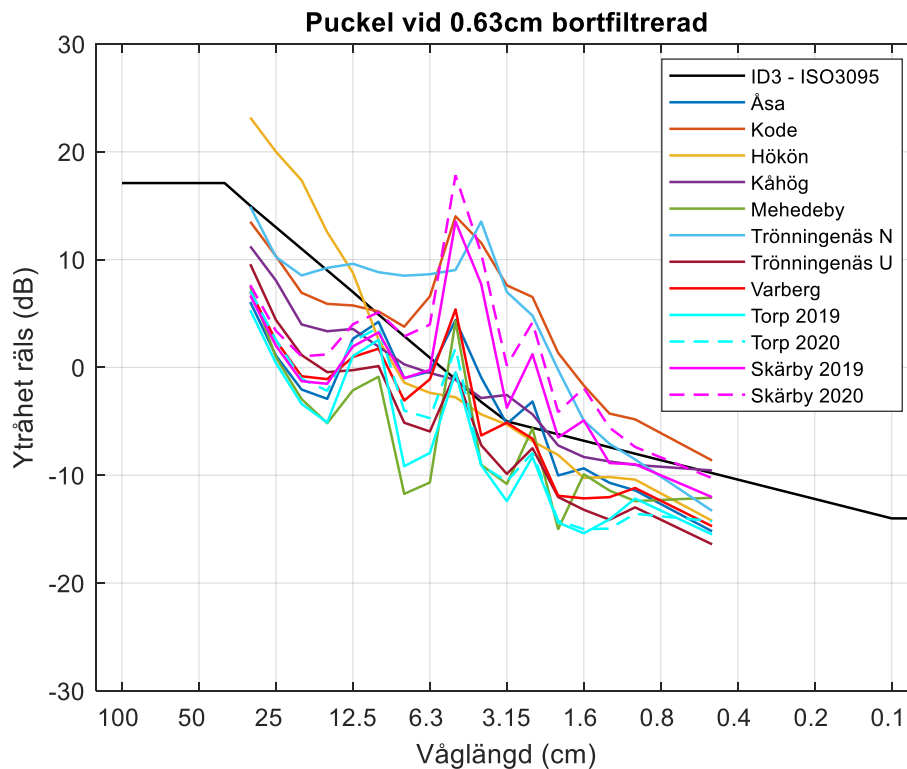
Fordon	Transfer	Ytojämnhet	Kontaktfiler	Traktion
X11	3	5	5	
X2	3	5	5	-
X31	4	5	5	-
X40	4	5	5	-
X50	4	5	5	-
X60	4	5	5	-
X74	4	5	5	-
ER1	3	5	5	-
Y31	3	5	5	-
GTE	3	5	7	-
GTK	3	5	7	-
X2L	3	5	7	9
RC	6	3	7	9
TMX	6	3	7	4
T44	6	3	7	6

## 6 Ytojämnhet på mätplatser

Framtagningen av de dedikerade fordonsparametrarna i [1] (se Tabell 1) bygger på att spåret kan beskrivas med den standardiserade transferfunktionen för "medium pad" och att räl-ytojämnheten är uppmätt på samtliga mätplatser. I Figur 9 nedan visas samtliga sådana uppmätta ytojämnhetsspektrum på mätplatserna [4]. En detalj som har stor påverkan på resultaten är den puckel vid våglängden 0.63-0.8 cm som finns i samtliga kurvor. Det har framkommit att denna puckel ligger utanför mätområdet för den mätutrustning (CAT – Corrugation Analysis Trolley) som använts och skall tas bort för att inte resultaten skall bli felaktiga. Justerade ytojämnhetsspektrum med puckeln bortfiltrerad visas i Figur 10.

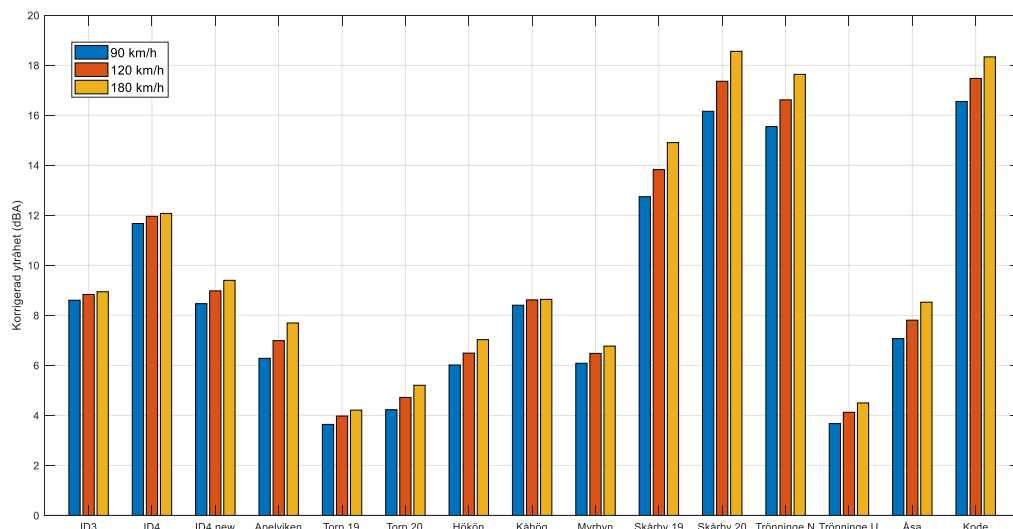


Figur 9. Ytjämnhetsspektrum uppmätt med CAT på samtliga mätplatser. Kurvan för referensspektrum enligt ISO3095 är inlagd som jämförelse.



Figur 10. Ytjämnhetsspektrum uppmätt med CAT på samtliga mätplatser och där puckeln vid 0.63-0.8 cm avlägsnats.

Man kan notera att det är stor spridning i ytojämnhetsspektrum mellan mätplatserna. För att underlätta jämförelse mellan ytojämnheten på mätplatserna har ett ensiffervärde för ytojämnheten beräknats. Det så kallade  $L_{ACA}$  som togs fram inom EU-projektet Harmonoise [5], och som bygger på vissa antaganden om kontaktfilter och har en viss inverkan av tåghastigheten. Stapeldiagrammet i Figur 11 visar  $L_{ACA}$  för samtliga mätplatser i Figur 10 och även för de tre standardiserade ytojämnhetsspektrumen (slät, medel 2015 och medel 2020) i Figur 3. Mätplatsernas  $L_{ACA}$ -värden skiljer ungefär 13 dB mellan lägsta och högsta värde. Intressant nog är fördelningen inom detta spann så att de flesta mätplatser antingen ligger i den nedre eller högre delen av spannet och ett fåtal i mitten där man med en normalfördelning hade kunnat förvänta sig högst utfall. Huruvida detta är en tillfällighet eller om det finns ett mönster är definitivt något som behöver utredas i framtiden.



Figur 11. Ensiffervärde  $L_{ACA}$  för standardiserade och uppmätta ytojämnhetsspektrum.

## 7 Ljudeffektberäkning för X31 på mätplatser

I detta kapitel görs en detaljerad studie av källmetoden i Cnossos applicerat på fordonet X31. Ljudeffekten tas fram på samtliga mätplatser där det finns förbipassagemätningar med X31. För att demonstrera de olika beräkningsstegen i Cnossos-metoden som leder fram till ljudeffekten görs detta i detalj för en av mätplatserna, medan det för övriga mätplatser endast presenteras slutresultaten i form av ljudeffektspektrum och ljudeffekt som funktion av tåghastighet. Som komplement görs även en jämförelse med vilket resultat man får med de förslaget på standardparametrar i Tabell 4.

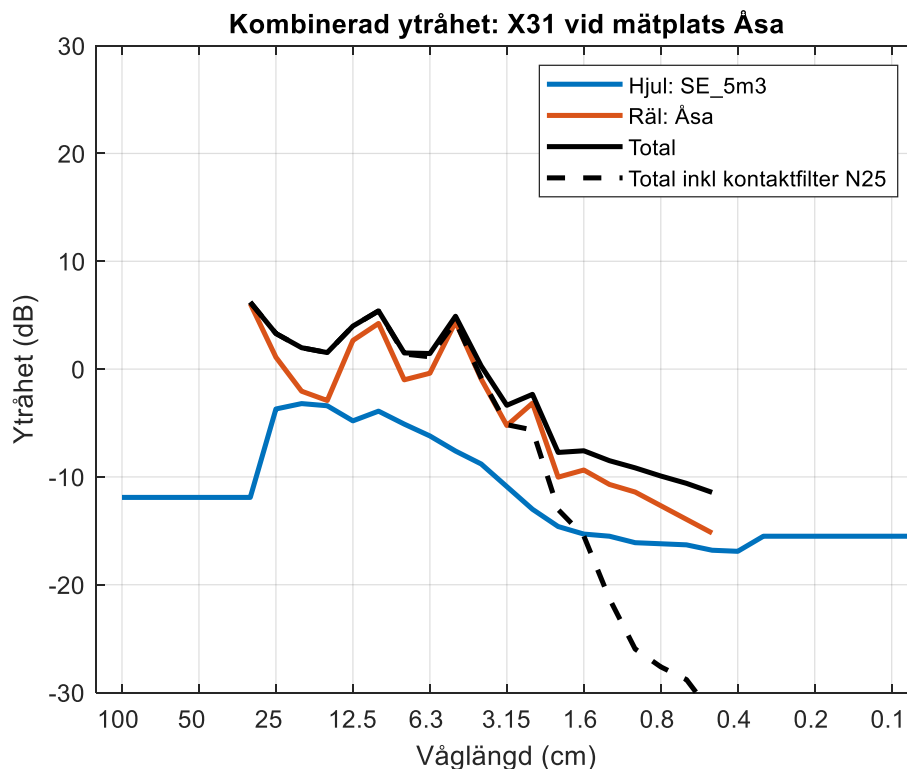


I Figur 12 visas först resultatet av att lägga ihop ytojämnhet för räl och hjul till en kombinerad ytojämnhet och sedan subtrahera kontaktfiltret.

