

SAMMANFATTNING

Rapporten innehåller en genomgång av historik och nuvarande status för Nord2000. Nu gällande rapporter, svenska källdata, samt tillgängliga mjukvaror redovisas. Utvecklingsbehov i närtid och på sikt diskuteras.

Det återstår en begränsad mängd arbete med att förbereda en bastillämpning av Nord2000 för svenska inhemska utredningar. Arbetet bör huvudsakligen kunna utföras under 2022 så att de tekniska förutsättningarna för att använda Nord2000 är tillgängliga tidigast 1 januari 2023. En förutsättning är att arbetet i huvudsak är begränsat till följande identifierade behov:

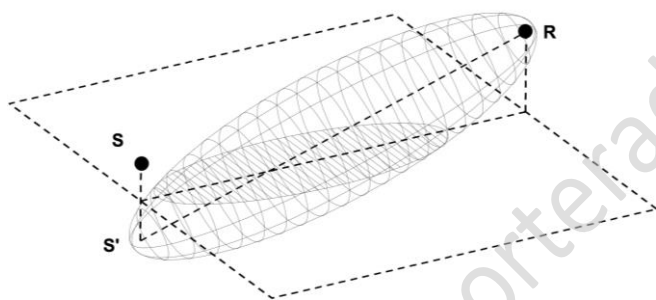
- Källdata för spårbuller finns i dagsläget inte för alla tågtyper, men nya indata kommer tas fram under 2022.
- Implementering av maximalnivå för vägtrafik i programvaran SoundPLAN pågår för närvarande, en betaversion finns framme.
- För att beräkna maximalnivå från vägtrafik behöver också standardavvikelser per fordonskategori tas fram.
- De problem med beräkning av maximalnivå från spårtrafik som rapporterats om är identifierade och ett fungerande alternativ finns. Det kvarstår ett behov av att förtydliga och eventuellt också förbättra metoden, men det bör kunna vänta.
- Avståndskorrektion för L_{AFmax} spårtrafik återstår att implementera.
- Anvisningar för användare (akustikkonsulter och andra) kommer behövas, en första version är under utarbetande.

En formell övergång till Nord2000 behöver föregås av informationsspridning till dem som berörs. Hur det ska gå till och hur mycket tid det erfordrar är inte slutgiltigt fastställt. En plan för övergången behöver tas fram, bl a för Trafikverket. För att Nord2000 ska kunna utgöra en rekommenderad metod erfordras även arbete med styrande regelverk hos t ex Transportstyrelsen. Sverige bör också delta i arbetet med att förvalta referensprogramvaran Compro, och Kunskapscentrum om buller föreslås ansvara för detta.

Andreas Gustafson och Anders Genell, VTI

Mikael Ögren, AMM, Sahlgrenska Universitetssjukhuset

Version 2022-12-21



STATUS NORD2000

Inventering av Nord2000 relativt svenska behov

Innehållsförteckning

1	Förord/Bakgrund	3
2	Historik	4
2.1	<i>Nord2000, ursprunglig version (publicerad 2001)</i>	<i>4</i>
2.2	<i>HARMONOISE</i>	<i>4</i>
2.3	<i>Nord2000 Road, även kallad Nord2005 (publicerad 2006).....</i>	<i>5</i>
2.4	<i>Förslag till Nordtestmetod (publicerad 2007–2018).....</i>	<i>6</i>
2.5	<i>Förenkling källmodell maximalnivå spårtrafik (2011)</i>	<i>6</i>
2.6	<i>Justerad källmodell spårtrafik (publicerad 2016)</i>	<i>6</i>
2.7	<i>Testfall (2005–2019)</i>	<i>6</i>
2.8	<i>Övrigt</i>	<i>6</i>
3	Nu gällande rapporter för utbredningsmodell och källmodeller.....	9
3.1	<i>Utbredningsmodell</i>	<i>9</i>
3.2	<i>Källmodell vägtrafik.....</i>	<i>9</i>
3.3	<i>Källmodell spårtrafik.....</i>	<i>9</i>
4	Nu gällande svenska källdata	9
4.1	<i>Källdata för vägtrafik.....</i>	<i>9</i>
4.2	<i>Källdata för spårtrafik.....</i>	<i>10</i>
5	Inventering mjukvaror	10
5.1	<i>SoundPLAN.....</i>	<i>10</i>
5.2	<i>CadnaA.....</i>	<i>11</i>
5.3	<i>Norstøy</i>	<i>11</i>
5.3.1	<i>KORT OM TRIONA OCH NVDB</i>	<i>14</i>
5.4	<i>SPL2000.....</i>	<i>14</i>
5.5	<i>N2kr-TC</i>	<i>15</i>
5.6	<i>Övrigt</i>	<i>15</i>
5.7	<i>DLL:er</i>	<i>16</i>
5.8	<i>MATLAB</i>	<i>16</i>
5.8.1	<i>REFERENSPROGRAMVARAN COMPRO</i>	<i>16</i>
5.8.2	<i>DN2000.....</i>	<i>16</i>
6	Diskussion utvecklingsbehov metod/indata.....	17
6.1	<i>Utbredningsmodell</i>	<i>17</i>

6.1.1	UTVECKLINGSBEHOV FÖR EN BASTILLÄMPNING	17
6.1.2	UTVECKLINGSBEHOV PÅ SIKT	18
6.2	<i>Källmodell vägtrafik</i>	19
6.3	<i>Källmodell spårtrafik</i>	20
6.3.1	MAXIMALNIVÅ	20
6.3.2	KÄLLMODELL, ÖVRIGT	27
7	Handböcker för Nord2000	31
8	Andra anvisningar för Nord2000	31
9	Rekommendation om tidplan	31
10	Referenser	32

1 Förord/Bakgrund

Till skillnad från de nordiska beräkningsmetoderna för buller från väg- och spårtrafik från 1996 som redovisas komplett i var sin relativt kompakt rapport, finns det mycket skrivet om Nord2000, i många olika rapporter, och utvecklingen har inte alltid skett med gemensamma nordiska insatser. Avsikten med den här rapporten är att sammanfatta nuvarande status av metoden och tillhörande källdata, i vilken utsträckning som Nord2000 blivit implementerad i mjukvaror, samt diskutera framtida utvecklingsbehov och när en ”bastillämpning” av Nord2000 kan finnas framme.

Med bastillämpning avses här att Nord2000 används med nuvarande källmodeller, och med oförändrade riktvärden och därtill hörande förutsättningar (se [65], del 2, avsnitt 1).

Inventeringens fokus har lagts på beräkning av konventionellt trafikbuller, men det går också utmärkt att använda Nord2000 utan sina trafikkällmodeller till beräkning av buller från industrier m m. Exempelvis är Nord2000 en etablerad metod för utvärdering av buller från vindkraftverk samt för beräkning av ljud från utomhuskonserter. De svenska utredningarna av höghastighetsjärnvägar genomförs med Nord2000 i kombination med särskilda källdata. Nord2000 ingår också i norska Milstøy som är en programvara för utvärdering av ljud från skjutfält. God noggrannhet i kombination med låg beräkningsbörda (jämfört med Boundary Element Method, Linearized Euler, Paraboliska Ekvationer och andra referensberäkningsmetoder) har även medfört att Nord2000 ofta används i forskning och vid olika typer av utvärdering av mätningar.

2 Historik

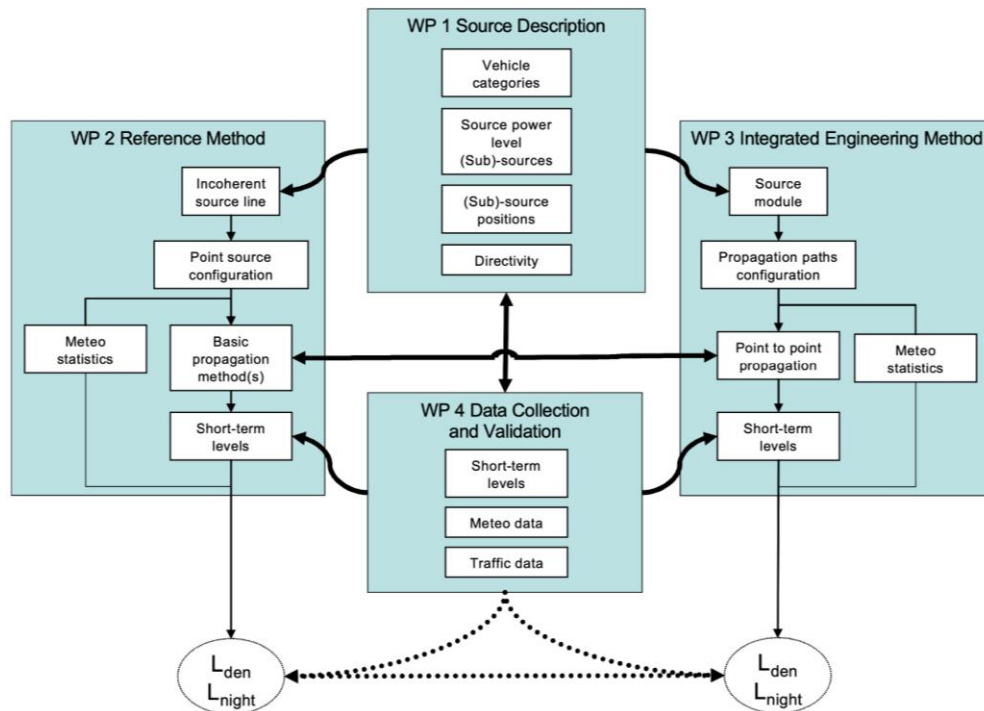
Här ges en kort sammanfattning av de huvudsakliga utvecklingsprojekt som lett fram till nuvarande version av Nord2000 (utbredningsmodell och källmodeller för väg- respektive spårtrafik). I Tabell 1 finns en sammanställning av projektleveranserna.

2.1 Nord2000, ursprunglig version (publicerad 2001)

1996 beslutade Nordiska ministerrådet om utveckling av en ny generation ingenjörberäkningsmetoder för omgivningsbuller som skulle baseras på den vetenskapliga utveckling som skett sedan de första nordiska metoderna publicerades på 1970- och 1980-talen. En förutsättning för att kunna tillämpa sådan modern ljudutbredningsteori är att emission och ljudutbredning separeras och att källorna är punktkällor. Det bestämdes därför att beräkningsmetoden ska ha en allmängiltig utbredningsmodell som kombineras med källspecifika emissionsmodeller vilka är uppbyggda med kombinationer av punktkällor. Vidare sattes som mål att den ska inkludera algoritmer som hanterar alla kombinationer av terrängprofil och markslag (akustisk impedans), att det ska vara möjligt att ta hänsyn till olika okomplicerade vädersituationer, samt att metoden ska ha god noggrannhet på avstånd upp till 1000 m och acceptabel noggrannhet på avstånd mellan 1000–3000 m [1][2]. Den första versionen av Nord2000 utvecklades 1996–2001 i huvudsak av danska DELTA, norska SINTEF och svenska SP i ett projekt där största finansiär var Nordiska Ministerrådet (finländska VTT var med om att ta fram emissionsdata för vägtrafikbuller). Andra finansiärer var nordiska väg-, ban-, och miljömyndigheter (från Sverige dåvarande Vägverket och Banverket). Projektresultaten redovisas i en sammanfattande rapport [3], två rapporter som beskriver utbredningsmodellen [4][5], två rapporter som beskriver källmodellerna för väg- respektive spårtrafik [6][7], samt en demoprogramvara [8].

2.2 HARMONOISE

Även om EU-forskningsprojektet HARMONOISE (2001–2004, budget 5 miljoner Euro, 20 deltagande organisationer [9]) inte handlade om Nord2000 utan om att ta fram en gemensam europeisk beräkningsmetod för väg- och spårbuller, kom projektet även att innebära en skjuts framåt för utvecklingen av Nord2000. Flera nyckelpersoner bakom utvecklingen av Nord2000 deltog, och prestanda och idéer hos Nord2000 rannsakades under hela projektets gång. Två beräkningsmetoder utvecklades, en referensmetod för högsta uppnåeliga noggrannhet oavsett beräkningsbörda, samt en snabbare och smidigare ingenjörsmetod, där utbredningsmodellen hos den senare blev mycket lik den i Nord2000. Nya rön som framkom under projektet togs tillvara och arbetades in i Nord2000, till stor del i samband med det efterföljande projektet Nord2000 Road (se nedan). Nord2000 drog även nytta av det omfattande valideringsarbete som gjordes i HARMONOISE, mot referensberäkningsmetoder [11] och mätkampanjer, vilka senare inkluderades i en uppdaterad, omfattande valideringsrapport för Nord2000 [20]. Även resultat från det efterföljande EU-projektet IMAGINE (2003–2006, budget 4,5 miljoner Euro, 27 deltagande organisationer [10]) har utgjort underlag för Nord2000.



Figur 1. HARMONOISE projektorganisation i fyra tekniska "work packages" [9].

2.3 Nord2000 Road, även kallad Nord2005 (publicerad 2006)

2005–2006 genomfördes projektet Nord2000 Road som finansierades av de nordiska vägmyndigheterna, och som resulterade i en relativt stor revidering av den ursprungliga versionen från 2001, bl a mot bakgrund av erfarenheter från utvecklingsarbete inom EU-projekten HARMONOISE (2001–2004) och IMAGINE (2003–2006). Projektet fokuserade på vägtrafik och inga uppdateringar gjordes av källmodellen för spårtrafik.

Utbredningsmodellen förbättrades på en rad punkter och validerades mot ett betydande antal mätningar och referensberäkningar [20]. Den ursprungliga versionen av källmodellen för vägtrafik ersattes med den som utvecklats inom HARMONOISE (med anpassningar till nordiska källdata) och källdata för vägtrafik uppdaterades [15]. Väderstatistik för några olika platser i Danmark, Norge, Finland och Sverige¹ samlades in och bearbetades för att kunna användas med Nord2000.

En användarhandbok togs fram med en översiktlig genomgång av metodens uppbyggnad och hur den används, tillsammans med rekommendationer angående val av underlag och parametrar, och med schablondata som kan användas om underlag saknas [14]. Ett stort antal förberäknade resultat från olika utbrednings- och trafikvarianter för 30 typfall samlades i typfallsprogramvaran N2KR-TC [22].

I övrigt är projektresultaten sammanfattade i reviderade versioner av de två ursprungliga utbredningsrapporterna [17][18], tillsammans med en rapport som beskriver alla ändringar av utbredningsmodellen sedan 2001 [19], en rapport som redovisar valideringen av utbredningsmodellen [20], en rapport med beskrivning av den uppdaterade källmodellen för vägtrafik [15], samt en rapport som behandlar hantering av väderstatistik [21].

¹ SMHI:s dåtida användarvillkor medgav inte publicering av bearbetade data, varför de svenska meteorologiska inparametrarna för Nord2000 aldrig redovisades i någon rapport. En uppsättning parametrar för Stockholm-Bromma 1988–1997 ingår dock som underlag i typfallsprogramvaran N2KR-TC från Sintef och finns även tillgänglig för användning i beräkningsprogrammet SoundPLAN.

2.4 Förslag till Nordtestmetod (publicerad 2007–2018)

2007 publicerades en sammanfattande rapport för utbredningsmodellen. Den är skriven som ett förslag till Nordtestmetod och arbetet gjordes på uppdrag av Nordic Innovation Centre. Den skiljer sig från de tidigare rapporterna i det att den knyter an till den implementering av metoden i beräkningsmjukvaran MATLAB från MathWorks² som tagits fram och använts under utvecklingsarbetet. I gengäld är de generella beskrivningarna inte lika omfattande som i de båda tidigare rapporterna över utbredningsmodellen, och delar av mer informell karaktär som inte direkt berör de algoritmer som implementeras i programvaror har utelämnats. Efter den första rapportversionen har fyra revideringar publicerats med mindre justeringar, där den senaste kom 2014 [23]. Ytterligare justeringar och tillägg togs fram 2018 och publicerades 2019 i en rapport som hänvisar tillbaka till rapporten från 2014 och enbart beskriver vilka ändringar som gjorts sedan dess [24].