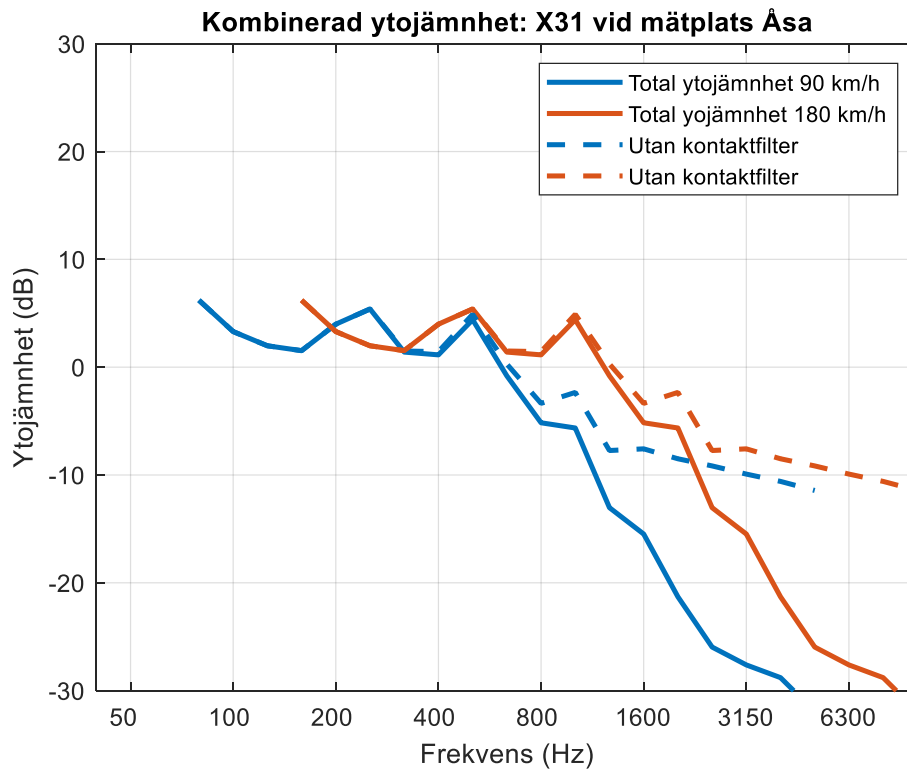
Figur 13 visar nästa steg där man skiftar från våglängd till frekvensplanet och där spektrumet flyttas i sidled beroende på tåghastigheten. I figuren har två olika tåghastigheter tagits med.

Nästa steg är att multiplicera den kombinerade och kontaktfiltreterade ytojämnheten med transferfunktionerna och därigenom bilda ljudeffekt för fordon och spår. Detta visas i Figur 14.

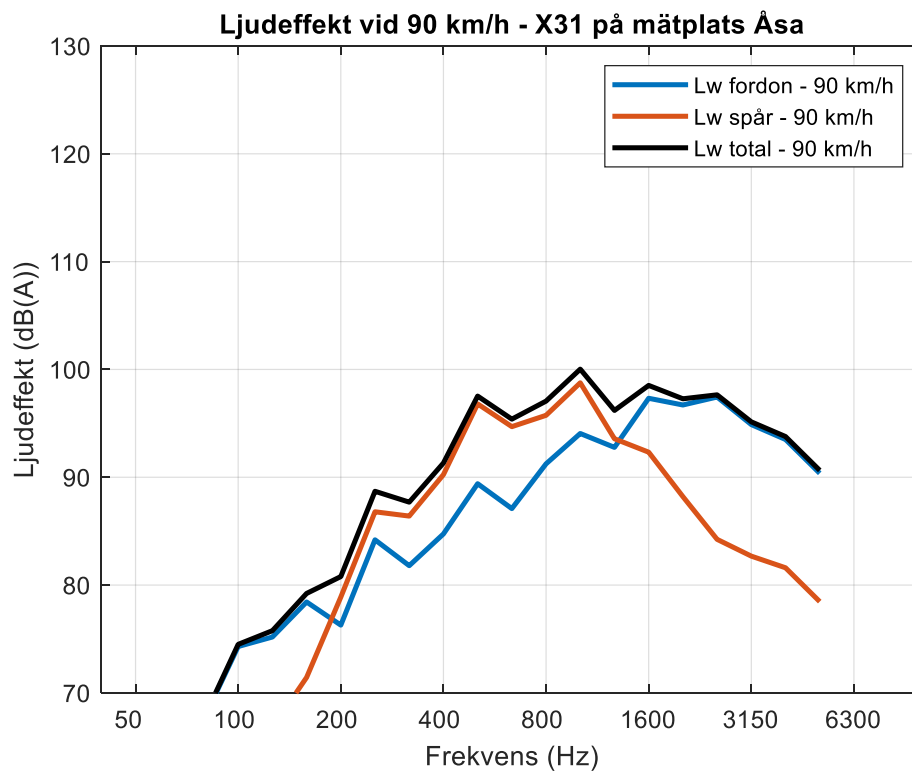
Figur 15 visar sedan totala ljudeffektspektrum för fyra olika hastigheter för X31 vid mätplats Åsa. Hastigheterna har valts så att tersbandsdata kan användas direkt utan att interpolera mellan intilliggande tersband vid övergången från våglängd till frekvens. I Figur 16 till Figur 18 presenteras sedan ljudeffektspektrumen för övriga mätplatser på samma sätt.



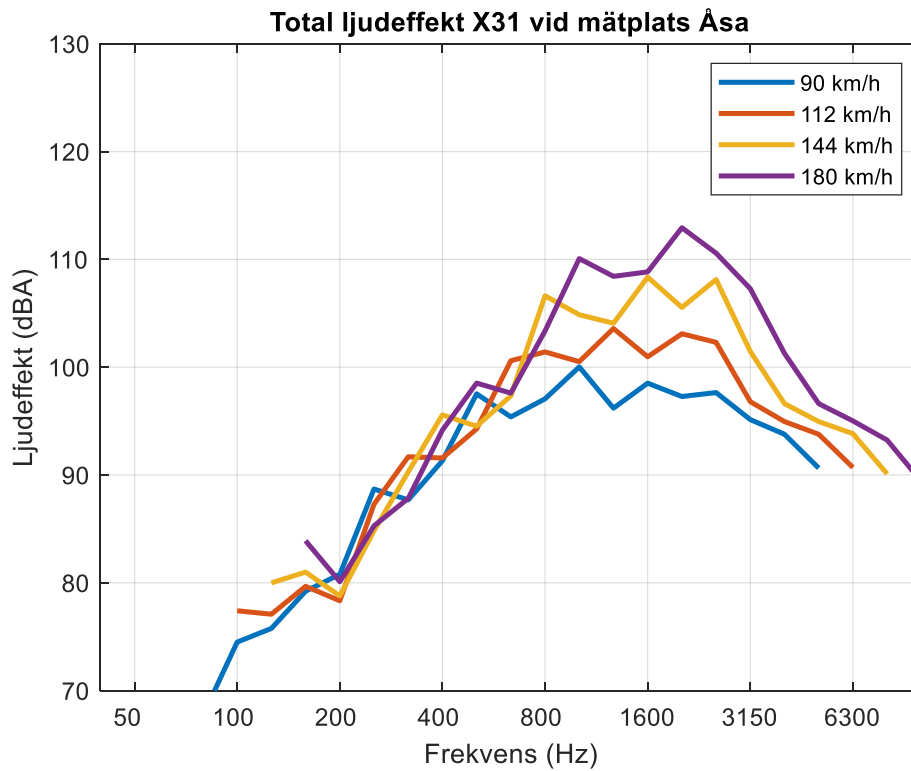
Figur 12. Ytojämnhetsspektrum för hjul och räl för X31 vid mätplats Åsa. Streckad kurva är total ytojämnhet inklusive kontaktfilter.