Det har också efterfrågats att slutföra arbetet med att göra Nord2000 till en Nordtestmetod, i dagsläget är rapporten ett utkast/förslag [34]. Här finns en möjlighet för Sverige att delta i arbetet.

2.5 Förenkling källmodell maximalnivå spårtrafik (2011)

I samband med att DELTA 2011 uppdaterade testfallen för validering av spårbulletberäkningar reviderades även metoden för beräkning av maximalnivå som förenklades på ett sätt som avsevärt snabbade upp beräkningarna, något som efterfrågats av danska användare. Dessvärre introducerade förenklingen oförutsedda problem att hantera vissa speciella, men viktiga och inte ovanliga, utbredningsförhållanden som inte omfattades av testfallen, se även avsnitt 2.6. Förenklingen beskrivs i [25].

2.6 Justerad källmodell spårtrafik (publicerad 2016)

2016 publicerades en ändring av källmodellen för spårtrafik som åtgärdar att beräkningen av maximalnivåer med den förenklade metoden inte fungerade som tänkt vid tillämpning av spårkorrektion för växlar, spårkorsningar etc [25]. Även om justeringen löser hanteringen av sådana spårkorrektioner, kvarstår fortfarande ovan nämnda problem när den förenklade avsökningsmetoden för maximalnivå används i mer komplexa, men inte ovanliga, situationer [26]. I programmet SoundPLAN går det att göra maximalnivåberäkningar utan förenklingen då även den ursprungliga iterationsmetoden från 2001 finns tillgänglig, se avsnitt 3.3 *Källmodell spårtrafik* nedan.

2.7 Testfall (2005–2019)

Ett antal olika testfall avsedda för verifiering av en implementering i programvara finns specificerade. Testfallen redovisas med korrekta beräkningsresultat samt toleranser för hur stora avvikelser som kan accepteras. De utgör ett viktigt komplement som behöver väljas och utformas med stor omsorg så att de omfattar alla relevanta parametrar av beräkningsmetoden.

De första versionerna av testfall för väg- respektive spårtrafik publicerades 2005 och de har därefter reviderats vid ett par tillfällen. Den senaste versionen för spårtrafik är från 2018 [29], och den senaste för vägtrafik är från 2019 [30]. Det är normalt att testfallen revideras i samband med att metoden genomgår förändringar. Andra skäl kan vara att det framkommer behov av kompletterande testfall, att fel upptäcks i texten, eller att fel påträffas i den programvara som använts för att utforma testfallen.

2.8 Övrigt

Nord2000 har blivit en etablerad metod för beräkning av buller från vindkraftverk (rekommenderas av Naturvårdsverket [31]). Ett flertal verifierings- och utvecklingsarbeten har gjorts (t ex [32][33]), nu senast

² Compro, se avsnitt 5.8.1.

som en del i danska forskningsprojektet DecoWind som genomförs av DTU, FORCE Technology, Siemens och EMD.

I Trafikverkets utredningar om höghastighetståg beräknas buller från spår och väg med Nord2000 [35]. Metoden att beräkna buller från höghastighetståg kommer från [38] och [39], som använder utbredningsmodellen i Nord2000 tillsammans med en redovisning av källdata för höghastighetståg. Istället för Nord2000:s vanliga källmodell används dataset för olika diskreta hastigheter för respektive delkälla (räl, hjul-boogie och strömvtagare). Se även avsnitt 4.2.

Nord2000 används även för att beräkna ljudspridning från utomhuskonserter [40] och ingår i norska programmet Milstøy för att beräkna buller från skjutfält [41].

Slutrapporterad till uppdragsgivare
Inväntar publicering

#	Leverans	Projekt eller finansiär	År	Gäller	Kommentar
#1	Summary Report. General Nordic Sound Propagation Model and Applications in Source-Related Prediction Methods. [3]	Nord2000	2002		Bra översiktlig genomgång, men inaktuell då vissa delar har ändrats sedan dess (t ex källmodell väg).
#2	Comprehensive Outdoor Sound Propagation Model.	Nord2000	2001		Ersatt av #8.
	Part 1: Propagation in an Atmosphere without Significant Refraction [4]				
#3	Comprehensive Outdoor Sound Propagation Model.	Nord2000	2001		Ersatt av #9.
	Part 2: Propagation in an Atmosphere with Refraction [5]				
#4	Nord 2000. New Nordic Prediction Method for Road Traffic Noise [6]	Nord2000	2001		Ersatt av #11.
#5	Nord 2000. New Nordic Prediction Method for Rail Traffic Noise [7]	Nord2000	2001	X	Metod för beräkning Lmax reviderad i #16.
#6	Demo software for calculating road and rail noise acc to Nord2000 [8]	Nord2000	2001		
#7	User's guide Nord2000 Road [14]	Nord2000 Road	2006		
#8	Comprehensive Outdoor Sound Propagation Model. Part 1: Propagation in an Atmosphere without Significant Refraction (revised) [17]	Nord2000 Road	2006		
#9	Comprehensive Outdoor Sound Propagation Model.	Nord2000 Road	2006		
	Part 2: Propagation in an Atmosphere with Refraction (revised) [18]				
#10	Changes in the Nord2000 propagation model since year 2001 [19]	Nord2000 Road	2006		
#11	Acoustic Source Modelling of Nordic Road Vehicles [15]	Nord2000 Road	2006	X	
#12	Weather classes and statistics [21]	Nord2000 Road	2006		
#13	N2kR-TC – typfallsprogramvara [22]	Nord2000 Road	2006		Går att ladda ned från www.sintef.no/n2kr
#14	Validation of the Propagation Model [20]	Nord2000 Road	2006		
#15	Proposal for Nordtest method: Nord2000 – Prediction of outdoor sound propagation, revised 2014 [23]	Nordic Innovation Centre	2014	X	Utbredningsmodellens algoritmer. Utgör tillsammans med ändringarna från 2019 (#17) senaste versionen.
#16	Revision af kildemodell ved anvendelse af Nord2000 til beregning af maksimalværdi fra jernbaner [25]	Miljøstyrelsen	2016	(X)	Förbättrad beskrivning hur inkludering av spårkorrektioner ska göras vid beräkning av Lmax med förenklad metod (används ej i Sverige).
#17	Nord2000 – Prediction of Outdoor Sound Propagation. Amendments to Report AV1106/07 revised 2014 [24]	Vejdirektoratet	2019	X	Tillägg och korrigeringar till #15.
#18	Test Cases for Railway Noise – Nord2000 [29]	Miljøstyrelsen	2018	X	Inklusive två excelblad.
#19	Test Cases for Road Traffic Noise – Nord2000 [30]	Miljøstyrelsen	2019	X	Inklusive fyra excelblad.

Tabell 1. Huvudsakliga projektleveranser i Nord2000 utvecklingsprojekt samt aktuella testfall för väg- och spårtrafik. Nu gällande rapporter för utbredningsmodell och källmodeller markerade med X.

3 Nu gällande rapporter för utbredningsmodell och källmodeller

3.1 Utbredningsmodell

Den senaste versionen av utbredningsmodellens algoritmer redovisas i rapporten *Proposal for Nordtest method: Nord2000 – Prediction of outdoor sound propagation* från 2014 [23], tillsammans med ändringar och tillägg enligt rapporten *Nord2000 – Prediction of Outdoor Sound Propagation. Amendments to Report AV1106/07 revised 2014* som publicerades 2019 [24]. Beskrivningen är komplett så till vida att den innehåller allt för implementering av utbredningsmodellen i beräkningsprogramvara.

De två föregående utbredningsrapporterna som publicerades 2006 [17][18] kompletterar med utförligare förklaringar av metoden som underlättar för förståelsen, men deras beskrivning av algoritmerna för att beräkna utbredningen utgör inte senaste version. Värt att notera är att avsnitt 4.8 *Special screens* i [17], som beskriver en metod för att hantera effekten av olika typer av skärmkrön, inte har blivit implementerad i någon programvara. Den har inte heller inkluderats i de efterföljande, nu gällande rapporterna, men skulle kunna bli aktuell att ta upp för tillämpning ifall sådana åtgärder blir mer använda i framtiden.

3.2 Källmodell vägtrafik

Senaste version av källmodellen för vägtrafik beskrivs i rapporten *Acoustic Source Modelling of Nordic Road Vehicles* från 2006 [15]. Gällande version av testfall för vägtrafik publicerades 2019 [30].

3.3 Källmodell spårtrafik

Nu gällande källmodell för spårtrafik redovisas i *Nord 2000. New Nordic Prediction Method for Rail Traffic Noise* från 2001 [7], dock med ändringar för beräkning av maximalnivå enligt *Revision of kildemodell ved anvendelse af Nord2000 til beregning af maksimalværdi fra jernbaner* från 2016 [25], som förtydligar hur spårkorrektioner ska inkluderas.

Därutöver gjordes en relativt långtgående förenkling av källmodellens metod för att beräkna maximalnivå i samband med en översyn av testfallen som gjordes 2011. Istället för att iterera fram den tågposition som ger högst maxnivå görs enbart beräkning för den närmsta positionen. Ändringen som beskrivs i [25] ledde till en betydande minskning av beräkningstiden vilket efterfrågats av de danska användarna, men den introducerade dessvärre också nya problem att beräkna vissa lite mer komplexa men vanligt förekommande situationer, se avsnitt 6.3.1.1. Danska myndigheter och konsulter är medvetna om detta [26], men eftersom maxnivån inte har lika stor betydelse i Danmark som i Sverige (används vid planering i tidiga skeden som en metod för att identifiera behov av bullerskydd, men åtgärder dimensioneras inte mot maxnivå) har man hittills inte prioriterat utveckling av en förbättrad algoritm.

Den senaste versionen av testfall för spårtrafik publicerades 2018 [29].

4 Nu gällande svenska källdata

4.1 Källdata för vägtrafik

Senaste svenska källdata för vägtrafik mättes upp under en mindre mätkampanj med åtta mätplatser 2015 och återges i rapporten *Uppdaterade beräkningsmodeller för vägtrafikbuller* från 2015 [16]. Resultaten är redovisade som korrekationer till de svenska källdata som togs fram i projektet Nord2000 Road och som redovisas i rapporten *Acoustic Source Modelling of Nordic Road Vehicles* från 2006 [15].

4.2 Källdata för spårtrafik

De i dagsläget gällande svenska källdata för spårtrafik utom höghastighetståg har tagits fram under ett flertal oberoende mätkampanjer. I den ursprungliga källrapporten *Nord 2000. New Nordic Prediction Method for Rail Traffic Noise* från 2001 [7] redovisas emissioner för samma tåg som i den äldre beräkningsmetoden som reviderades 1996 (Nord96 spår) [42]. De är baserade på samma data som mättes upp 1993 [43], dock med mindre justeringar som inte bedömdes signifikant påverka A-vägda ljudnivåer utomhus. Därefter har emissionsdata för Nord2000 till ytterligare två tågtyper, X40 och X60, och även de göteborgska spårvagnarna M29, M31 och M32, mätts upp i separata mätkampanjer [44][45][46]. Det gjordes en mätkampanj 2004 som omfattar tågtyperna X31/32, X52/53 och Y31/32 [47], men vid detta tillfälle togs emissionsparametrar enbart fram för Nord96 spår. Därutöver finns även källdata för norska och danska tåg.

En omfattande svensk mätkampanj av tågtrafik har nyligen slutförts [48]. Utvärdering av resultaten i syfte att ta fram emissionsdata till nuvarande källmodell för Nord2000, tänkta för en bastillämpning av Nord2000 (undantaget höghastighetståg), är planerad att utföras under 2022.

Trafikverket lät SP (numera RISE) utreda hur buller från höghastighetsjärnvägar ska beräknas i Sverige [36][37][38]. Utredningen rekommenderade Nord2000 för utbredningsberäkningarna, men kom också fram till att nuvarande källmodell i Nord2000 inte skulle fungera tillfredsställande för höghastighetståg då delkällorna har olika hastighetsberoende, olika spektrum, och olika direktivitet. Befintlig källmodell i Nord2000 är begränsad till ett hastighetsberoende och ett spektrum, samt en horisontell men ingen vertikal direktivitet. Maxnivå från pantograf har också ett annat avståndsberoende än resten av tåget som inte heller kan hanteras av den befintliga källmodellen i Nord2000.

Källdata för höghastighetståg avsedda att användas vid beräkningar har tagits fram, men ljudemissionen anges inte med en uppsättning a- och b-parametrar enligt upplägget i Nord2000:s källmodell, utan redovisas som ljudeffektnivå per meter, separat för tågets olika ljudkällor, vid diskreta hastigheter. Då det saknas en fullständig källmodell som kan översätta godtycklig tåghastighet till ljudemission, får beräkningar göras vid de hastigheter som det finns emissionsdata för. I Trafikverkets bullerutredningar för höghastighetståg används en särskilt utarbetad anpassning där höghastighetstågens olika delkällor delas upp i tre separata delar som modelleras som tre separata tåg med hjälp av befintlig källmodell för spårtrafik i Nord2000 [35]. I utredningarna används de två hastigheterna 250 och 320 km/h med data för ballasterat och ballastfritt spår. Till metodens emissioner läggs korrektioner bestämda av Trafikverket 2016 [39].

5 Inventering mjukvaror

Här redovisas Nord2000-implementeringar i olika mjukvaror. Det är de som författarna känner till i dagsläget, men det kan finnas fler.

5.1 SoundPLAN

SoundPLAN [49] var tidigt ute med att implementera Nord2000 och redan 2003 kom den första versionen. Det är också den programvara som har den mest kompletta implementeringen, som omfattar så gott som samtliga delar av Nord2000, utbredningsmodell och källmodeller för väg- och spårtrafik, tillsammans med alla erforderliga stödfunktioner för olika typer av källdata och olika väderleksförhållanden, samt särskild hantering av ljud utomhuskonserter. Utbredningsmodellen är implementerad i enlighet med rapporten från 2014 [23] inklusive ändringarna från 2019 [24], dock med undantag för vertikal diffraktion³ som har

³ Diffraktion runt vertikala kanter, som t ex kan uppstå där en bullerskärm upphör, eller runt byggnadshörn. Till skillnad från horisontell diffraktion som t ex förekommer över skärmkrön.

liten betydelse för väg- och spårtrafikkällor och tills vidare har utelämnats. Vertikal diffraktion bör dock implementeras om även industribullerberäkningar ska göras med Nord2000.

Maximalnivå från spårtrafik kan beräknas med det ursprungliga upplägg som itererar tågpositionen [7], samt med den förenklade metod som utarbetades i samband med att DELTA reviderade testfallen 2011 [25], där den senare inte fungerar tillfredsställande i vissa situationer. En annan notering angående maximalnivå från spårtrafik är att den i dagsläget enbart är implementerad för tidsvägning S (egentligen medelmaximalnivå) som tillämpas i danska riktvärden. För svensk del behöver även korrektionen för tidsvägning F implementeras, då den ingår i svenska riktvärden och används i utredningar med Nord96 spår.

Implementationen av Nord2000 i SoundPLAN har kontinuerligt verifierats mot de officiella testfallen för väg- och spårtrafik, och uppfyller ställda kvalitetskrav.

Vad gäller maximalnivå från vägtrafik pågår implementering för närvarande och en betaversion finns framme. Det går att beräkna maxnivå med betaversionen men implementeringen är inte verifierad mot de officiella testfallen.

5.2 CadnaA

I CadnaA [50] finns i dagsläget utbredningsmodellen implementerad, men inte källmodellerna för väg- och spårtrafik. DataKustik som utvecklar CadnaA har inte själva programmerat in beräkningsalgoritmerna utan implementeringen använder samma DLL⁴ som ingår i NorStøy. DLL:en, som är programmerad av SINTEF, ägs av norska Statens vegvesen som licensierar ut den till DataKustik. På samma sätt som i NorStøy är Nord2000 i CadnaA implementerad enligt rapporten från 2014 [23], men exklusive de ändringar och justeringar som publicerades 2019 [24], se även avsnitt 5.3 nedan.

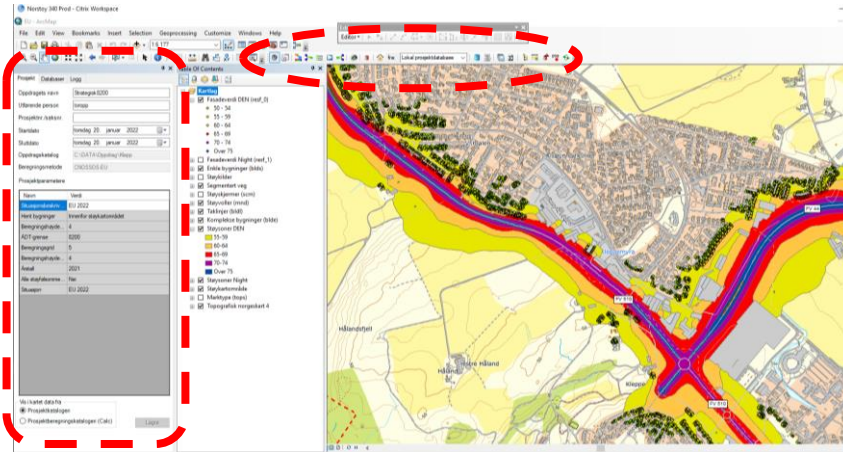
De senaste åren har DataKustik bevakat hur användandet av Nord2000 utvecklar sig i olika länder, och har baserat på det fört interna diskussioner om möjligheten att investera mer i Nord2000, såsom att eventuellt själva programmera utbredningsmodellen från grunden, samt att inkludera trafikkällor, inledningsvis då vägtrafik. Andra projekt har emellertid hittills prioriterats högre, som exempelvis CNOSSOS-EU, och ännu har DataKustik inte tagit något slutgiltigt beslut om att vidareutveckla Nord2000 eller när det kommer att ske. Man har dock inlett ett arbete med att närmare specificera tillvägagångssätt och omfattning för en mer komplett implementering som även omfattar trafik [51].

5.3 Norstøy

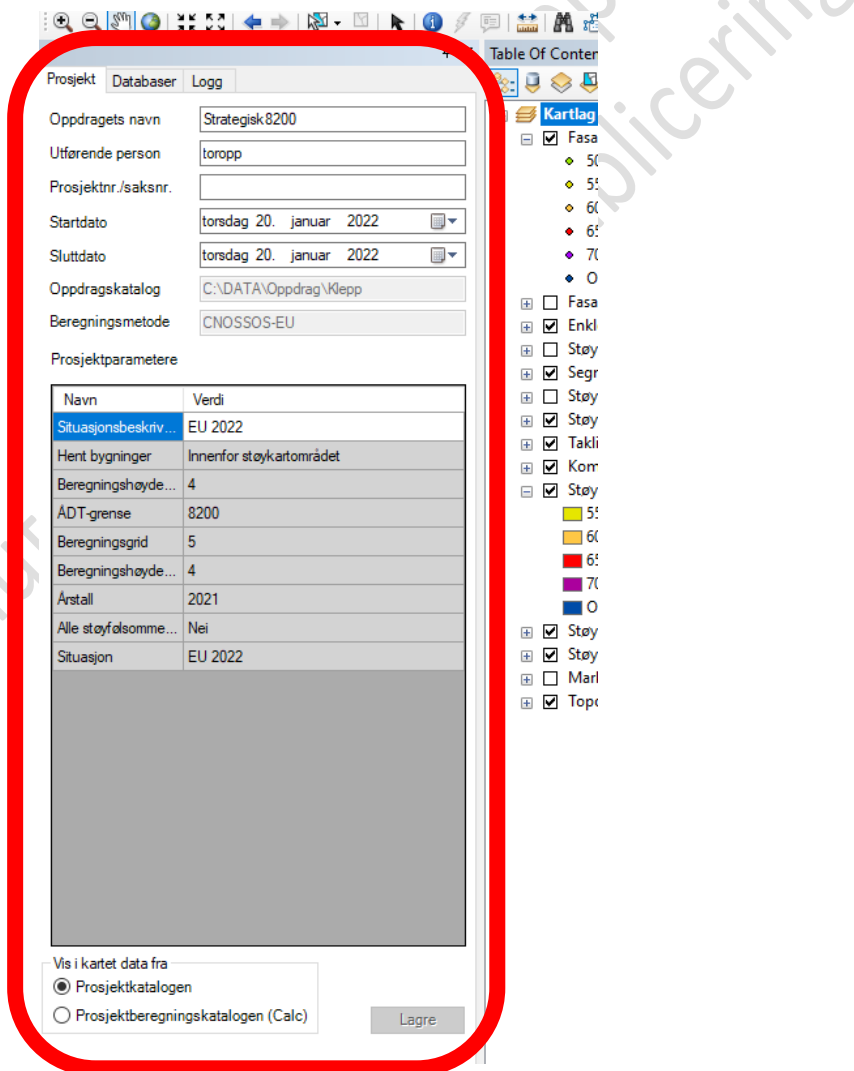
Nord2000 för vägtrafik finns också implementerad i norska NorStøy [52] som har utvecklats och programmerats av forskningsinstitutet SINTEF (ljudberäkningarna) och svenska IT-företaget Triona (GIS-delen).

NorStøy är inte en fristående mjukvara, utan är programmerad som en klientapplikation för programmet ArcGIS (körs även i ArcMap). Det är inte kommersiellt tillgängligt, ägare och ensam användare är Statens vegvesen. Statens vegvesen kan dock vara öppna för ett samarbete om NorStøy med Trafikverket.

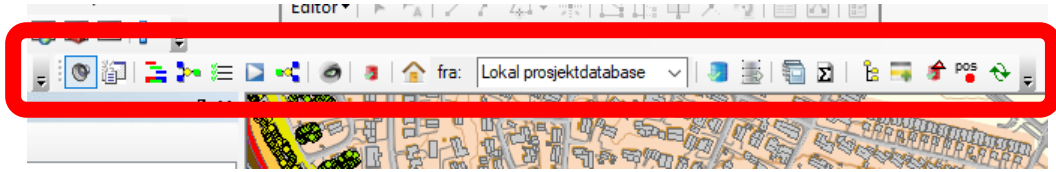
⁴ Dynamic-link library, ett bibliotek med funktioner som kan inkluderas i program, som programkod, data m m. DLL:en är en fil som är tillgänglig för olika program att anropa.



Figur 2. NorStøy i ArcMap. De båda inringade delarna, flikarna till vänster och verktygsfältet ovanför kartan, hör till NorStøy-modulen. Se även Figur 3–Figur 4.



Figur 3. Flikfältet i NorStøy-modulen (rødmarkert), inzoomat från Figur 2.



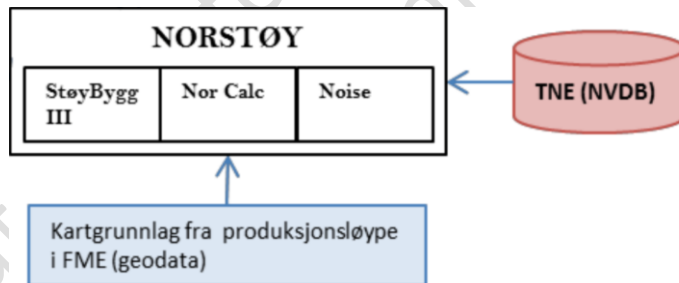
Figur 4. Verktygsfältet i NorStøy-modulen (rödmarkerat), inzoomat från Figur 2.

Det går att beräkna ekvivalenta och maximala bullerkonturer och fasadnivåer. Resultat kan redovisas i kartor, och det går också att använda inbyggda funktioner för att automatiskt sammanställa resultat i rapporter.

Statens vegvesen använder NorStøy för de två kartläggningar som de är ålagda att göra enligt Forurensningsloven: EU-kartläggning och kartläggning av inomhusnivåer. NorStøy används inte till planering eller projektering [52][54].

Sedan 2007 används NorStøy för kartläggning av vägtrafikbuller i enlighet med EU-direktiv 2002/49/EC. NorStøy kan utvärdera den statistik som efterfrågas vid EU-kartläggning, som t ex antal boende över vissa nivåer, och det finns en färdig rapportfunktion för automatisk sammanställning och redovisning samtliga resultat som EU efterfrågar.

År 2017 började NorStøy också användas för att i samtliga kommuner identifiera bostäder där prognosticerad trafikbullernivå inomhus från riks- och länsvägar riskerar överskrida gällande norska gränsvärden. För kartläggningen används NorStøys modul StøyBygg som beräknar ljudnivå inomhus baserat på beräknad nivå utomhus och byggnadsuppgifter [55]. (StøyBygg går även att köra som fristående programvara som går att ladda ned fritt från SINTEF:s hemsida⁵.)



Figur 5. Uppbyggnad av NorStøy, med moduler för beräkning av buller utomhus (NorCalc), beräkning av buller inomhus från nivå utomhus (StøyBygg III), och ett användargränssnitt för import och export av data (Noise). Indata till externbullerberäkningarna hanteras med TNE (sammanställning av vägtrafikdata från NVDB) respektive FME (sammanställning av övriga geodata). Från [55].

Externbullerberäkningarna har fram till nu gjorts med Nord2000 i modulen NorCalc. Rent praktiskt är algoritmerna för utbredningsberäkningarna samlade i en DLL-fil⁴ som heter prop2p.dll, medan källmodellerna ligger direkt i NorCalc. NorCalc är ett sk API⁶ som är tillgängligt som en separat sk tjänst i Windows, vilken kan anropas från andra program. NorCalc utgör samtidigt ett gränssnitt mot DLL:en. Implementationen av utbredningsmodellen i Nord2000 är gjord i enlighet med rapporten från 2014 [23],

⁵ www.sintef.no/stoybygg

⁶ Application Program Interface.

men ändringarna som publicerades 2019 [24] är i dagsläget inte inkluderade [56]. Implementeringen är testad för tusentals fall mot matlabkoden Compro [56], se avsnitt 5.8.1.

Inställningar för avsökningsalgoritm (antal reflexer m m) och väderförhållanden har fasta värden som inte kan ändras av användaren. De och övriga beräkningsförutsättningar redovisas i den norska handboken för Nord2000 Road [57]. Utöver de metoder för att korta ned beräkningstiderna som redovisas i handboken, används nordiska industribullermetoden för snabba testberäkningar som avgör var det är relevant att göra en Nord2000-beräkning eller ej [56].

Ett arbete med att implementera CNOSSOS-EU i NorStøy påbörjades 2021 för att användas till EU-kartläggningen 2022. Parallellt med att CNOSSOS-EU implementeras kommer SINTEF även implementera Nord2000:s källmodell för spårbuller [56].

Statens vegvesen använder Trionas produkt, mjukvaran TNE (där TNE står för Transport Network Engine), för att göra sk segmentering, dvs att extrahera och sammanställa den väginformation i NVDB som behövs för att köra NorStøy, som vägbredd, hastigheter, antal fordon m m. Resultatet är ett dataset, en tabell, som täcker hela riket. Vid en bullerberäkning hämtas de rader i tabellen som avser det aktuella geografiska beräkningsområdet, t ex en kommun.

Övrigt erforderligt underlag, terräng, byggnader, skärmar m m, sammanställs av Statens vegvesens geodatasektion till en FME⁷-modell. Att sammanställa FME-modellen är sannolikt det mest krävande arbetet, som dock underlättas av att Norge har en gemensam kartdatabas för hela landet. [52][54][58][59][60]

Beräkningarna kör Statens vegvesen på sina egna datorer. Det går att granska och justera underlaget innan man markerar ett område och startar en beräkning. Beräkningen körs distribuerat på många processorkärnor för att reducera beräkningstiden. Vid senaste tillfället användes t ex 48 kärnor, vilket är ett typiskt antal. Det, tillsammans med de ovan nämnda åtgärderna på beräkningsalgoritmerna som SINTEF gjort för att minska beräkningsbördan, gör att beräkningstiderna blir måttliga. Exempelvis tog det bara ca 1 vecka att beräkna hela Trondheims kommun (yta 341 km², ca 190 000 invånare) vid det senaste tillfället 2017. Beräkningen innehöll samtliga riks-, läns- och kommunala vägar. Det fungerar bra att köra en stad av Trondheims storlek i en enskild beräkning, medan större städer, som Oslo, behöver delas upp i delområden som beräknas var för sig [54]

5.3.1 Kort om Triona och NVDB

Triona AB är ett svenskt IT-företag som från början deltagit i arbetet med utveckling och underhåll av både den svenska och den norska vägdatabasen (som båda förkortas NVDB). Databaserna är rikstäckande och har i grunden stora likheter. De har båda en datakatalog med metadatamodell som gör det enkelt att registrera nya företeelsetyper, och vägnätet hänger ihop med länkar och noder och identiteter. En skillnad är att norska NVDB har olika detaljeringsnivåer vilket inte återfinns i den svenska. I svenska NVDB representeras exempelvis en E-väg som har två filer i vardera riktningen med två länkar och inget mer. Samma återfinns även i norska NVDB, men där finns även en mindre detaljerad nivå som bara har en länk, och en körbanenivå med högre detaljeringsgrad. Generellt har norska NVDB mer av den sortens detaljer och finesser, medan den svenska har mer funktioner som stöder utbyte mellan kommuner, versionshantering, funktioner för att upptäcka konflikter, och felhantering [52].

5.4 SPL2000

SPL2000 släpptes 2016 och är en vidareutveckling av exSound2000 med uppdaterat användargränssnitt och förbättrade källmodeller [61]. Det går att beräkna väg-, spår- och industribuller i en punkt åt gången

⁷ FME (Feature Manipulation Engine) är en mjukvara för bearbetning av GIS-data.

för enkla bebyggelsefall och terrängprofiler. Hänsyn kan tas till olika meteorologiska förhållanden. Beräknade ljudnivåer presenteras som A-vägda värden, samt per oktav- eller tersband.