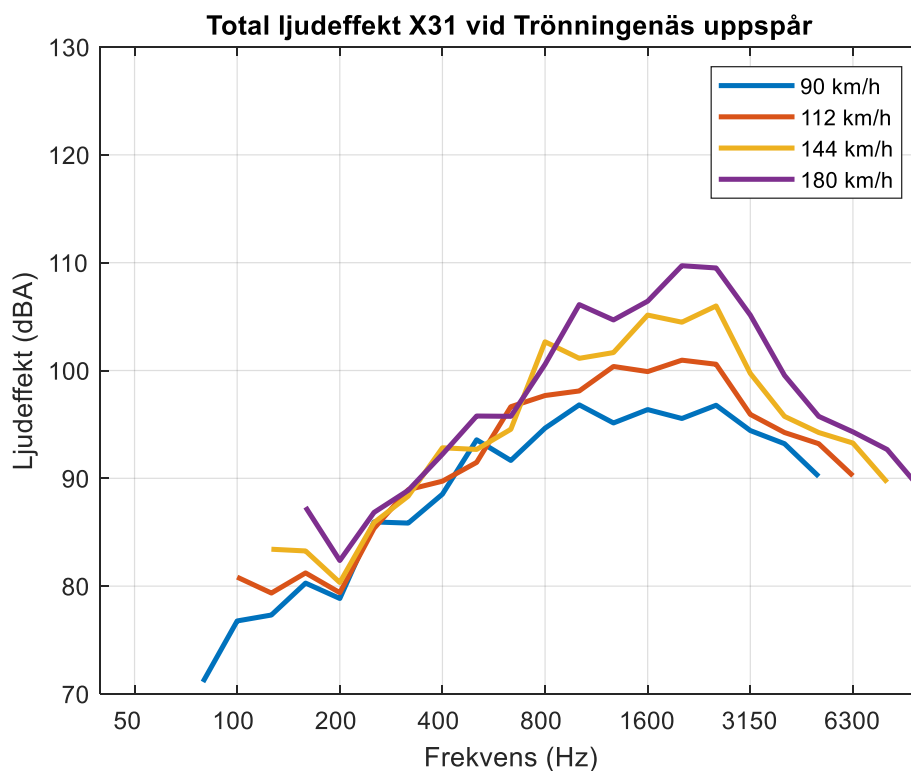
Figur 13. Totalt ytojämnhetsspektrum för X31 vid mätplats Åsa transformerat från väglängd till frekvens för två olika tåghastigheter.



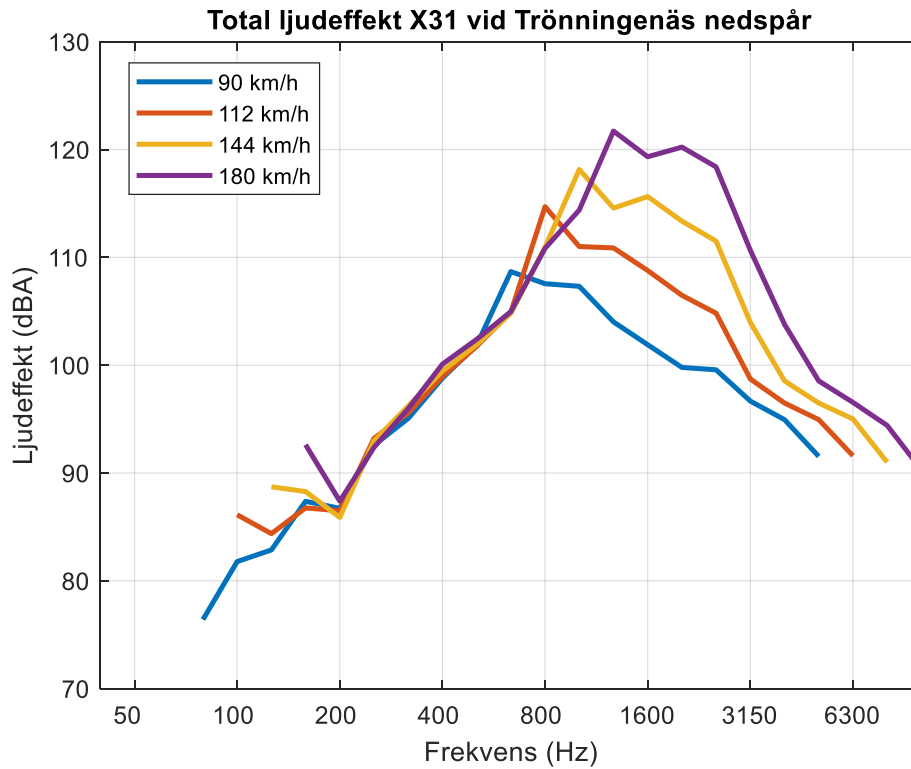
Figur 14. Ljudeffektspektrum (fordon, spår och total) för X31 vid mätplats Åsa för tåghastigheten 90 km/h.



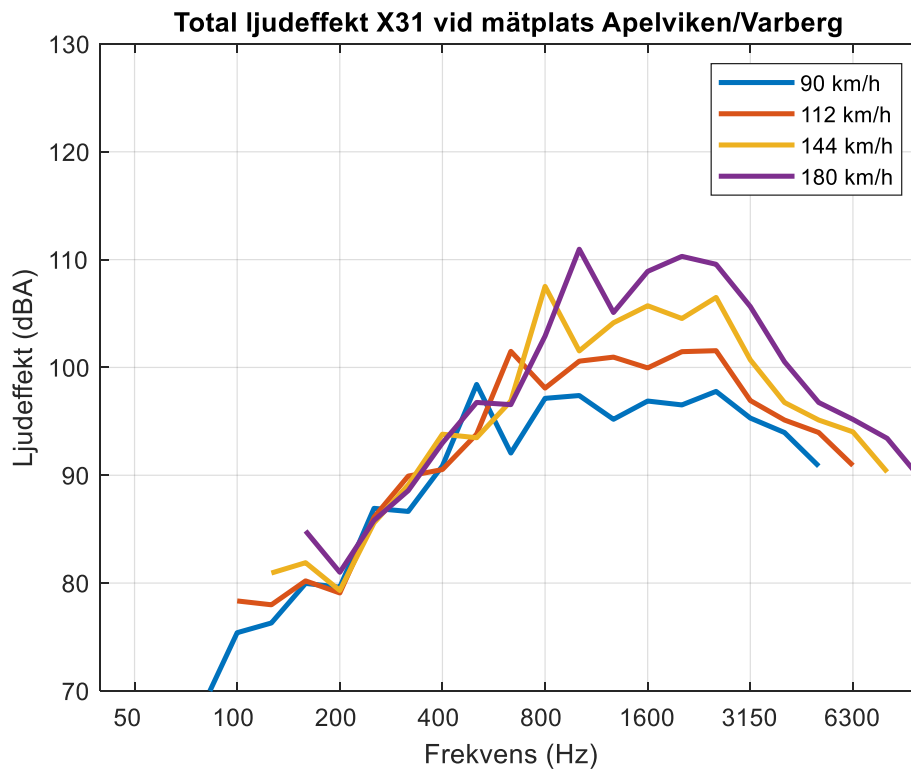
Figur 15. Totalt ljudeffektspektrum för X31 vid mätplats Åsa för fyra olika tåghastigheter.



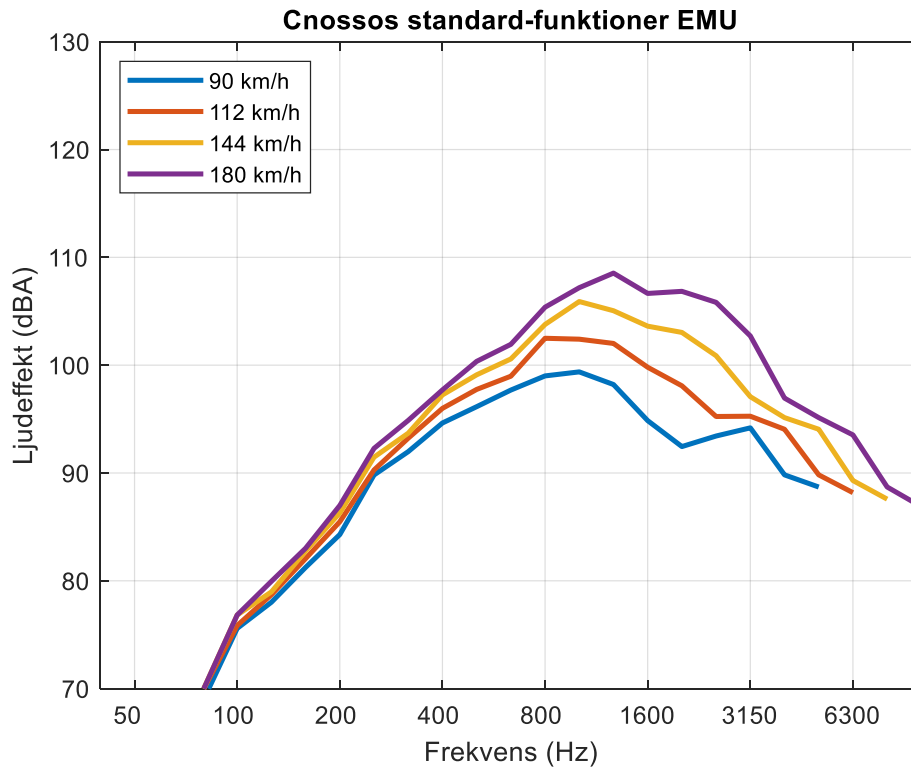
Figur 16. Totalt ljudeffektspektrum för X31 vid mätplats Trönningenäs uppspår för fyra olika tåghastigheter.