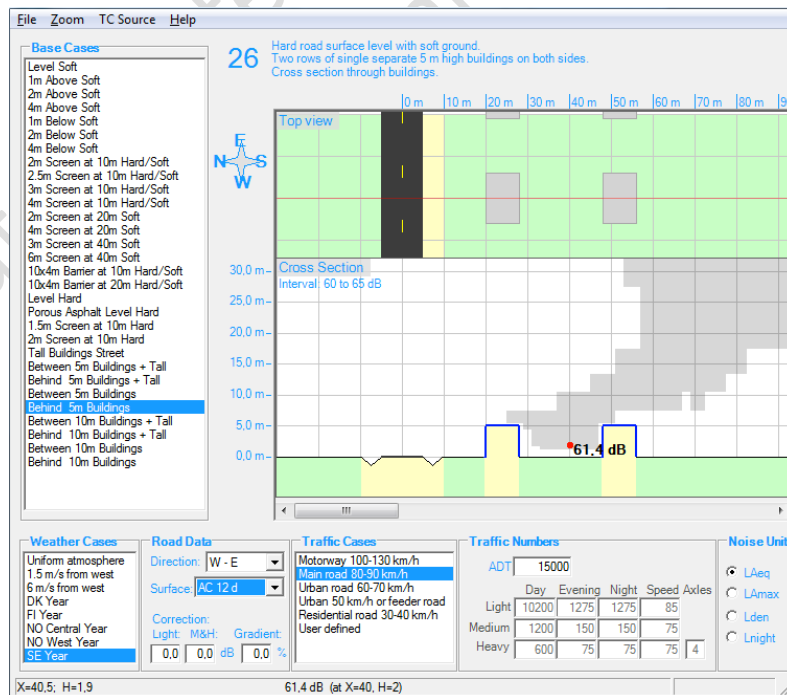
Programmet har dock flera begränsningar. Exempelvis förutsätts väg- respektive spårtrafik vara oändligt långa raka källor, vilka bara kan modelleras en i taget. Utbredningsmodellen inkluderar de vidareutvecklingar som gjordes 2006, men senare justeringar har inte tagits med. Källmodellen för vägtrafik är den ursprungliga från 2001 och omfattar inte de relativt stora ändringar som infördes 2006. Källmodellen för spårtrafik är den ursprungliga från 2001 och den förenklade varianten för beräkning av maximalnivå som kom 2011 saknas. Även andra delar av Nord2000 saknas i implementeringen.

Sammanfattningsvis är programmet inte anpassat för normalt konsultbruk och liknande. Utvecklarna anger också explicit att det behövs en grundlig förståelse för de underliggande principerna bakom Nord2000 när man använder programmet, och att det därför i första hand lämpar sig för forskning och annat vetenskapligt arbete.

5.5 N2kR-TC

N2kR-TC är en programvara för att studera typfall för buller från vägtrafik som togs fram av SINTEF under forskningsprojektet Nord2000 Road. Mjukvaran har uppdaterats ett par gånger sedan dess, men enbart i syfte att upprätthålla kompatibilitet med Windows, och de justeringar av Nord2000 som gjorts efter 2007 finns inte med. Den senaste versionen, 1.3, kom 2020 [22].

Programmet innehåller en databas med 1920 förberäknade typfall, som omfattar varierande bebyggelse (30 olika fall), trafik och väder, samt olika ljudmått. Det är enkelt att bilda sig en uppfattning om ljudnivån från vägtrafik utan att behöva utföra några beräkningar. N2kR-TC är gratis och kan laddas ned från www.sintef.no/n2kr.



Figur 6. Användargränssnitt hos typfallsprogrammet N2kR-TC.

5.6 Övrigt

Det vindkraftspecifika beräkningsprogrammet WindPRO [62] har implementerat Nord2000 som blivit en etablerad beräkningsmetod för utvärdering av buller från vindkraftverk. Ljudspridningsberäkningarna görs

med en DLL som utvecklats av FORCE Technology, se nedan. Eftersom beräkning av vindkraftsbuller inte kräver en särskild källmodell, utan använder utbredningsmodellen tillsammans med indata i form av ljudeffektnivåer för olika vindkraftverk, kan sådana beräkningar även göras med SoundPLAN. Det bör även vara möjligt med CadnaA (ej verifierat).

NoizCalc från tyska d & b Audiotechnik beräknar ljudspridning från PA-anläggningar vid utomhusevent. Ljudspridningen kan bl a beräknas med Nord2000 [40].

Norska Forsvarsbygg använder programmet Milstøy för att beräkna buller från skjutfält. Milstøy är utvecklat av norska Forsvarets forskningsinstitut (FFI) i samarbete med Norges geotekniske institutt (NGI) och SINTEF [41].

5.7 DLL:er

Danska FORCE Technology har utvecklat en DLL för utbredningsmodellen i Nord2000 som heter ComproABC.dll. Den är för närvarande uppe i version nr 22, och utgör en komplett implementering enligt rapporten från 2014 inklusive ändringarna som kom 2019. FORCE Technology licensierar ut den till företaget EMD som använder den för att beräkna ljudspridning från vindkraftverk i sitt program WindPRO.

Utbredningsmodellen finns även implementerad i en DLL som Norska SINTEF har utvecklat, prop2p.dll, vilken ingår som en del i programmet NorStøy. DLL:en ägs av Statens vegvesen som licensierar ut den till Datakustik för användning i programmet CadnaA. Utbredningsmodellen är implementerad i enlighet med rapporten från 2014 [23], men utan de senaste ändringarna som publicerades 2019 [24] [56].

5.8 MATLAB

5.8.1 Referensprogramvaran Compro

MATLAB är ett mjukvarupaket utvecklat av det amerikanska företaget MathWorks som används till alla former av avancerade beräkningar inom alla naturvetenskapliga discipliner. Nord2000 är implementerad i matlabkoden Compro som utvecklats i samband med de olika Nord2000-forskningsprojekten. Compro behöver köras i en matlablicens, och har ett spartanskt gränssnitt för att hantera tvådimensionella profiler av en geografisk plats.

Compro utgör en viktig referenskod, en "master", som uppdateras löpande i takt med utveckling och korrigeringar av Nord2000. Eftersom Compro har utvecklats under lång tid och av ett flertal personer som deltagit i de olika forskningsprojekten, är koden relativt komplex och inte helt enkel att överblicka, men ska enligt uppgift från förvaltaren fungera bra.

För närvarande förvaltas Compro av danska FORCE Technology (tidigare DELTA), som i Danmark innehar en myndighetsroll som referenslaboratorium med övergripande kontroll inom området buller och vibrationer på uppdrag av danska Miljøstyrelsen. Förutom att Compro används till utveckling av metoden utgör den ett verktyg för den granskning av kommersiella mjukvaror som måste kunna göras. Om Sverige går över till Nord2000 rekommenderas starkt att Sverige deltar i arbetet med att förvalta Compro, där Kunskapscentrum om buller (som drivs av myndigheten VTI) föreslås som en lämplig förvaltare på uppdrag av Nationella Bullersamordningen (som består av representanter för Naturvårdsverket, Transportstyrelsen, Trafikverket, Boverket och Folkhälsomyndigheten).

5.8.2 DN2000

I samband med det första utvecklingsprojektet togs det fram en demoprogramvara som hette DN2000, vilken publicerades 2002 [8]. Den består av ett antal matlabfiler och är avsedd för enkla testberäkningar i en punkt av ljudnivå från väg- och spårtrafik med den första versionen av Nord2000. Tyvärr har enbart ett lösenordskyddat zip-arkiv utan lösenord funnits tillgängligt i samband med att denna rapport skrevs, varför det inte har gått att provköra filerna. Sannolikt skulle det innebära praktiska problem att använda

en så gammal kod med nuvarande matlabversioner. Det, samt att den bygger på en sedan länge daterad Nord2000-version, talar emot att det ska vara värt besväret att ta den i bruk igen. Numera finns även typfallsprogramvaran N2kR-TC att tillgå, som dock enbart omfattar vägtrafik (se avsnitt 5.4).

6 Diskussion utvecklingsbehov metod/indata

Det återstår ett begränsat utvecklingsarbete för att det ska gå att börja använda en bastillämpning av Nord2000 i svenska trafikbullerutredningar, d v s med nuvarande källmodeller och oförändrade riktvärden. Arbetet är i korta drag följande:

Nya källdata för spårbuller är planerat att tas fram under 2022. Maximalnivå för vägtrafik håller för närvarande på att implementeras i programvaran SoundPLAN, en betaversion finns tillgänglig. Standardavvikelser per fordonskategori för beräkning av maxnivå från vägtrafik behöver bestämmas, ett mätprojekt är inplanerat.

Orsaken till de problem som förekommit vid beräkning av maximalnivå från spårtrafik är identifierade, och det finns ett alternativt arbetssätt i form av den ursprungliga, fungerande men långsammare, källmodellen som kan användas. Avståndskorrektion för beräkning av L_{AFmax} från spårtrafik behöver också implementeras i SoundPLAN, för närvarande går det enbart att beräkna medelmax.

Utöver de utvecklingsbehov som är direkt kopplade till metod och källdata behöver även anvisningar tas fram för konsulter och andra som ska göra beräkningar med Nord2000. En övergång behöver också föregås av informationsspridning m m.

6.1 Utbredningsmodell

6.1.1 Utvecklingsbehov för en bastillämpning

I Danmark används verklig väderstatistik för att beräkna trafikbullernivåer som årsmedelvärden med Nord2000. För maximalnivåberäkningar används dock väderdata i utbredningsklass M24 som svarar mot vädersituationer med mycket gynnsam ljudutbredning, och därmed högre ljudnivåer.

I bastillämpningen av Nord2000 ska svenska ekvivalenta och maximala nivåer från väg- och spårtrafik beräknas för utbredningsfall som motsvarar de som ingår i Nord96 väg respektive Nord96 spår. Tills vidare rekommenderas följande värden för att simulera den inbyggda ljudutbredningen i Nord96 väg respektive Nord96 spår med Nord2000 [14][69][70]:

$$\begin{aligned}z_0 &= 0,025 \text{ m} \\A &= 0,25 \text{ (för Nord96 väg, motsvarar vindhastighet 1,5 m/s @ 10 m över mark)} \\A &= 0,5 \text{ (för Nord96 spår, motsvarar vindhastighet 3,0 m/s @ 10 m över mark)} \\B &= 0 \text{ (motsvarar temperaturgradient 0 °C/m)} \\t &= 15 \text{ °C (ger ljudhastighet } C = 340 \text{ m/s)} \\RH &= 70\% \\C_w^2 &= 0,12 \text{ m}^{4/3} \text{ s}^{-2} \\C_t^2 &= 0,008 \text{ Ks}^{-2} \\\sigma_w &= 0,5 \text{ m/s} \\\sigma_{dt/dz} &= 0\end{aligned}$$

där z_0 är markens ytråhet, A är koefficient för den logaritmiska delen av ljudhastighetsprofilen, B , som beror av temperaturgradienten, är koefficient för den linjära delen av ljudhastighetsprofilen, t är lufttemperatur vid marknivå, RH är relativ luftfuktighet, C_w^2 och C_t^2 är turbulensparametrar för vind respektive temperatur, och σ_w respektive $\sigma_{dt/dz}$ är standardavvikelse för vind respektive temperaturgradient.

Dataunderlaget var begränsat när de rekommenderade värdena för σ_w , $\sigma_{dt/dz}$, C_w^2 och C_t^2 togs fram [71]. Därför föreslås att en avstämning mot nuvarande kunskapsläge genomförs, och att rekommendationen vid behov justeras.

6.1.2 Utvecklingsbehov på sikt

6.1.2.1 Nordtestmetod

Nu gällande version av utbredningsmodellen i Nord2000 är publicerad som ett förslag till Nordtestmetod, vilket utarbetades av en Nordtest-arbetsgrupp bestående av Birger Plovsing, DELTA, Gunnar Taraldsen, SINTEF, Hans Jonasson, SP, och Ari Aarinen, VTT. Den fjärde och senaste revisionen gjordes 2014, och den har därefter kompletterats med ändringar i ett separat dokument från 2018 som togs fram av Birger Plovsing och Erik Thysell från FORCE Technology som har i uppdrag av danska Miljøstyrelsen att förvalta Nord2000 i Danmark.

Det vore ett lämpligt steg att sammanställa metoden i ett dokument, och att i samband med det även göra en arbetsinsats för att lyfta den till en fastställd Nordtestmetod. FORCE Technology har tagit emot önskemål om det ska göras (och längre fram gärna även göra den till en ISO-metod, i den ordningen eftersom det är lättare att komma igenom ISO om den redan är en Nordtestmetod) [34].

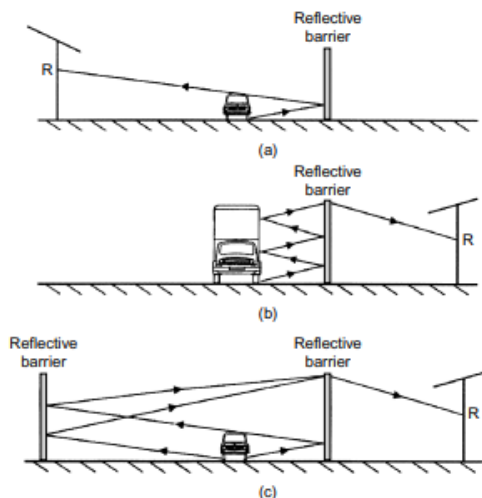
Den huvudsakliga fördelen med en publicering genom ett standardiseringsorgan är den kvalitetssäkring som det innebär. En Nordtest-arbetsgrupp skulle då granska, kommentera och godkänna metoden.

En av utmaningarna skulle bli att sätta samman en grupp med personer från de nordiska länderna som har rätt kvalifikationer samt tid och engagemang för att ta sig an uppgiften. En annan utmaning är att hitta en finansiering. Det är okänt för författarna var Nordtest står idag och hur mycket pengar de har till sitt förfogande. Kanske skulle finansiering behöva sökas på annat håll.

6.1.2.2 Övrigt

Som tidigare lyfts fram finns det ett behov av att inkludera Qside i Nord2000 för att kunna räkna trafikbuller på innergårdar [65][66].

När bullerskärmar är placerade nära väg eller spår kan multipelreflexer uppstå mellan skärm och fordon vilket försämrar skärmens insättningsdämpning, motsvarande fall (b) i Figur 7. Det saknas verktyg för att ta hänsyn till detta vid beräkningar (däremot kan effekten av reflexer enligt (a) och (c) beräknas). I stället används tumregler för att dimensionera åtgärder, som är att förse skärmarna med absorber. Här finns ett behov av att vidareutveckla utbredningsmodellen så att effekten kan inkluderas.

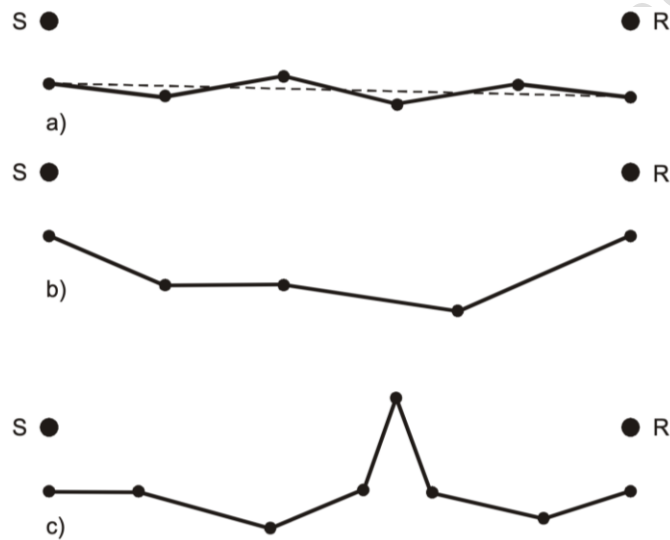


Figur 7. Reflekterande bullerskärmar: (a) bullerskärmen medför ökad ljudnivå på motstående sida av vägen, (b) multipelreflexer mellan fordon och skärm minskar skärmens insättningsdämpning, (c) multipelreflexer mellan motstående skärmar minskar skärmarnas insättningsdämpningar. Från [66].

Den impedansmodell som används i Nord2000, Delany & Bazley, fungerar bra för de flesta naturliga markförhållanden, men inte lika bra för porösa material som porös asfalt och betong, eller ballast på banvall. De senare hanteras bättre med impedansmodellen Hamet et al [68] (eller annan motsvarande modell). Vid utvecklingen av HARMONOISE valde man att inkludera båda impedansmetoderna, vilket även skulle kunna göras i Nord2000 ifall det finns behov av att förbättra noggrannheten för sådana särskilda tillämpningar.

Om överljudsalgoritmer för skjutbullen (till vapen m överljudshastigheter) inkluderas i Nord2000 kan metoden användas för utvärdering av skjutbanor och liknande.

I Nord2000:s hantering av markeffekt ingår en metod för att dela upp terrängprofilen i mindre segment (se Figur 8), som beräknas var för sig och slutligen vägs samman. Denna kan komma att behöva vidareutvecklas allt eftersom det kommer ny kunskap, även om det inte finns något känt sådant behov idag.



Figur 8. Exempel på segmenterad terräng: a) praktisk taget platt terräng, b) dalformad terräng, c) kulleformad terräng. S = source, R = receiver.

6.2 Källmodell vägtrafik

Det finns ett behov av att ta fram uppdaterade standardavvikelser för hur maxnivå från fordon sprider. De i Nord96 väg är baserade på gamla data och det finns uppgifter som tyder på att nyare tunga fordon sprider mindre, vilket skulle innebära lägre beräknade maximalnivåer [64]. Dessutom anges bara värden för lätta och tunga fordon, och till Nord2000 kommer det behövas för lätta, medeltunga och tunga fordon, och eventuellt även för tvåhjulingar.

En uppdelning av tunga fordon i två kategorier bör innebära att standardavvikelsena minskar, men det är inte helt säkert att det blir en kraftig minskning. Orsaken är att mätunderlaget i Nord96 innehåller en (dold) uppdelning i olika hastigheter, eftersom medeltunga lastbilar mestadels mättes i stadstrafik vid lägre hastigheter, och tunga lastbilar till största delen mättes i fjärrtrafik vid högre hastigheter. Därför bedöms det också vara svårt att ta fram nya standardavvikelser utifrån skattningar, utan de behöver mätas upp.

En kompromiss i avsaknad av uppdaterade mätdata vore att återanvända standardavvikelsena från Nord96 väg, med samma värde för medeltunga som för tunga fordon [72]. Om ovanstående resonemang stämmer bör det inte ge för låga värden utan snarare lite konservativa nivåer. Eftersom den grundläggande emissionen är lägre för kategori 2 än kategori 3, kommer maxnivåerna oavsett att bli lägre för kategori 2 än för kategori 3.

En beskrivning hur den sjätte högsta maximalnivån ska bestämmas relativt svenska regler behöver ingå i officiella anvisningar.

För en bastillämpning av Nord2000 behöver åtminstone lätta, medeltunga och tunga fordon inkluderas i beräkningarna. I dagsläget kan behovet av trafikdata med denna uppdelning tillgodoses med hjälp av schabloner, men på sikt bör nya data tas fram (Trafikverket arbetar på att ta fram en sådan produkt). Sannolikt förbättras kvalitén om även tvåhjulingar tas med, åtminstone vid beräkning av maxnivå, men för att göra det behöver svenska emissionsdata tas fram, liksom förbättrade trafikdata vilka i dagsläget är bristfälliga.

Nuvarande modellering av maximalnivå i Nord2000 med punktkällor överskattar ljudnivå från långa fordon på avstånd under 20 m jämfört med om ljudeffektnivån fördelas jämnt över linjekällor av samma längd som fordonet, skillnaden har tidigare uppskattats vara upp till 2 dB [15]. Samtidigt är motorbuller vanligen framträdande för tunga och långa fordon, utom vid höga hastigheter då däck-vägbanebuller dominerar, varför det ändå har antagits vara rimligt korrekt att använda punktkällor vid beräkningar. Punktkällor istället för linjekällor medför också betydligt enklare och snabbare beräkningar. Vidare bygger beräkningen på ett antagande om att endast ett fordon bidrar till maximalnivån. Här rekommenderas en undersökning som med mätningar verifierar om antagandena är korrekta, eller om det finns behov av exempelvis en avståndsberoende korrektion likt den som finns för spårtrafik. Behovet av en sådan mätanalys har tidigare lyfts fram i [16] och [72].

6.3 Källmodell spårtrafik

6.3.1 Maximalnivå

6.3.1.1 Förenklad källmodell

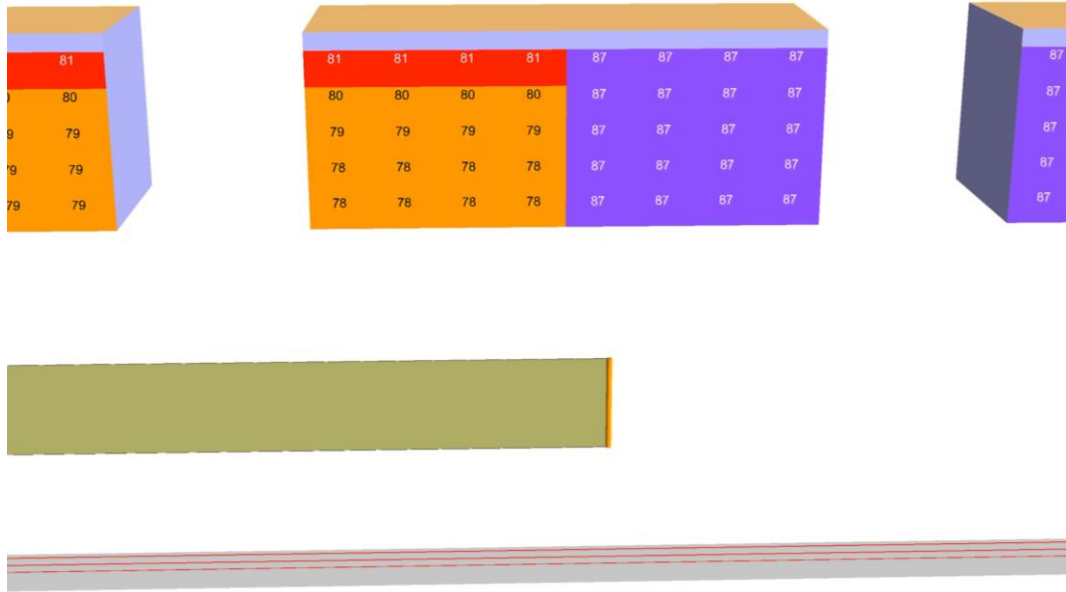
Ett problem som uppdagades efterhand som den ursprungliga källmodellen för spårtrafik i Nord2000 började användas (den första SoundPLAN-implementeringen kom 2005 [63]) var att beräkningstiderna för att bestämma maximalnivå från spårtrafik kunde bli särskilt långa. Orsaken är att källmodellens metod för att hitta den maximala ljudnivån är uppbyggd efter samma principer som i föregångaren Nord96 spår. Eftersom det inte är en acceptabel kompromiss att försumma källans längd behöver tåget simuleras med en linjekälla som placeras i den position som ger den högsta maximalnivån. Både Nord96 spår och Nord2000 hänvisar till iteration för att hitta denna position. Iterationen innebär att tåget flyttas ett litet steg i taget med en ny maxberäkning för varje tågposition. Den slutgiltiga maximalnivån är den högsta registrerade av alla dessa beräkningar. Metoden är robust (även om delar av beskrivningen kan behöva förtydligas, se avsnitt 6.3.2) men beräkningstiderna kan bli långa⁸.

I samband med att ett antal testfall för validering av spårbullerberäkningar med Nord2000 togs fram 2011 undersökte DELTA möjliga sätt att minska beräkningsbördan. I samtliga testfall visade det sig att den sökta maximalnivån inträffade när linjekällan var placerad mitt framför beräkningspunkten. Man drog därav slutsatsen att det var tillräckligt att beräkna maximalnivå för enbart denna position. Den förenklade källmodellen antogs som föreskriven metod i Danmark och implementerades i SoundPLAN [25].

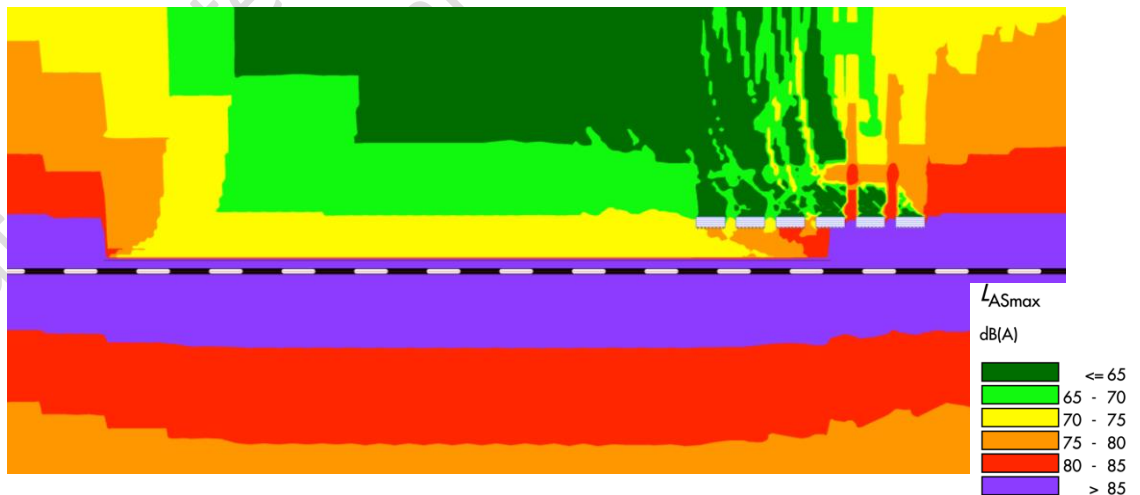
Det har dock senare visat sig att den förenklade varianten inte fungerar i många lite mer komplicerade utbredningsfall, exempelvis då tåget passerar slutet av en bullerskärm eller motsvarande. Typiskt kan då

⁸ Tidsåtgången för att beräkna maxnivå med Nord2000 respektive Nord96 spår jämfördes i den modell över Lerum som beskrivs i [72] avsnitt 3. Beräkningarna gjordes i SoundPLAN version 8.2 med inställningar enligt rapportens tabell 4. Den ursprungliga itererande källmodellen i Nord2000 (i SoundPLAN omnämnd som "more sophisticated") var i medeltal 13 ggr långsammare än Nord96 spår, medan beräkningar med Nord2000:s förenklade källmodell (i SoundPLAN omnämnd som "simplified") i medeltal tog fem gånger längre tid än med Nord96 spår.

beräknad maximalnivå uppvisa orimligt stora skillnader mellan två närbelägna beräkningspunkter, ett sådant exempel visas i Figur 9. Se även Figur 10.



Figur 9. Maximalnivå $L_{A_{smax}}$ vid fasad från järnvägen i bildens nedre del, beräknad med Nord2000 och den förenklade källmodellen. Mitt för platsen där bullerskärmen (brun) upphör uppstår ett orimligt steg i ljudnivå på byggnadens fasad.



Figur 10. Maximalnivå från järnväg, beräknad med Nord2000 och den förenklade källmodellen. Det är samma situation som i Figur 9, men utzoomad och sedd från ovan. Byggnaderna och ändarna på bullerskärmen ger upphov till orimliga diskontinuiteter.

DELTA har undersökt diskontinuiteterna och funnit att en bidragande orsak till att den förenklade metoden fallerar är att linjekällan i Nord2000:s källmodell har en statisk upplösning⁹ med sju punktkällor [26]. DELTA skriver att om linjekällan ges betydligt högre upplösning (d v s fler punktkällor,

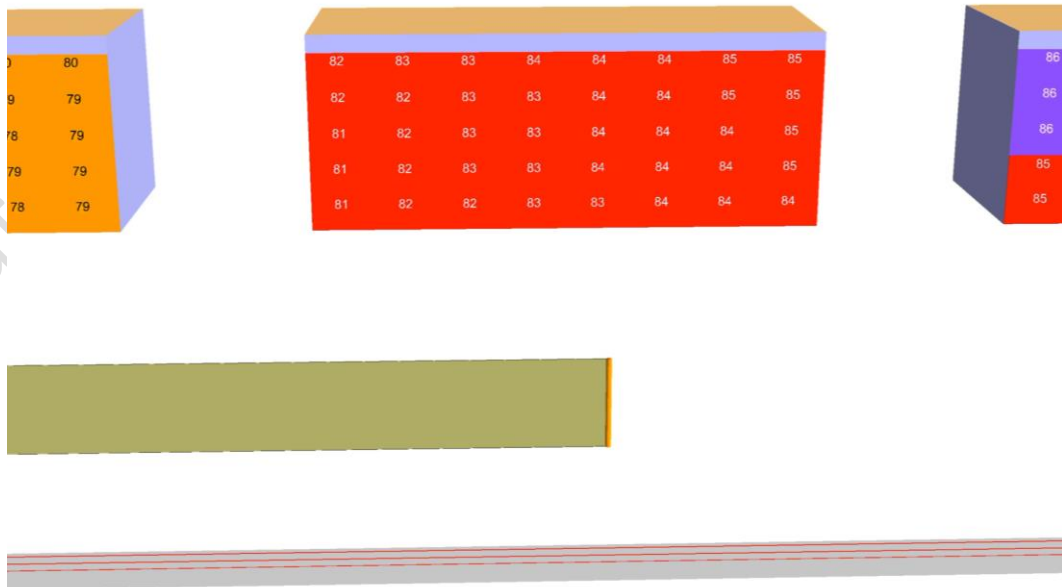
⁹ I Nord96 spår varierar linjekällans upplösning dynamiskt beroende på avståndet till beräkningspunkten, med ökande upplösning när avståndet mellan linjekälla och beräkningspunkt minskar. Lösningen i Nord2000 begränsar beräkningsbördan som ökar med ökande antal punktkällor.

storleksordningen minst 10 gånger fler) borde den förenklade källmodellen oftare ge rimliga resultat, men att det ändå är en öppen fråga om det är en tillräcklig åtgärd för att kunna hantera alla situationer på samma sätt som den ursprungliga iterationsmetoden. Danska myndigheter och konsulter är medvetna om detta [26], men eftersom maxnivån är betydligt mindre viktig i Danmark än i Sverige (används som en metod för att identifiera behov av bullerskydd i tidiga planeringskedan, men inga åtgärder dimensioneras mot maxnivå) har man hittills inte prioriterat utveckling av en förbättrad algoritm.

För att hantera situationer då den förenklade källmodellen fallerar har SoundPLAN även gjort den ursprungliga iterationsmetoden tillgänglig¹⁰ (vilken har samma upplägg som i Nord96 spår), och när den används erhålls korrekta spridningsbilder. Iterationsmetoden har använts för att beräkna resultaten som redovisas i Figur 11 och Figur 12, med i övrigt samma förutsättningar som använts för att beräkna resultaten i Figur 9 och Figur 10.

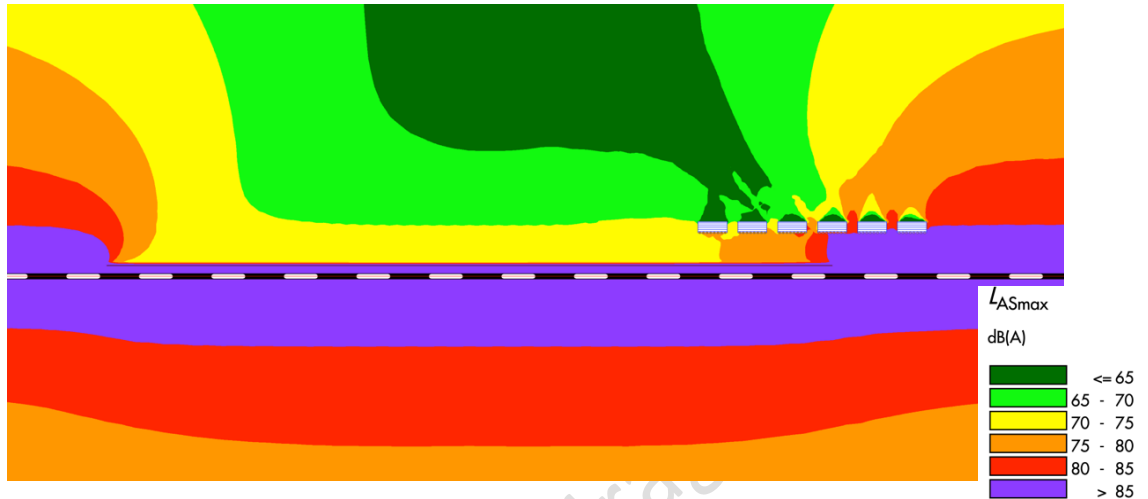
I Figur 13 visas också ett exempel på jämförande beräkningsresultat med den förenklade och den itererande metoden från ett verkligt fall. Trots en måttligt komplex beräkningssituation blir resultaten inte tillförlitliga med den förenklade metoden. Författarna har även tagit del av andra beräkningsresultat som uppvisar motsvarande eller större skillnader mellan förenklad och itererande metod för liknande fall. Den odiskutabla slutsatsen blir därför att svenska utredningar måste använda den ursprungliga, itererande metoden.