Figur 17. Totalt ljudeffektspektrum för X31 vid mätplats Trönningenäs nedspår för fyra olika tågshastigheter.



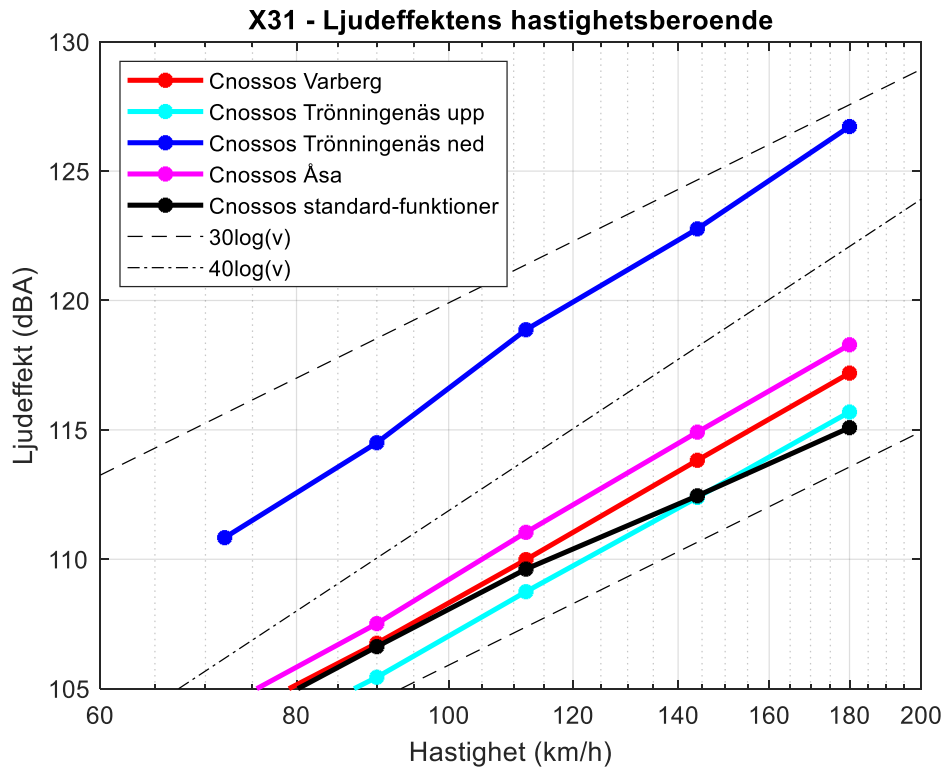
Figur 18. Totalt ljudeffektspektrum för X31 vid mätplats Varberg/Apelviken för fyra olika tågshastigheter.



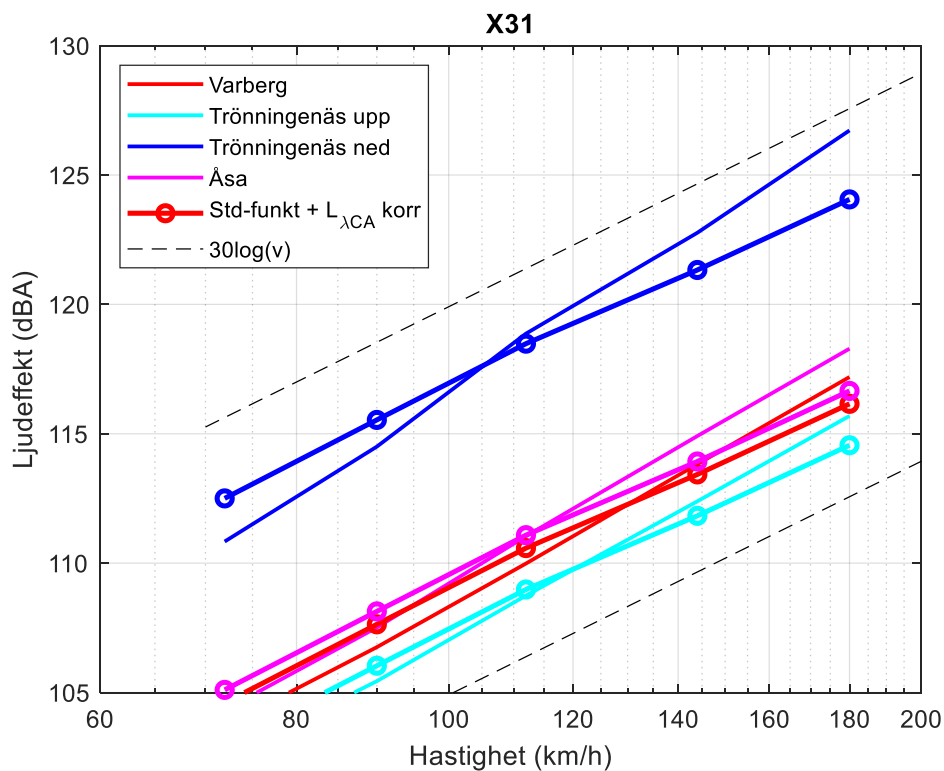
Figur 19. Totalt ljudeffektspektrum för X31 med standardparametrar enligt Tabell 4 på spår med ytojämnheter enligt "medel 2015" för fyra olika tåghastigheter.

Om man summerar ihop total ljudeffekt för alla kurvor i ovanstående diagram och plottar dem som funktion av tåghastighet får man det resultat som visas i Figur 20. Här skall man notera att kurvan för "Cnossos standard-funktioner" använder rälojämnheten "medel 2015" medan kurvorna för de olika mätplatserna använder uppmätta rälojämnheter. Genom att använda ytojämnhetsparametern  $L_{ACA}$  från Figur 11 kan man transponera kurvan för standard-funktionerna till vad den skulle motsvara om man istället använde rälojämnheter på respektive mätplats. Detta är för enkelhets skull gjorts för en enda hastighet 120 km/h men man ser även med denna förenkling att det går att få en mycket god överensstämmelse med tillägg av en offset på +5 dB som diskuteras i kapitel 10. Det skall poängteras att transponeringens hastighetsinverkan är liten och den skillnad man ser i lutning på kurvor med och utan cirkelsymboler i Figur 21 även ses i de otransponerade kurvorna i Figur 21. En trolig orsaken är att transferfunktionen SE\_X31\_TF har en brantare lutning än standardfunktionen ID4 och därigenom ett starkare hastighetsberoende.

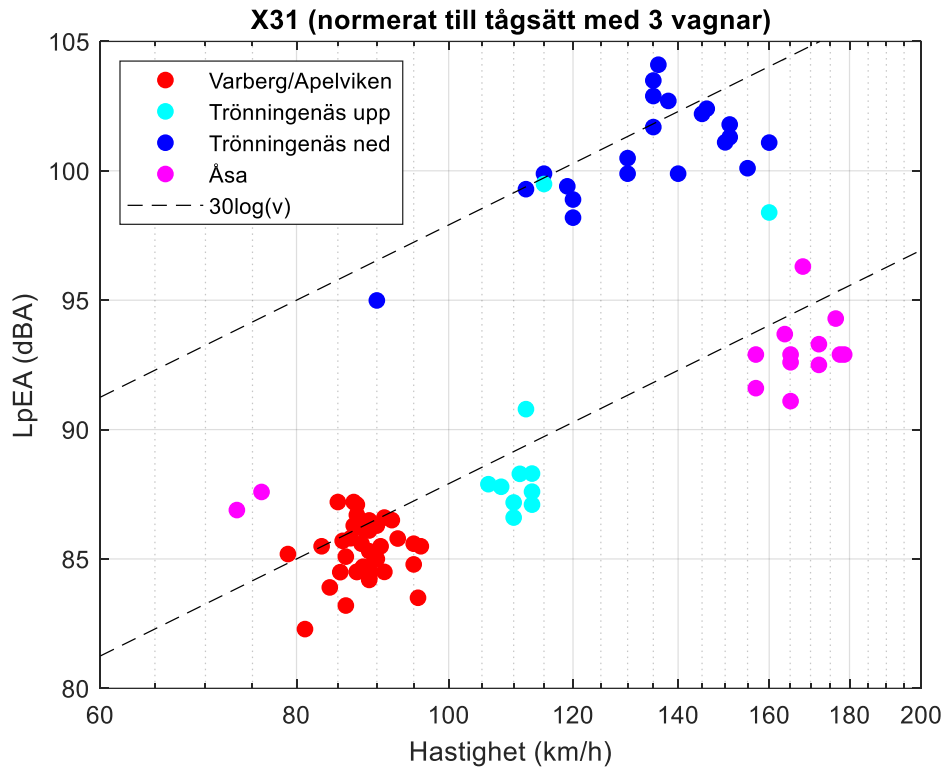
Ljudtrycksnivåerna som mättes upp för samtliga X31-passager på mätplatserna visar slutligen i Figur 22. Man ser ett mycket snarlikt nivå- och hastighetsberoende som för ljudeffektkurvorna i Figur 21, vilket tyder på att beräkningsmodellen ger rimliga resultat och att hastighetsberoendet och räl-ojämnhetsberoendet fångas på ett korrekt sätt. Det skall påpekas att beräkningarna använder en och samma överföringsfunktion för spåret och det kan inte uteslutas att det finns skillnader i spårets egenskaper och markförhållanden på mätplatserna som också kan bidra.