Datorers prestanda är samtidigt avsevärt bättre idag än när behovet av den förenklade metoden först fördes fram, vilket har minskat problemet med de långa beräkningstiderna. Möjligen finns ändå ett kvarstående behov av att undersöka om det går att hitta en lösning som hanterar alla förekommande utbredningsfall med minskad beräkningsbörda relativt den ursprungliga iterationsmetoden, men det bedöms inte som akut.

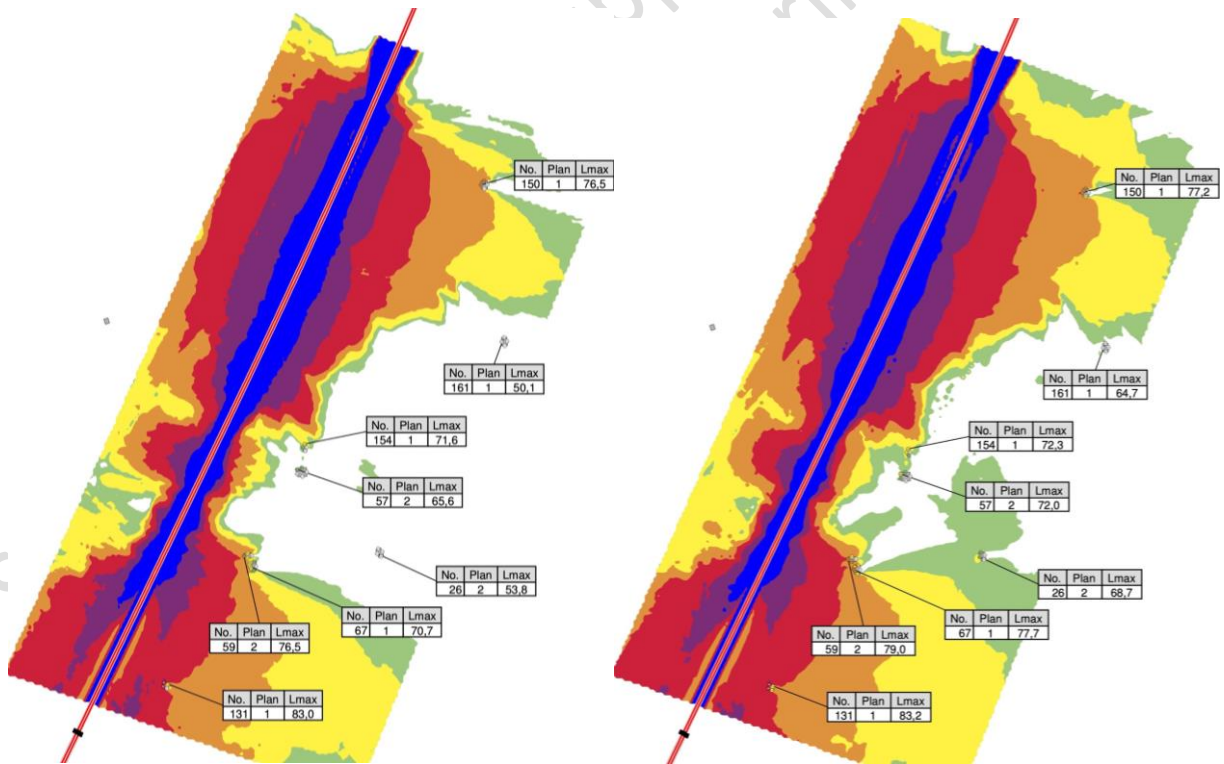


Figur 11. Maximalnivå L_{ASmax} vid fasad från järnvägen i bildens nedre del, beräknad med Nord2000 och den itererande metoden.

¹⁰ Omnämns i SoundPLAN som "more sophisticated method".



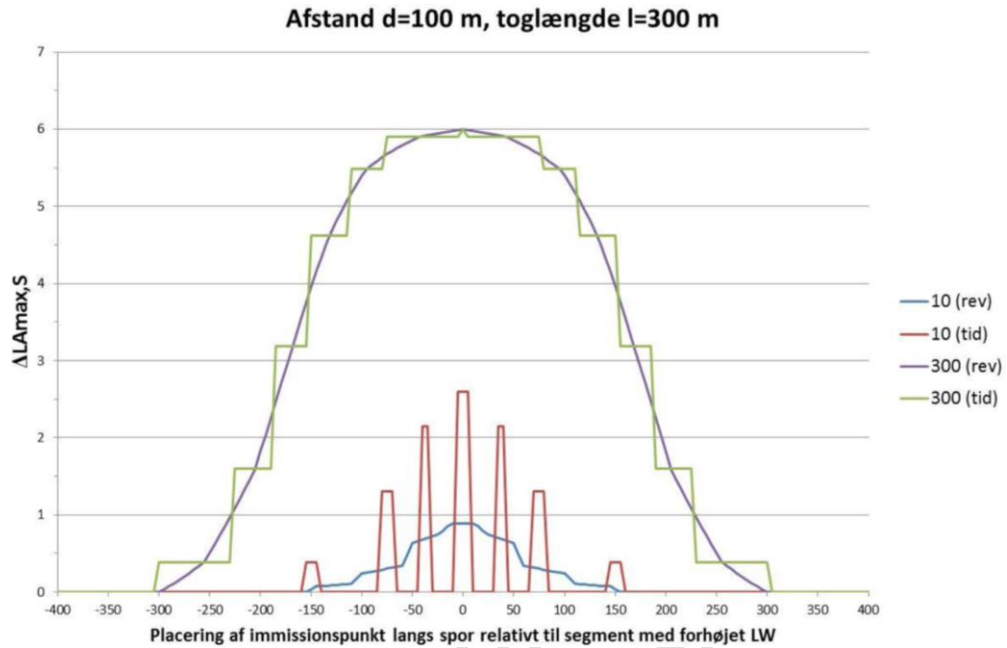
Figur 12. Maximalnivå från järnväg, beräknad med Nord2000 och den itererande metoden. Det är samma situation som i Figur 11, men utzoomad och sedd från ovan.



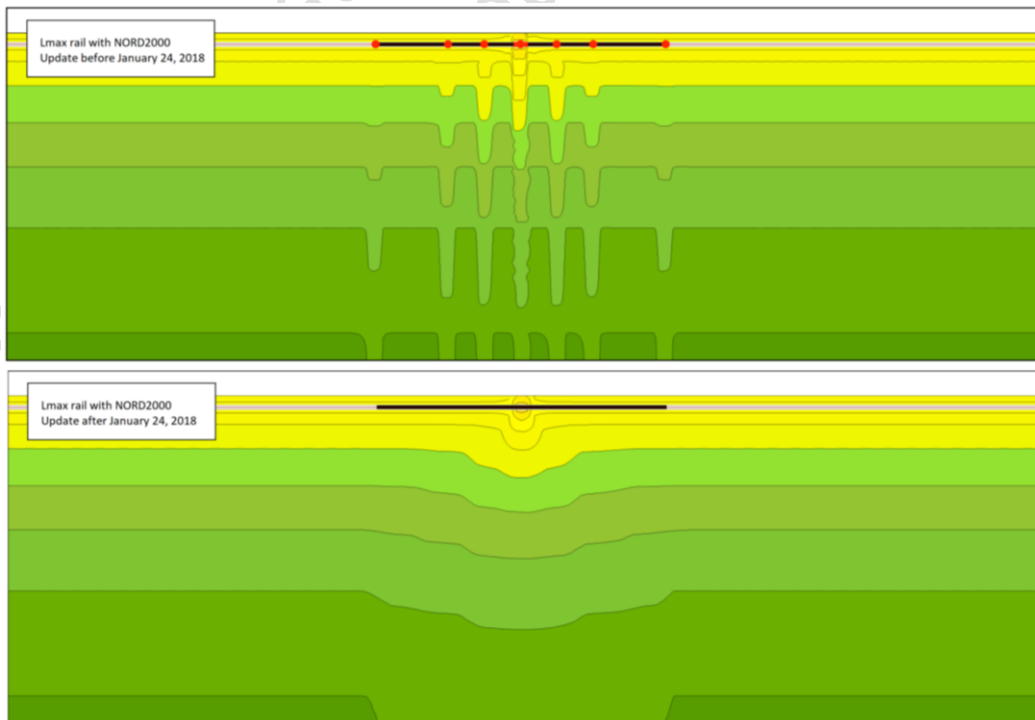
Figur 13. Exempel på beräkning maxnivå från spårtrafik med Nord2000 i SoundPLAN version 8.0. Till vänster, med den förenklade metoden ("simplified"). Till höger, med den itererande metoden ("more sophisticated") [29].

6.3.1.2 Spårkorrektioner förenklad metod

En annan brist vid beräkning av maximalnivå med den förenklade metoden som uppdagades var att spårkorrektioner för växlar, broar etc inte inkluderades korrekt. Problemet uppkommer inte med den ursprungliga itererande metoden [28]. En utredning 2016 tog fram en lösning i form av en tydligare beskrivning av hur källmodellen ska överföra sådana korrektioner till linjekällan [25]. Lösningen har sedan dess tagits i bruk. Exempel på resultat före/efter revision redovisas i Figur 14 och Figur 15.



Figur 14. Exempel beräkning maximalnivå med förenklad metod inklusive spårkorrektion för en växel, 10 m respektive 300 m avstånd från spåret. Kurvorna redovisar resultat före ("tid") respektive efter revision av källmodellen ("rev") [25].



Figur 15. Bullerkonturer för ett snarlikt exempel som i Figur 14, beräknat med SoundPLAN och den förenklade metoden för ett 200 m långt tåg (svart linje). Övre plotten: ursprunglig källmodell, nedre plotten: reviderad källmodell. Växelkorrektion +6 dB för 10 m spårlängd i mitten av tåget. Resultat erhållna från SoundPLAN Nord ApS.

6.3.1.3 Linjekällans upplösning för beräkning av maximalnivå

Båda metoderna för beräkning av maximalnivå, den ursprungliga itererande och den i Danmark senare införda förenklade, modellerar tåget som en linjekälla. Till skillnad mot normalt tillvägagångssätt modelleras dock inte linjekällan på vanligt vis med ett efter behov varierande antal punktkällor, högre täthet nära tåget och glesare på längre avstånd. I stället delas linjekällan alltid in i sju segment som vart och ett representeras av en punktkälla (per källhöjd). Linjekällans ljudeffektnivå fördelas lika mellan punktkällorna. Punktkällornas horisontella placering har högre täthet närmast linjekällans mitt enligt Figur 16, med följd att ljudeffektnivån kommer variera längs linjekällan.



Figur 16. Vid beräkning av maximalnivå från spårtrafik i Nord2000 används en linjekälla för att representera tåget. Linjekällan (grå) modelleras med punktkällor (svarta stjärnor) som placeras ut vid tågets mitt, $\pm l_p/2$, $\pm l_p/4$ och $\pm l_p/8$, där l_p är linjekällans längd.

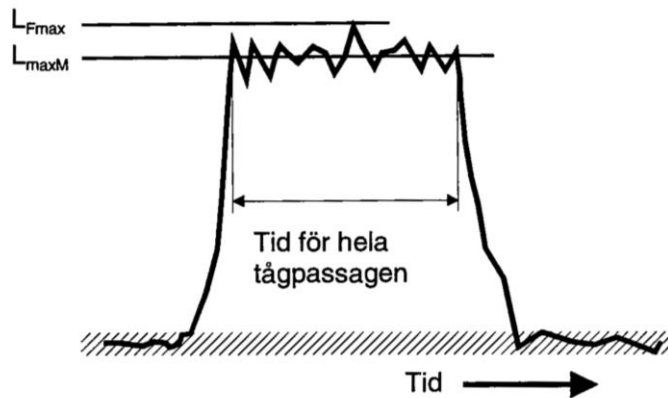
På korta avstånd till tåget (korta i relation till tåglängden) kommer detta införa ett fel i beräknade maximalnivåer jämfört med en ideal modellering av linjekälla. Vid tågets mitt blir nivåerna något för höga, medan nivåerna vid tågets ändrar blir för låga. Enligt den ursprungliga källmodellen flyttas linjekällans placering i steg längs med spåret, varpå resulterande maximalnivå baseras på placeringen som ger högst nivå. Under förutsättning att steglängden är kort, exempelvis motsvarande tidsupplösning 125 ms (tidsvägning F), är det den något högre emissionen från tågets mitt som bestämmer beräknad maximal ljudnivå, vilken därmed kan bli något för hög.

Störst avvikelse uppträder då avståndet till tåget är $1/15$ av tågets längd, där beräknad maximalnivå som mest kan bli ca 0,8 dB högre än med en idealt modellerad linjekälla. Exempelvis blir detta avstånd 33 m för ett 500 m långt tåg. Motsvarande för ett 50 m långt tåg är 3,3 m, och för samma tåglängd blir avvikelsen på exempelvis 10 m avstånd \leq ca 0,2 dB.

En relativt enkel åtgärd vore att justera källmodellen så att linjekällan modelleras med ett efter behov varierande antal punktkällor på korta avstånd. Om detta dessutom kan tillämpas för beräkning på långa avstånd, vilket dock först bör analyseras, skulle beräkningsbördan kunna bli lägre än nuvarande modell.

6.3.1.4 Tidsvägning/nivåsignatur

Danska riktvärden för maximalnivå gäller för tidsvägning S (slow) medan svenska riktvärden avser tidsvägning F (fast) som ger något högre nivåer i närheten till tåget. Källmodellens medelmaximalnivå, L_{maxM} , för ett passerande tåg, som förutsätter att samtliga delar av tåget avger samma ljudeffekt, svarar ungefär mot tidsvägning S . På stora avstånd från tåget, då ljud från tågets enskilda delar inte går att urskilja längre, blir L_{maxF} och L_{maxM} desamma. Men närmare järnvägen framträder ljud från vissa delar av tåget mer än andra, och då blir L_{maxF} något högre än den maximalnivå som baseras på L_{maxM} . Ett exempel på hur den maximala ljudnivån kan variera vid en tågpassage när man mäter relativt nära järnvägen redovisas i Figur 17, som också visar medelmaxnivån.



Figur 17. Exempel på nivåsignatur för ett passerande tåg [42].

I Nord96 spår hanteras skillnaden mellan L_{maxF} och L_{maxM} efter en enkel modell som bara skiljer på eldrivna och dieseldrivna tåg. Korrektioner togs fram i samband med mätkampanjen 1993 [43]. På korta avstånd blir L_{maxF} 3 dB högre än L_{maxM} för alla eldrivna tåg och 6 dB högre för alla dieseldrivna tåg. Skillnaden avtar med avståndet till järnvägen och är 0 dB på avstånd >100 m för eldrivna tåg resp >200 m för dieseldrivna tåg.