Figur 20. Ljudeffekten för X31 som funktion av tågshastighet på fyra olika mätplatser samt standardfunktioner på spår med ytojämnhet "medel 2015".



Figur 21. Samma innehåll som i Figur 20 men kurvan för standardfunktioner har transponerats till de fyra mätplatserna med hjälp av parametern  $L_{\lambda CA}$  från Figur 11 tillsammans med en offset på +5 dB. Kurvorna för de transponerade standardfunktionerna har.

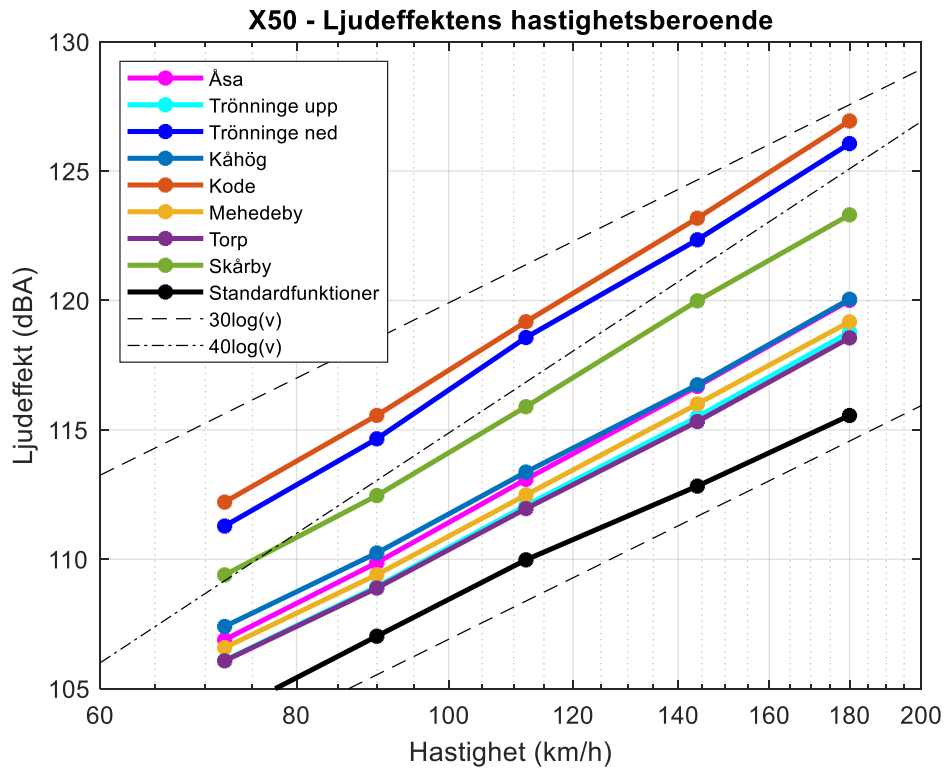


Figur 22. Ljudtrycksnivåer  $L_{pEA}$  för samtliga X31-passager vid mätplatserna. Samma färger för mätplatserna har använts som i föregående diagram i kapitlet.

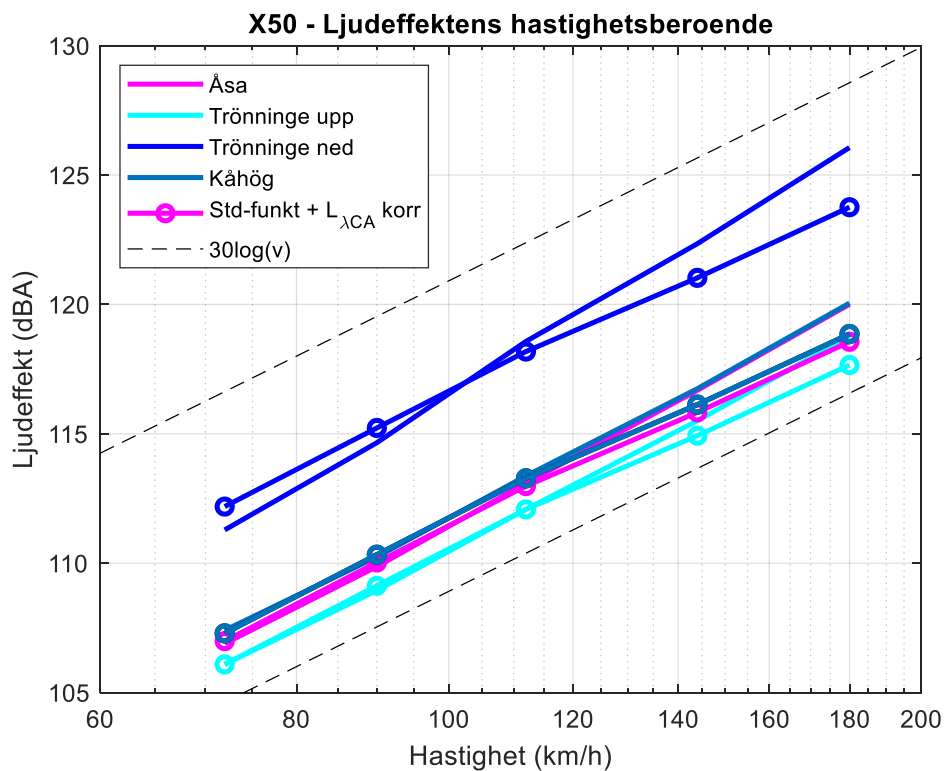
## 8 Ljudeffektberäkning för X50 på mätplatser

I detta kapitel har samma analys som gjordes för X31 i föregående kapitel gjorts för X50 men här har diagrammen med ljudeffektspektrum utelämnas och total ljudeffekt som funktion av hastighet redovisas direkt i Figur 23. En transponering med hjälp av räl-öjämnhetsparametern  $L_{ACA}$  visar på liknande resultat som för X31. Eftersom det är så många som åtta mätplatser för X50 har resultaten delats upp i två diagram (Figur 24 och Figur 25) för att öka tydligheten. Också för X50 fås en mycket god överensstämmelse mellan kurvorna för dedikerade fordonsfunktioner (SE\_X50\_TF) och transponerade standardfunktioner när det gäller nivå. Hastighetslutningen ligger för de dedikerade fordonsfunktionerna närmare  $40\log(v)$  medan de standardiserade ligger runt  $30\log(v)$ .

Ljudtrycksnivåerna som mättes upp för samtliga X50-passager på mätplatserna visar slutligen i Figur 26. Eftersom det finns olika längder på X50-tågsätt har nivåerna normerats till en och samma tåglängd (3 vagnar), vilket också gör att det går att jämföra med passagera för X31 i Figur 20.

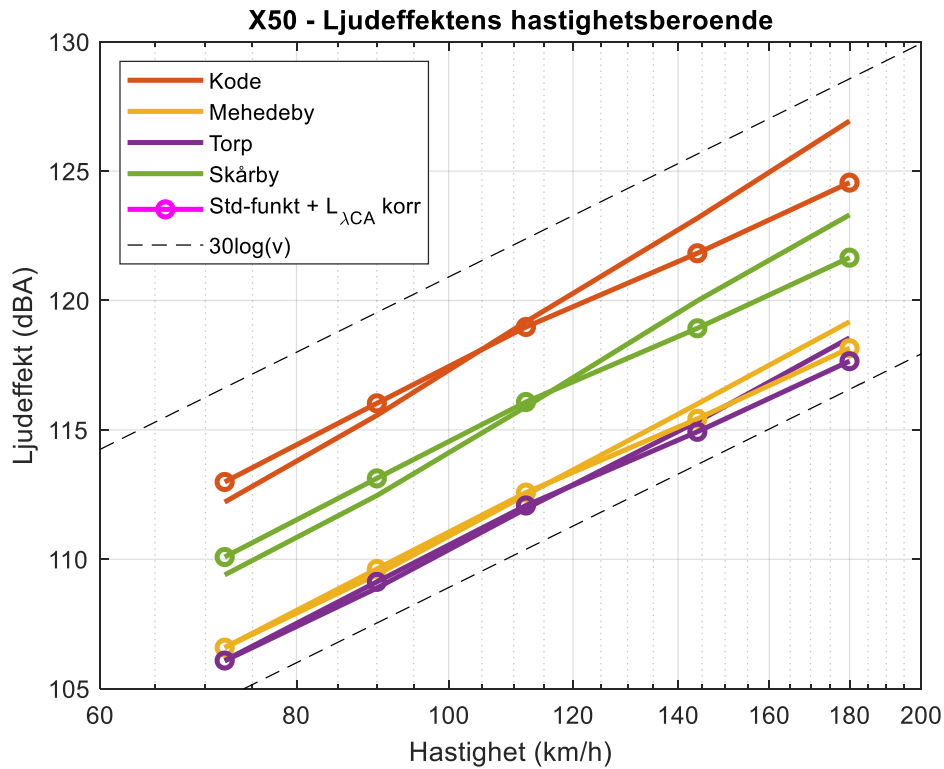


Figur 23. Ljudeffekten för X50 som funktion av tåg hastighet på åtta olika mätplatser samt för standardfunktioner på spår med ytojämnhet "medel 2015".

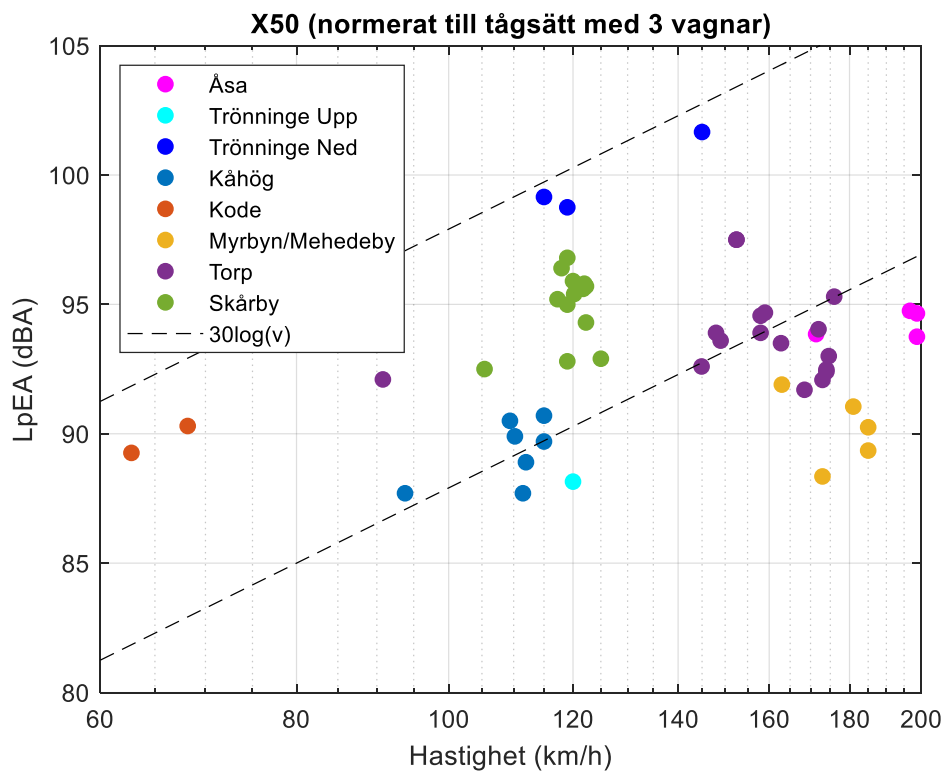


Figur 24. Samma innehåll som i Figur 23 men kurvan för standardfunktioner har transponerats till fyra av mätplatserna med hjälp av parametern  $L_{\lambda CA}$  från Figur 11.





Figur 25. Samma innehåll som i Figur 23 men kurvan för standardfunktioner har transponerats till fyra av mätplatserna med hjälp av parametern  $L_{\lambda CA}$  från Figur 11.



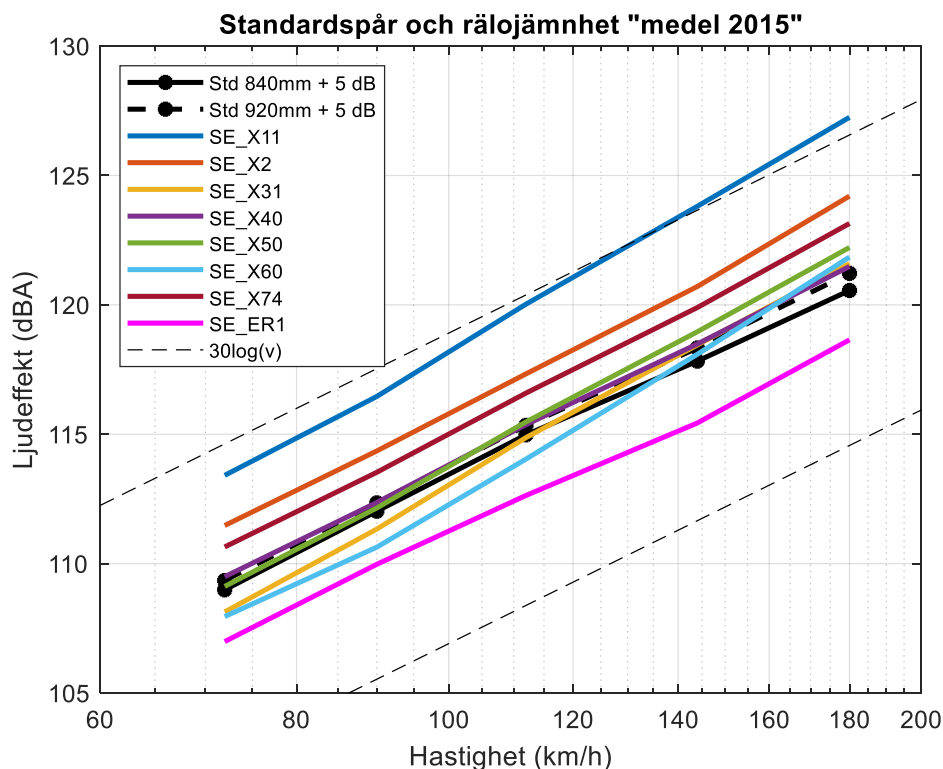
Figur 26. Ljudtrycksnivåer  $L_{pEA}$  för samtliga X50-passager vid mätplatserna. Tågsätt med olika längd har normerats till samma tåglängd (3 vagnar) för att göra dem jämförbara. Samma färger för mätplatserna har använts som i föregående diagram i kapitlet.

## 9 Ljudeffektberäkning för samtliga fordon på standardspår

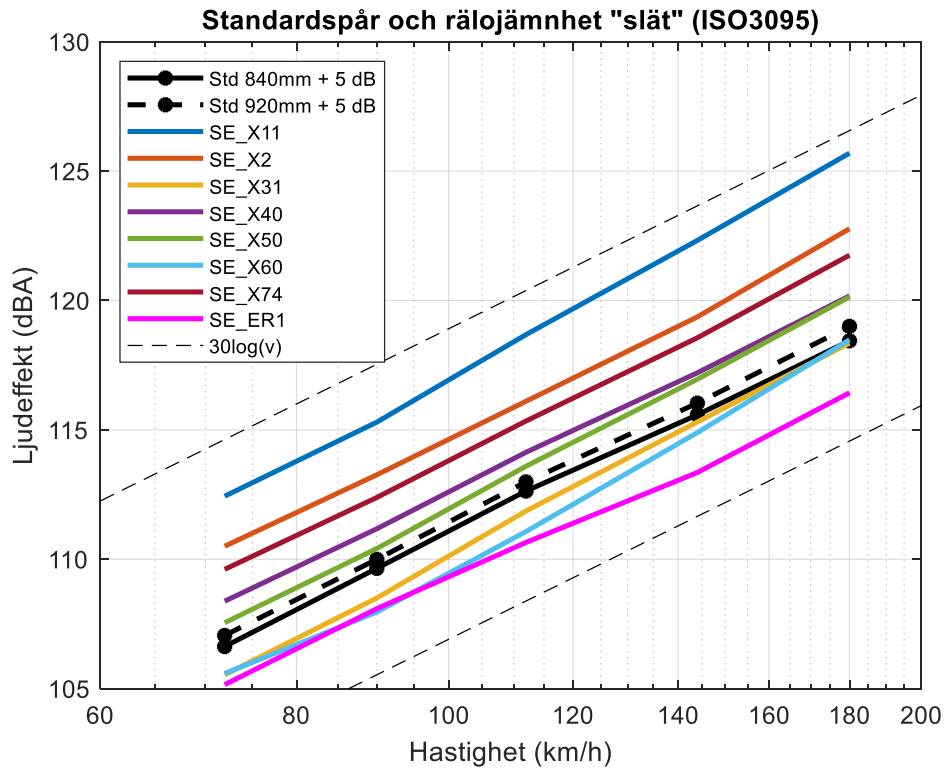
I framtida användning av Cnossos-EU i Sverige är avsikten att man inte skall mäta upp räl-ojämnheter på ett stort antal mätplatser utan det skall finnas ett bibliotek med ett färre antal standardiserade spektrum. I nedanstående figurer görs en jämförelse med ljudeffekten för de dedikerade fordonsparametrarna i Tabell 1 och för standardparametrarna för motorvagnar i Tabell 4 som använts för analyserna med X31 och X50 i föregående kapitel.

I Figur 27 till Figur 29 visas vad resultatet blir för motorvagnar med de tre olika standardspektrumen för räl-ytojämnheter i Figur 3. Det som preliminärt föreslås gälla för svenska spår i framtida Cnossos-beräkningar är "medel 2015" som visas i Figur 27.