I Nord2000:s källmodell finns en frekvensoberoende korrektion för motsvarande omräkning från medelmax till L_{maxF} som är baserad på samma underlag. Likt den som anges för eldrivna tåg i Nord96 spår uppgår den till som mest 3 dB, fast den har ett något annorlunda avståndsberoende (minskar med avståndet till 0 dB på avstånd över ca 300 m). En särskild korrektion för dieseldrivna tåg motsvarande den i Nord96 spår saknas. I rapporten kommenteras också att korrektionen kan användas tills bättre kunskap finns tillgänglig. (I SoundPLAN är i dagsläget enbart beräkning av medelmaximalnivå implementerad.)

I verkligheten är den s k nivåsignaturen inte densamma för olika tågtyper. Det, samt det faktum att korrektionerna är så pass gamla, talar för att uppdaterade korrektioner behöver tas fram.

6.3.1.5 Statistisk spridning maximalnivå

Är det möjligt att ta fram ett underlag för att bestämma spridning av maximalnivå för spårtrafik enligt samma statistiska modell som vid beräkning av maximalnivå från vägtrafik, för en bättre prediktering av n:te högsta maxnivå? I dagsläget antas alla tåg av samma typ ha samma emission, men i verkligheten sprider det mellan olika tåg, och dessutom mellan olika delkällorna inom ett och samma tåg, se avsnitt 3.2 *Spårtrafik* i [72]. Det kan också förekomma större avvikelser, till exempel så kallade hjulplattor, som gör att en hjulaxel kraftigt avviker från övriga på ett fordon och ger en högre maxnivå för hela passagen.

Om den maximala nivån bestäms av en enstaka källa, exempelvis pantografen, en kylfläkt eller en axel med hjulplatta, så fungerar utbredningen för den maximala nivån som en punktkälla. Om flera axlar tillsammans bidrar till den maximala nivån så blir avståndsberoendet antingen som en linjekälla eller punktkälla, beroende på avståndet till mottagaren. Se även diskussionen om L_{maxM} och L_{maxF} under avsnitt 6.3.1.3. Som exempel så kan det vara loket med kylfläktar osv i ett godståg som ger den maximala nivån på kort avstånd, medan hjulaxlarna i en stor del av tågsättet bestämmer maxnivån på längre avstånd. För en komplett beskrivning av detta behövs information om hur mycket de olika delkällorna varierar inom ett fordon (exempelvis mellan olika axlar) men också hur de varierar mellan fordon.

Ett sådant underlag skulle innebära bättre möjligheter att ta fram effektiva och korrekta åtgärder, men informationen saknas i nuläget. I Nord 96 spår hanteras endast variation inom fordonet genom att skilja på diesel- och elektriska lok. Nuvarande version av Nord2000 är också begränsad till variationen inom fordonet, och saknar dessutom uppdelningen mellan el- och diesellok.

Vid de mätningar på svenska tåg som genomförts inför CNOSSOS EU så har mätavståndet 7,5 m använts. Eftersom avståndsberoendet är olika för olika delkällor, och det till och med kan vara olika delkällor som ger maxnivån vid korta och långa avstånd, så räcker det inte att utgå ifrån mätningar på 7,5 m för att skapa indata som ger en komplett bild av den maximala nivån.

En utmaning med att skapa indata från mätningar som kan användas för beräkningar av den maximala nivån är att det inte är ett mått som används internationellt (utom i Danmark som dock inte använder det för skarpa riktvärden). Som exempel så arbetar en teknisk kommitté i det europeiska standardiseringsorganet CEN (CEN TC 256) med att ta fram en standard som specificerar hur man skall beräkna indata till olika beräkningsmetoder (inklusive CNOSSOS EU och Nord2000) från mätningar, men där finns inget skrivet om spridning och maximal nivå eftersom det inte används i de länder som aktivt arbetar med standarden.

6.3.1.6 Jämförelser med Nord96 spår

I den ursprungliga rapporten för källmodellen från 2001 [7] gjordes jämförelser av maximalnivåer beräknade med Nord2000 respektive Nord96 spår för några typfall. Skillnaderna var små för de enklaste utbredningsfallen med platt mark, medan resultaten i vissa andra testfall med skärmning kunde skilja relativt mycket (upp till som mest 12 dB). Beräkningar gjordes för neutral utbredning och för ett medvindfall med 3 m/s, där det senare svarar mot utbredningen som är inbyggd i Nord96 spår (se avsnitt 6.1.1). På senare tid har i samband med beräkning av buller från höghastighetståg även ett något mindre gynnsamt utbredningsfall använts [35].

Här finns ett behov av att belysa hur stora skillnaderna mellan Nord2000 och Nord96 spår blir i några normalt komplicerade beräkningsfall med verkliga kartdata, för det utbredningsfall som kommer ingå i en bastillämpning av Nord2000.

6.3.2 Källmodell, övrigt

Följande avsnitt tar upp brister och otydligheter samt diskuterar olika alternativ för hur källmodellen kan förbättras.

6.3.2.1 Otydlig beskrivning av hur källmodellen är uppbyggd

I Nord96 spår är källornas höjder och deras frekvensfördelning bestämda enligt Figur 18. Från rapporten: "De källhöjder som skall användas i modellen framgår av figur 3". Varje oktavband har en specificerad höjd som alltid används, oavsett tågtyp. De enda indata för en tågtyp som behövs till ett beräkningsprogram är a- och b-parametrarna, resten är bestämt av källmodellen. Analogt sammanfattas resultatet från en emissionsmätning av a/b-parametrarna per tågtyp.

Delljudkälla	Oktavband (Hz)						
	63	125	250	500	1000	2000	4000
Räl			—	—	—	—	—
Hjul							
Motorer etc.	—	—	—	—			
Kurvskrik					—	—	—
Vagnar	—	—	—	—			
Bromsning					—	—	—
Källposition på spårets mittlinje (meter över rälöverkant)	2	1,5	0,8	0,3	0,4	0,5	0,6

Figur 18. Källhöjder som används i Nord96 spår [42].

Även källmodellen i Nord2000 [7] är begränsad till en uppsättning a/b-parametrar, men på några ställen antyds att det till skillnad mot Nord96 spår i princip ska gå att fritt välja såväl antal källor (exempelvis innehåller rapportens tabell 2.1 sex källor), källhöjder, som källornas respektive frekvensområde. Ljudenergi från hjul/räl ska normalt fördelas lika över de tre lägsta källorna (men inte heller det verkar vara slutligt bestämt), medan eventuella övriga källor modelleras efter behov, dock med den viktiga inskränkningen att det bara finns en uppsättning a/b-parametrar. Från rapporten:

“Unless other information is available all wheel/rail sources are assigned equal strength with the sound power distributed evenly. Emission from engines, unless bogie mounted, and aerodynamic sources above 0,7 m has to be determined individually whenever relevant.”

Problemet är att rapporten inte formaliserar hur ovanstående ska gå till, vare sig hur det ska mätas upp eller hur det ska användas i källmodellen.

När befintliga tågdata i Nord96 spår överfördes till Nord2000 återanvändes inte den uppdelning av källhöjder per frekvensområde som redovisas i Figur 18. I stället sattes nya värden på både höjder och frekvensområden, men det framgår inte varför. Kanske var det ett sätt att förbättra överensstämmelse mellan mätningar och beräkningar, eller något annat. Oavsett vilket är det förvånande att ljud från andra källor än hjul/räl enbart är förlagda till de lägsta frekvenserna i samtliga redovisade exempel (rapportens tabeller 2.2, A.3, A.4 och A.3.2). Tabellerna ligger till grund för att källmodellen kommit att användas med maximalt fyra källor, källa 1–3 för hjul/räl och i några fall även en fjärde källa ensam på de lägsta frekvenserna. Det är uppenbarligen en begränsning av den ursprungliga tanken, men samtidigt den enda formaliserade beskrivning som finns att tillgå.

Ett annat exempel på oklarhet är att källmodellen inte kan hantera individuella lok och vagnar, trots att det på vissa ställen i texten framstår som att det är möjligt (till exempel i stycket under rapportens tabell 2.1). Det saknas stöd för en sådan uppdelning i maxberäkningen eftersom ljudeffektnivå ska fördelas jämnt över de sju linjesegmenten. En uppdelning saknar också betydelse vid beräkning av ekvivalentnivå eftersom tåg är begränsade till att använda en uppsättning a/b-parametrar. Av avsnitt 2.3.2 framgår att detta är något som är tänkt att komma i framtiden: *“In the future engine and car noise should be dealt with separately”*.

Nära besläktad är beskrivningen av olika källors horisontella placering (längs ett tåg). Exempelvis anges att en källa som representerar motor hos X2 ska placeras i lokomotivets mitt. Detta är ovidkommande för ekvivalentnivå eftersom källorna då ändå fördelas lika utmed med hela spåret. Däremot kan det vara viktigt vid beräkning av maximalnivå, men på grund av att källmodellen för maximalnivå är begränsad till att fördela ljudeffekten lika över linjekällans sju segment går en sådan horisontell fördelning inte att tillämpa. Författarnas idé om den horisontella placeringen är alltså ännu ett exempel på något som inte ingår i källmodellen men är en utblick mot framtiden.

I praktiken är källmodellen till stor del lik den i Nord96 spår, men på olika ställen i rapporttexten har man tagit upp idéer för framtiden vilket kan förvirra läsaren. Författarna avsåg att vidareutveckla och färdigställa källmodellen i ett kommande projekt som sedan inte blev av. Om ett sådant projekt hade genomförts är det rimligt att anta att senaste kunskapsläge från EU-projekten HARMONOISE och IMAGINE hade fått ta plats på samma sätt som skedde för källmodellen för vägtrafik.

6.3.2.2 Otydlig definition av indata

Beskrivningen för hur källor ska placeras och vilka frekvensområden som ska användas är alltså bitvis otydlig. Detta gäller främst andra källor än hjul/räl, såsom buller från motor, avgasrör, fläktar etc. Exempelvis finns en beskrivning i rapportens tabell 2.2 som sedan inte stämmer med motsvarande redovisning i tabell A.3 och A.4 för inmätta svenska tåg. Delvis andra frekvensområden och andra källhöjder används för de inmätta tågen, vilket gör det svårt att förstå författarens avsikt. För källa 4 saknas också en beskrivning om hur frekvenserna ska hanteras – ska all energi för den källan läggas i det

lilla frekvensintervallet eller ska enbart den energi som finns i det lilla intervallet knytas till källa 4? Källa 4 kan också vara svårplacerad, samtidigt som höjdvälet kan vara viktigt.

Enligt Birger Plovsing är källmodellen för spårbuller avsedd att vara relativt flexibel, och att det ska finnas utrymme för eget val angående om energin ska fördelas över tre eller fyra källhöjder, och val av frekvenser [78]. Detta framgår visserligen också av rapporten som anger att det är i avsaknad av bättre uppgifter som defaultvärdena i tabell 2.2 rekommenderas, men det finns ändå behov av förtydliganden.

Steglängden som används till den iteration som görs vid beräkning av maximalnivå är inte definierad, och den som implementerar funktionen är tvungen att välja ett värde på egen hand. Exempelvis har SoundPLAN valt att använda 1/8 s som svarar mot tidsvägning F. Valet har betydelse både för beräkningsbördan och det beräknade resultatet varför det behövs ett förtydligande. En för lång steglängd kommer ge felaktiga beräkningsresultat, medan en alltför kort steglängd kostar onödig beräkningstid.

Det saknas också en beskrivning om ifall ljudhastigheten ska beaktas eller inte när reflexer inkluderas vid beräkning av maximalnivå. Även detta kan påverka beräkningsresultatet.

6.3.2.3 Brister hos källmodellen

Möjligheterna till verklighetstrogen modellering av olika typer av källor blir begränsade eftersom det endast finns en uppsättning a/b-parametrar. Även om källornas höjder kan väljas finns det bara ett effektspektrum med tillhörande hastighetsberoende att tillgå. Rapporten [7] anger att ljudemission från hjul och räl ska fördelas lika över källhöjderna 1 cm, 35 cm och 70 cm. Andra källor såsom motor, avgasrör och aerodynamiska källor omnämns, men om sådana förekommer på ett tåg är det oftast inte möjligt att inkludera dem på ett relevant sätt eftersom det saknas beskrivning för hur man fördelar ljudeffekt inom ett frekvensområde mellan olika källor. Med andra ord kan olika källor inte ges överlappande frekvensområden. Den lösning som återstår är att knyta vissa tersband till specifika källor, men som nämndes tidigare är beskrivningen även för den uppdelningen begränsad.

Ett exempel där källmodellen inte fungerar bra är vid modellering av X2-tåg där ljud från fläktar på loket tillkommer vid höga effektuttag och då utgör en betydande andel av tågets ljudemission [77]. Fläktarna har ett bredbandigt ljud, ett speciellt hastighetsberoende, och en hög placering som är svårare att skärma av än rulljudet. I tågakällmodellrapportens tabell A.3 anges att tersbanden 25–160 Hz ska knytas till motor medan rulljudet får resterande tersband, vilket resulterar i en bristfällig modellering. En möjlig lösning vore att ge fläktarna en egen uppsättning a/b-parametrar, men det stöds inte av källmodellen i nuvarande version. Denna typ av begränsningar i källmodellen framträder särskilt tydligt vid modellering av höghastighetståg där de svenska utredningarna tvingas tillämpa ett alternativt arbetssätt med extra handpåläggning, se avsnitt 4.2.

6.3.2.4 Möjlig utveckling av befintlig källmodell

Ett exempel på en begränsad vidareutveckling vore att komplettera källrapporten med en utvidgning som beskriver hur man vid behov kan fördela a/b-energin över alla fyra källorna med överlappande frekvensområden, och så att det fortsatt går att använda befintliga källdata. Ett sådant upplägg skulle visserligen innebära något förbättrade möjligheter att hantera källor motsvarande motorfläktarna hos X2, men kan ändå inte rekommenderas. Det når inte hela vägen fram eftersom alla källor fortfarande är tvingade att ha ett och samma hastighetsberoende, vilket exempelvis stämmer illa med X2-fläktarna vars ljudemission inte alls ökar med hastigheten på samma sätt som till exempel emissionen från hjul-räl.

Ett annat alternativ som, utan någon förändring av källmodellen, skulle möjliggöra en bättre modellering av X2 och andra fall där den höga källan är viktig och inte enbart lågfrekvent, vore att när det föreligger ett särskilt behov dela upp tåget i två uppsättningar a/b-parametrar, en för hjul/räl och en för den höga källan. I praktiken får användaren som gör beräkningarna då lägga in två separata tåg – ett som representerar hjul/räl och ett för att representera den höga källan. Tillvägagångssättet skulle beskrivas i anvisningarna för Nord2000. Nackdelen är att den ökade komplexiteten kommer medföra merarbete och öka risken för misstag, varför det bör ses som en tillfällig lösning i väntan på att en bättre källmodell tas fram.

En invändning mot båda förslagen är att de förutsätter att det går att utvärdera ur mätdata hur energin ska fördelas för de olika källorna. Den mätmetod som för närvarande används ger ingen sådan uppdelning, varför den som utvärderar mätningarna skulle vara hänvisad till att göra egna uppskattningar av fördelningen.

Samma princip tillämpas i höghastighetstågutredningarna fast med tre uppsättningar a/b-parametrar, och med termen för hastighetsberoende satt till noll. För att ta hänsyn till hastigheten finns i stället en komplett uppsättning underlag för var 10:e km/h, vilket går rimligt bra att hantera i de utredningarna eftersom de enbart undersöker en eller två hastigheter, men som skulle bli alldeles för otympligt för vanligt utredningsarbete där det kan förekomma en mångfald av hastighetsändringar i samma modell.