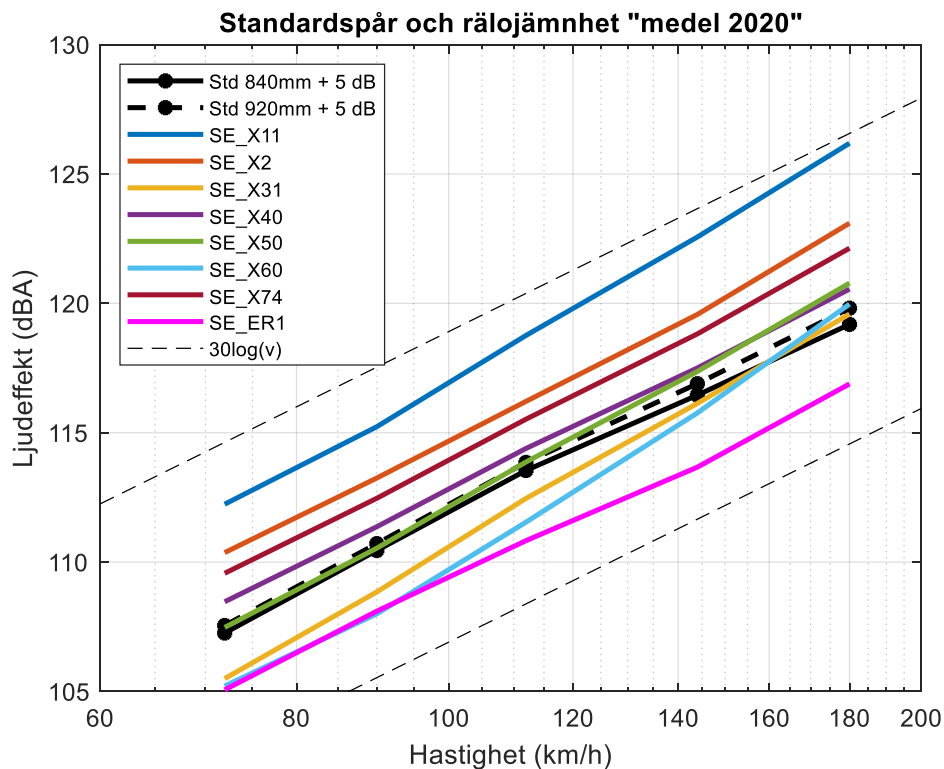
Figur 31 visar motsvarande kurvor för godsvagnar. Notera att samma hastighetsspann har använts för att underlätta jämförelse men för denna typ av tåg är maxhastigheten begränsad till typiskt 100 km/h.



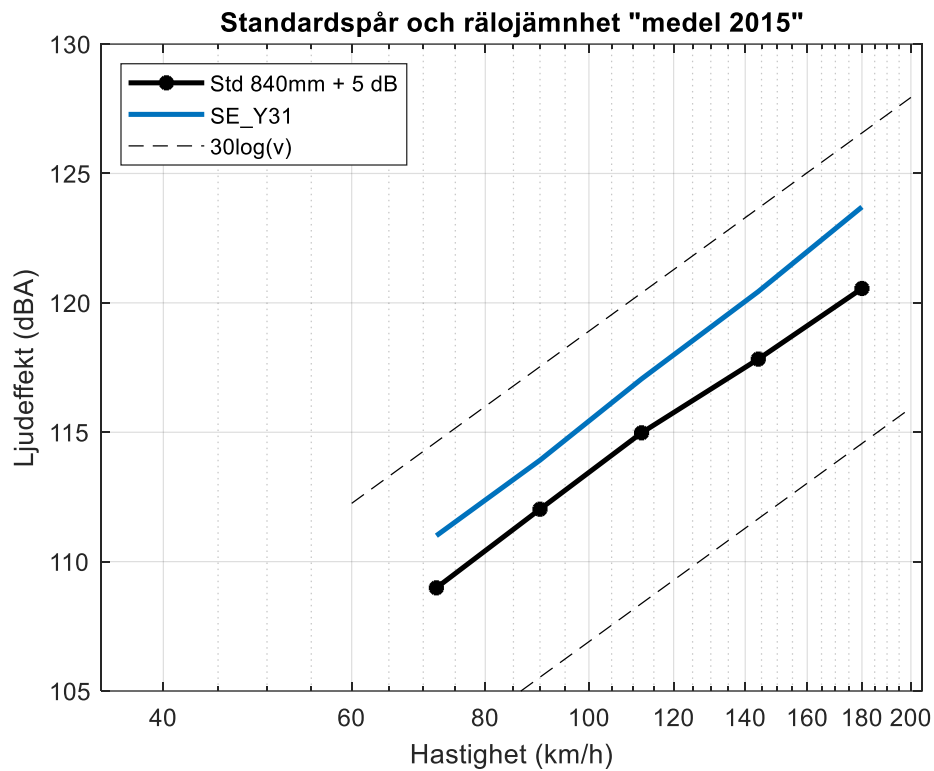
Figur 27. Ljudeffekt som funktion av tåg hastighet för elektriska motorvagnståg (EMU) med fordonsparametrarna enligt [1] på standardspår med ytojämnheter "medel 2015". Ljudeffekt beräknad med förslag på standardparametrar visas även.



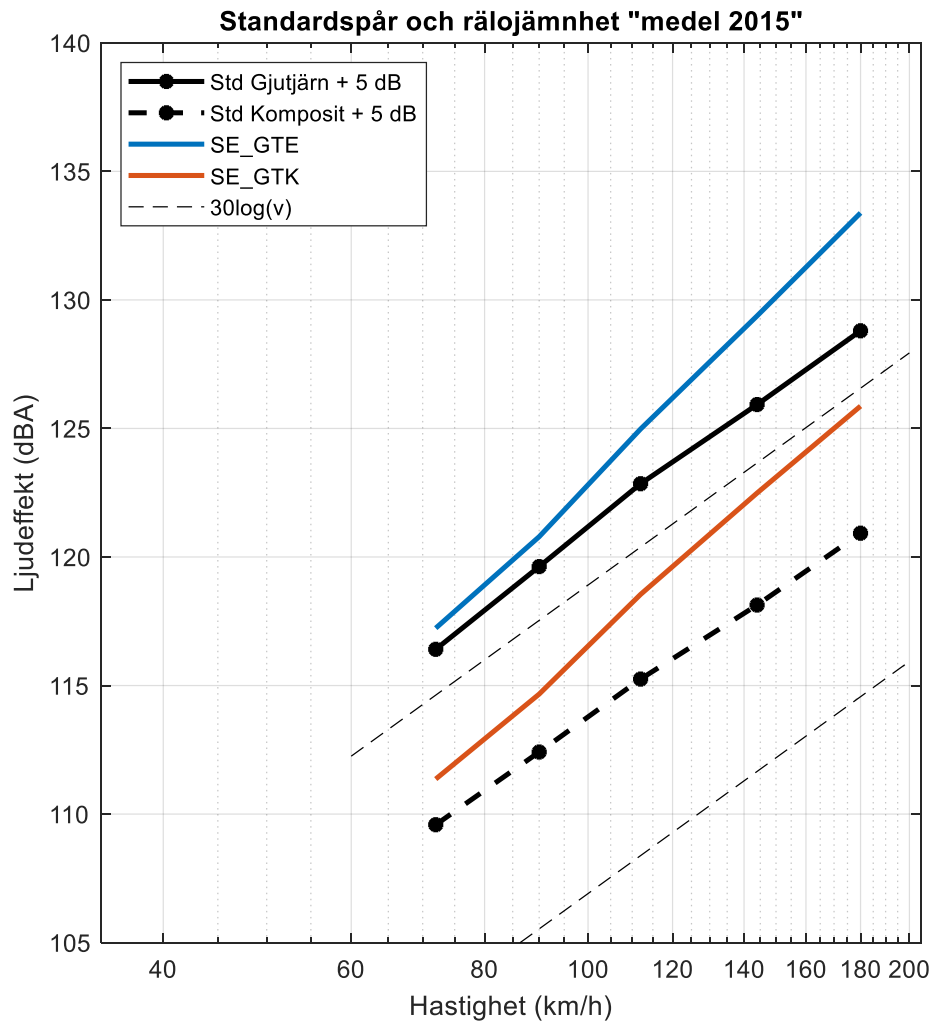
Figur 28. Ljudeffekt som funktion av tåghastighet för elektriska motorvagnståg (EMU) med fordonsp parametrarna enligt [1] på standardspår med ytojämnhhet "slät". Ljudeffekt beräknad med förslag på standardparametrar visas även.



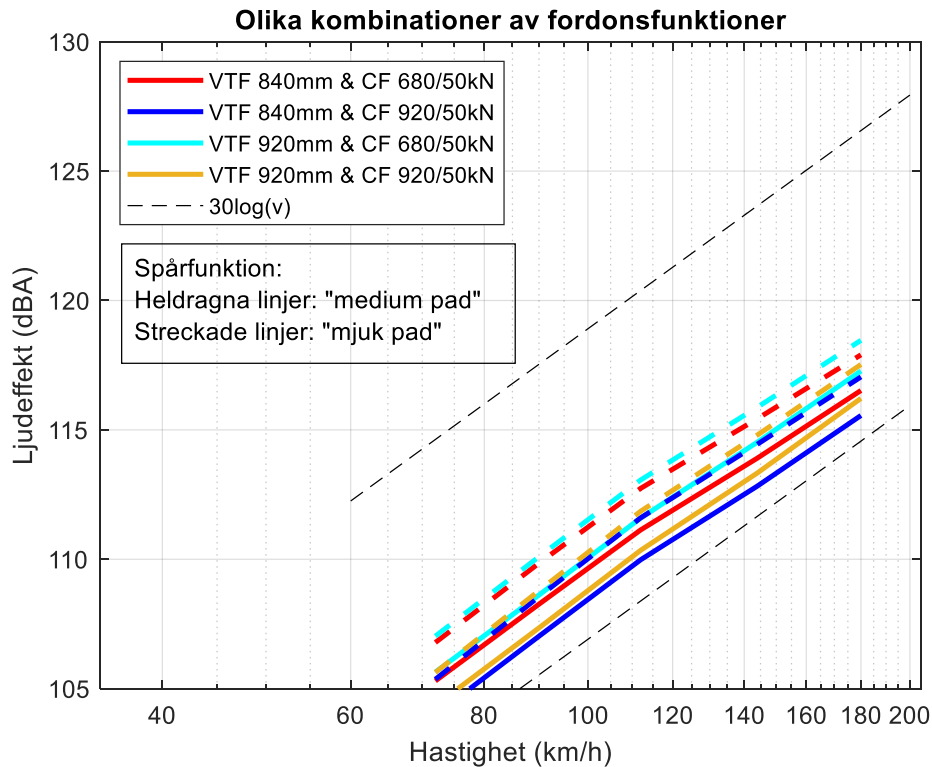
Figur 29. Ljudeffekt som funktion av tåghastighet för elektriska motorvagnståg (EMU) med fordonsp parametrarna enligt [1] på standardspår med ytojämnhhet "medel 2020". Ljudeffekt beräknad med förslag på standardparametrar visas även.



Figur 30. Ljudeffekt som funktion av tåg hastighet för dieselmotorvagn (DMU) med fordonsp parametrarna enligt [1] på standardspår med ytojämnhet "medel 2015". Ljudeffekt beräknad med förslag på standardparametrar visas även.



Figur 31. Ljudeffekt som funktion av tågastighet för godsvagnar med fordonparametrarna enligt [1] på standardspår med ytojämnhet "medel 2015". Ljudeffekt beräknad med förslag på standardparametrar visas även.



Figur 32. Ljudeffekt som funktion av tåg hastighet för olika kombinationer av standardfunktioner som är tänkbara för elektriska motorvagnståg (EMU) på standardspår med ytojämnhet "medel 2015". Transferfunktioner för spår med två olika mellanläggsstyvhet visas genom att använda heldragna och streckade linjer.

## 10 Slutsatser

Analysen i rapporten handlar om att granska källparametrarna för spårfordon i Cnossos-EU. Studien sträcker sig med andra ord till att studera hur olika kombinationer av parametrar inverkar på den beräknade ljudeffekten. Själva utbredningsdelen i Cnossos-EU, som handlar om steget att gå från källans ljudeffekt till ljudtryck i mottagarpunkt, har legat utanför uppdragets avgränsning.

Som visats i exemplen för fordonen X31 och X50 bedöms det vara möjligt att med hjälp av Cnossos inbyggda standardparametrar få ljudeffekter i dB(A)-nivå som stämmer väl överens med de ljudeffekter som fås med de dedikerade fordonstransferfunktionerna som tagits fram i [1].

Att i så stor utsträckning som möjligt använda källparametrar som bygger på enkelt mätbara konstruktionsegenskaper (t.ex. hjuldiameter, axellast) och en mer enhetlig hjul-ojämnhet för liknande fordonstyper (t.ex. elektriska motorvagnar) är eftersträvarvärt. Resultatet av analysen i denna studie stärker uppfattningen att detta är möjligt.

Avsikten med uppsättningen parametrar som tagits fram för varje fordon i [1] är att transferfunktion, hjul-ojämnheter och kontaktfilter skall ses som en odelbar enhet som tillsammans ger en korrekt ljudeffekt. Det finns dock en viss risk att detta budskap inte når fram eller missförstås av alla framtida användare. Det vore på det viset bättre om det fanns en mer fysikalisk än matematisk bakgrund till parametrarna.

Standardfunktionerna har generellt mindre "taggiga" former på spektrumerna än de transferfunktioner som tagits fram i [1]. Speciellt i en situation där man använder uppmätt ytojämnheter för spåret kan man annars få oönskade effekter av att enstaka tersbandstoppar kan samverka och leda till orimliga påverkan av dBA-nivån.

En iakttagelse är att ljudeffektens hastighetsberoende för parametrarna i [1] ofta har en brantare lutning än för standardparametrarna som ligger nära den förväntade lutningen  $30\log(v)$  som är typiskt för rullningsljud. Orsaken till att lutningen skiljer beror troligtvis på att det finns en skillnad i transferfunktionernas lutning i det viktiga frekvensområdet 1000-2000 Hz (se Figur 7). Det är oklart om det finns någonting i utbredningsmetoden i Cnossos-EU som kompenserar för en brantare lutning på ljudeffektkurvan så att ljudtryckskurvans lutning blir den förväntade  $30\log(v)$ . Erfarenhet från program för rullningsljud (t.ex. TWINS) är dock att även ljudeffekten bör ligga med en lutning nära  $30\log(v)$ . Detta är en fråga som bör studeras ytterligare.

En annan iakttagelse är att den totala ljudeffekten framtagna med parametrarna i [1] generellt ligger ca 5 dB högre än för standardparametrarna. Orsaken till denna skillnad torde vara att fordonstransferfunktionerna ligger ca 5-10 dB högre än standardfunktionerna för frekvenser ovanför 1500 Hz, vilket framgår tydligt i Figur 7. Detta medför att fordonets ljudeffektbidrag kommer skilja sig åt ungefär lika mycket. Visserligen är det i Cnossos-EU inget krav att ha en korrekt fördelning av bidragen mellan spår och fordon men det finns en viss risk att fordonsbidraget är överskattat med parametrarna i [1]. Det ligger inte inom ramen för denna studie att avgöra vad som är "rätt" ljudeffekt men det är helt klart möjligt att med en enkel offset-parameter kompensera för denna skillnad. I exemplen för X31 och X50 demonstreras detta genom att lägga till en +5 dB offset på den totala ljudeffekten. Ett alternativ (och kanske bättre) vore att lägga på en offset direkt på fordonstransferfunktionen. Detta har inte hunnits med i den aktuella studien utan är ett tänkbart ämne för framtida arbete.

Många av fordonen i [1] är elektriska motorvagnståg som är snarlika ur konstruktionssynpunkt. Skillnader i transferfunktioner bör vara marginella mellan dem, vilket gör att mängden fordonstyper därmed skulle kunna reduceras avsevärt. Ett förslag ges nedan där samtliga "moderna" elmotorvagnståg sammanförts i en och samma kategori. Eventuellt kan man tänka sig att ha en kategori för "äldre" elmotorvagnståg (typiskt X11) och passagerarvagnar. Man kan även tänka sig att TSD-godkända fordon kategoriseras efter de definierade fordonstyperna i TSD (elmotorvagnar, dieselmotorvagnar, ellok, diesellok, personvagnar, godsvagnar).

Tabell 5. Förslag på lämpliga källparametrar för ett reducerat antal fordonstyper. Obs! till nedanstående standardfunktioner tillkommer en konstant offset på preliminärt +5 dB men som är föremål för fortsatt utredning

Typ	Transfer	Ytojämnhet hjul	Kontaktfilter	Traktion	Fordon
Äldre passagerartåg	3	5	5	-	X11, X2, PT
EMU	4	5	5	-	X31, X40, X50, X60, X74, ER1
DMU	3	5	5	-	Y31
GTE	3	5	7	-	
GTK	3	5	7	-	
X2L	3	5	7	9	
RC	6	3	7	9	
TMX	6	3	7	4	
T44	6	3	7	6	

## 11 Referenser

- [1] Svenska indata för beräkning av buller från spårbunden trafik enligt EU Direktiv 2015/966 (Cnossos-EU)
- [2] S Kephelopoulos, M Paviotti, F Anfosso-Lédée, Common Noise assessment methods in Europe (CNOSSOS-EU) - Report EUR 25379 EN, 2012
- [3] Extrium. Process applied to establish CNOSSOS-EU national method equivalence for rail source data. Report P053, Extrium, 2014.
- [4] Swierkoska, A. Rail roughness and track decay rates - measurement results. Teknisk rapport, VTI, 2019.
- [5] AEA Technology Rail BV: "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" (Deliverable 12 part 1 of the HARMONOISE project), Utrecht 2003