6.3.2.5 Källmodell IMAGINE/CNOSSOS-EU

En bastillämpning med nuvarande källmodell för spårbulleter kan som nämnts införas relativt omgående, men på sikt bör ett utvecklingsarbete göras i vilket en ny källmodell för spårtrafik tas fram som drar nytta av den utveckling som skett på området sedan 2001. I EU-projekten HARMONOISE [9] och det efterföljande IMAGINE [10] utvecklades det koncept som nu ingår i CNOSSOS-EU [73][74]. Fördelen är att det enklare går att förutse hur olika åtgärder på infrastruktur och fordon påverkar emissionen, vilket är viktigt för att kunna planera åtgärder, som exempelvis att ställa krav på spår och fordon.

Innan ett sådant upplägg kan användas i Nord2000 behöver ett omfattande arbete genomföras för att fastställa vad som är en lämplig uppbyggnad av källmodellen sett till de nordiska ländernas olika behov, utveckla densamma, och ta fram källdata. Förslagsvis inleds arbetet med en förstudie som beskriver nuvarande kunskapsläge och uppskattar storleken på det utvecklingsarbete som erfordras. Några exempel på frågeställningar:

- Ska källmodellen främst efterlikna den i CNOSSOS-EU eller behöver den snarare ha ett annorlunda upplägg för att möta behoven i våra inhemska utredningar? Att designa källmodellen så att den har hög kompatibilitet med CNOSSOS-EU kan vara fördelaktigt, men kan även innebära begränsningar som är negativa. Ett upplägg motsvarande källmodellen i CNOSSOS-EU kommer sannolikt vara vanligt i framtiden, så för att underlätta framtida kunskapsutbyte är det antagligen bra om en ny källmodell i Nord2000 har relativt god kompatibilitet med den i CNOSSOS-EU. Samtidigt har källmodellen i CNOSSOS-EU, som är avsedd för översiktliga kartläggningar, delar som sannolikt inte är lämpliga för inhemsk kartläggning, som exempelvis bara två källhöjder. När ändringar införs för att förbättra den typen av brister innebär det samtidigt att källmodellen blir mindre kompatibel med den i CNOSSOS-EU.
- Hur många källhöjder behövs? Nuvarande källmodell i Nord2000 har i praktiken fyra per tågtyp, men rapporten indikerar att det kan behövas fler. Källmodellen i CNOSSOS-EU har bara två källhöjder vilket sannolikt innebär en ökad risk för att skärmning och markdämpning felbedöms.
- Källmodellen i CNOSSOS-EU (och motsvarande) stöder i grundutförandet inte beräkning av maximal nivå. För detta krävs nya indata som beskriver spridning mellan olika delkällor. Dessa data måste delvis baseras på andra mätningar än de som är genomförda för beräkning av den ekvivalenta nivån. Detta bedöms vara ett omfattande arbete som vi för svensk del behöver utföra på egen hand eftersom man internationellt inte är intresserade av maximalnivå.
- Källmodellen behöver kunna hantera de speciella effekter som förekommer hos höghastighetståg på ett tillfredsställande sätt. Exempelvis har pantograf och hjulhus ett avvikande hastighetsberoende, samt ett annat avståndsberoende vid beräkning av maximalnivå.
- Emissionsdata för svenska tåg behöver tas fram till den nya källmodellen.
- Hur ska man ta hänsyn till ytråhet för räl respektive hjul? Vilka metoder kan användas för få fram relevanta data?
- Går det att använda, eventuellt efter omräkning, befintliga internationellt tillgängliga emissionsdata framtagna för CNOSSOS-EU? Finns det någon egentlig nytta med att kunna använda sådana internationella data?

7 Handböcker för Nord2000

För att minimera risken att olika beräkningsutförare räknar fram olika resultat om Nord2000 ska användas för inhemska beräkningar, behöver det finnas officiella anvisningar för hur parametrar och underlag ska väljas och hanteras. Nedan ges fyra exempel på anvisningar för Nord2000. Ingen av dem kan användas som anvisningar vid svenska utredningar med en bastillämpning av Nord2000, men de kan fungera som utgångspunkt när sådana ska tas fram.

- User's guide Nord2000 Road [14]
- Håndbog Nord2000 (danska anvisningar) [12]
- Brukerveileder Nord2000 Road, Håndbok V717 (norska anvisningar) [57]
- PM beräkningsmanual för projekt Ostlänken [35]

8 Andra anvisningar för Nord2000

Miljøstyrelsen Orientering nr 39 – Praktisk anvendelse af Nord2000 till støjberegninger [75].

Teknisk notat 08/14637–3 från danska Vejdirektoratet med bakgrundsinformation om hur korrektioner för vägbeläggning tas fram till Nord2000 [76].

SoundPLAN har också utbildningar och informationsmaterial om att beräkna buller från väg- och spårtrafik med Nord2000 för sina användare.

9 Rekommendation om tidplan

Under avsnitt 6 redovisas identifierade utvecklingsbehov. Några av dem behöver finnas på plats innan en bastillämpning av Nord2000 börjar användas i svenska inhemska utredningar:

- Källdata för spårbuller, nya data är planerade att tas fram under 2022.
- Maximalnivå för vägtrafik implementeras för närvarande i programvaran SoundPLAN (en betaversion finns framme).
- Specifika standardavvikelser per fordonskategori för beräkning av maximalnivå från vägtrafik behöver tas fram. Arbetet är planerat att göras under början 2023.
- De rapporterade problemen att beräkna maximalnivå från spårtrafik är identifierade och det finns ett fungerande alternativ. Det kvarstår ett behov av att förtydliga och eventuellt förbättra metoden, men det bör kunna vänta något.
- Korrektion för skillnaden mellan medelmaximalnivå och L_{AFmax} för spårtrafik behöver implementeras.
- Anvisningar för de som utför utredningarna (akustikkonsulter och motsvarande) behöver tas fram.

Arbetet bedöms i huvudsak kunna utföras under 2022, och därmed skulle de rent tekniska förutsättningarna för Nord2000 kunna vara på plats för en svensk bastillämpning fr o m 1 januari 2023. Innan en övergång kan göras behöver dock berörda användargrupper bli informerade och ges tid att förbereda sig. Hur det bör gå till och hur mycket tid det kan ta har inte undersökts. Även råd som riktar sig till beställare är angeläget att ta fram, men arbetet är inte inplanerat.

Om övergången görs så att alla nya utredningar ska utföras med Nord2000 efter ett specifikt datum, så är 1 januari 2023 alltför tidigt. Ett alternativ kan vara att göra en löpande övergång, så att Nord2000 kan börja användas för nya utredningar från ett visst datum, och att Nord2000 rekommenderas för samtliga nya utredningar exempelvis ett år senare. Man kan även ha ett upplägg där tidplaner för väg- och spårtrafikbuller skiljer sig åt, och att Nord2000 i så fall först införs för vägtrafik eftersom det är av särskild betydelse för Trafikverket. Det bör även vara tillåtet, men inte obligatoriskt, att gå över från Nord96 till Nord2000 inom pågående utredningar.

10 Referenser

- [1] J. Kragh, Nord2000. *State-of-the-art overview of the new Nordic prediction methods for environmental noise*. InterNoise 2000.
- [2] H. G. Jonasson, *Source modelling in the new Nordic prediction methods for environmental noise*. InterNoise 2000.
- [3] J. Kragh, B. Plovsing, S. Å. Storeheier, H. G. Jonasson, *Nordic Environmental Noise Prediction Methods, Nord2000. Summary Report. General Nordic Sound Propagation Model and Applications in Source-Related Prediction Methods*. AV 1719/01, DELTA, 31 December 2001, revised 21 May 2002.
- [4] B. Plovsing, J. Kragh, Nord2000. *Comprehensive Outdoor Sound Propagation Model. Part 1: Propagation in an Atmosphere without Significant Refraction*. AV 1849/00, DELTA, December 2000, revised 31 December 2001.
- [5] B. Plovsing, J. Kragh, Nord2000. *Comprehensive Outdoor Sound Propagation Model. Part 2: Propagation in an Atmosphere with Refraction*. AV 1851/00, DELTA, December 2000, revised 31 December 2001.
- [6] H. G. Jonasson, S. Å. Storeheier, Nord 2000. *New Nordic Prediction Method for Road Traffic Noise*. Version 1.0. SP Rapport 2001:10, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, 2001-12-21.
- [7] H. G. Jonasson, S. Å. Storeheier, Nord 2000. *New Nordic Prediction Method for Rail Traffic Noise*. Version 1.0. SP Rapport 2001:11, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, 2001-12-21.
- [8] G. Taraldsen, S.Å. Storeheier, Demo software for calculating road and rail traffic noise according to Nord2000, dn2000.exe (8300 kB), SINTEF.
- [9] *Final Technical Report*, Deliverable 4 of the HARMONOISE project, HAR7TR041213AEAT03.doc, 25 February 2005
- [10] *Final Synthesis Report – Guidance on the IMAGINE methods*, IMA10TR-06116-AEATNL10, 2006-11-16.
- [11] E. M. Salomons, I. M. Noordhoek, *Work Package 2 – Reference Model. Task 2.3 Benchmark calculations and modeling approximations*. HAR23TR-020222-TNO10.doc, TNO, 29 November 2002.
- [12] J. Kragh et al., *Håndbog Nord2000 – Beregning af vejstøj i Danmark*, Rapport 434 – 2013, Vejdirektoratet.
- [13] B. Plovsing, *Noise mapping by use of Nord2000 – Reduction of number of meteo-classes from nine to four*, Working Report No. 18 2007, DELTA Danish Electronics Light & Acoustics.
- [14] J. Kragh et al., *User's Guide Nord2000 Road*, AV 1171/06, DELTA, 2006.
- [15] H. G. Jonasson, *Acoustic Source Modelling of Nordic Road Vehicles*, SP Rapport 2006:12, 2006.
- [16] K. Larsson and H. G. Jonasson, *Uppdaterade beräkningsmodeller för vägtrafikbuller*, SP Rapport 2015:72, 2015.
- [17] B. Plovsing, Nord2000. *Comprehensive outdoor sound propagation model. Part 1: Propagation in an atmosphere without significant refraction*. AV 1849/00, DELTA, revised 2006.
- [18] B. Plovsing, Nord2000. *Comprehensive Outdoor Sound Propagation Model. Part 2: Propagation in an Atmosphere with Refraction*. AV 1851/11, DELTA, revised 2006.
- [19] B. Plovsing, *Changes in the Nord2000 propagation model since year 2001*. AV 1307/05, DELTA, 31 March 2001.
- [20] B. Plovsing, Nord2000. *Validation of the Propagation Model*. AV 1117/06. DELTA,

2006.

- [21] R. Eurasto, *Nord2000 for road traffic noise prediction – WP4. Weather classes and statistics*. VTT-R-02530-06, VTT, 2006-04-07.
- [22] G. Taraldsen, *N2kR-TC*, typfallsprogramvara, senaste version 1.3 (oktober 2020). SINTEF. Går att ladda ned från sintef.no/n2kr.
- [23] B. Plovsing, *Proposal for Nordtest Method: Nord2000 – Prediction of Outdoor Sound Propagation*, AV 1106/07, DELTA, revised 2014
- [24] B. Plovsing, E. Thyséll, *Nord2000 – Prediction of Outdoor Sound Propagation. Amendments to Report AV1106/07 revised 2014*, TC-101327, FORCE Technology, 2019.
- [25] B. Plovsing, *Revision af kildemodell ved anvendelse af Nord2000 til beregning af maksimalværdi fra jernbaner*, RL 14/17, Miljøstyrelsens referencelaboratorium for støymålinger, 27 december 2016.
- [26] B. Plovsing, Mail fra Referencelaboratoriet til bl. a. Hans Bjerregaard, 27 mars 2019.
- [27] Beräkningsresultat utfört av Per Lindkvist, Akustikkonsulten. Tillhandahållet av Åsa Lindkvist, Efterklang.
- [28] Personlig kommunikation med Dieter Zollitsch, SoundPLAN GmbH, Våren 2022.
- [29] B. Plovsing, E. Thyséll, *Test Cases for Railway Noise – Nord2000*, RL 14/18, Miljøstyrelsens referencelaboratorium for støymålinger, 2018.
- [30] B. Plovsing, E. Thyséll, *Test Cases for Road Traffic Noise – Nord2000. Version December 2018*, RL 18/18, Miljøstyrelsens referencelaboratorium for støymålinger, Oktober 2019.
- [31] *Vägledning om buller från vindkraftverket*, Naturvårdsverket, 2020-12-01.
- [32] B. Søndergaard, B. Plovsing, T. Sørensen, *Validation of the Nord2000 propagation model for use on wind turbine noise – Final report*, AV 1238/09, DELTA, 30 September 2009, revised 8 October 2009.
- [33] W. Zhong Shen et al, *Validation of noise propagation models against detailed flow and acoustic measurements*, Journal of Physics: Conference Series, 2020.
- [34] Personlig kommunikation med Erik Thyséll, FORCE Technology, hösten 2021 / våren 2022.
- [35] M. Höjer, P. Lindkvist, M. Karimpour, *PM Beräkningsmanual för buller i projekt Ostlänken – Beräkning buller med Nord2000 – Järnvägstrafik och vägtrafik*, TRV 2014/48912, filnamn OLP0-04-025-00000-0_0-0103, Trafikverket, 2019-04-17.
- [36] X. Zhang, *Three Typical Noise Assessment Methods in EU*, SP Report 2014:33, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2014.
- [37] X. Zhang, *Noise Assessment Method for High-Speed Railway Applications in Sweden*, SP Report 2014:34, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2014.
- [38] X. Zhang, *Tuning of the acoustic source model – Aiming at accurate noise assessments along high-speed railways*, SP Report 2015:42, SP Technical Research Institute of Sweden, 2015.
- [39] K. Strømmer, *Bulleremissioner från elmotorvagnar, typgodkända år 2015–2035, antagna data för beräkning av bullernivåer*. TRV 2016/81283, Trafikverket, 2017-02-07.
- [40] *NoizCalc – Technical white paper 1.4 en, d & b audiotechnik*, D5386.EN.01, April 2020.
- [41] M. Huseby et al, *Final report: Improvement of the computational methods of the Norwegian Defence Estates Agency for computing noise from the Norwegian defence training ranges*. FFI-rapport 2007/02602, Norwegian Defence Research Establishment (FFI), 2008.
- [42] *Buller från spårburen trafik – Nordisk beräkningsmodell*. Rapport 4935,

Naturvårdsverket förlag, 1999.

- [43] C. Göransson, T. Ström, *Extern buller från svenska tågtyper – Nya indata till den nordiska beräkningsmodellen*. SP Rapport 1994:25, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, 1994.
- [44] M. Ögren, T. Jerson, *Indata till bullerberäkningsmetoder för motorvagn X60*, VTI notat 9-2010, VTI, 2010.
- [45] T. Jerson, M. Ögren, *Elmotorvagn Coradia Duplex – Littera X40. Indata till beräkningsmodellerna NMT96 och Nord 2000*. WSP, 2012.
- [46] T. Jerson, M. Ögren, *Spårvagnar ASEA/ASJ M28, Hägglund M29, ASEA M31 och Anzaldobreda M32. Indata till beräkningsmodellerna NMT96 och Nord 2000*. WSP, 2012.
- [47] T. Jerson, *Bulleremission från nya svenska tågtyper. Indata till den nordiska beräkningsmodellen för buller från spårburen trafik*. WSP Akustik, 2004.
- [48] M. Ögren et al, *Svenska indata för beräkning av buller från spårburen trafik enligt EU Direktiv 2015/966 (Cnossos-EU)*, Sahlgrenska Universitetssjukhuset, Arbets- och miljömedicin, Västra Götalandsregionens Miljömedicinska Centrum (VMC), 2021.
- [49] SoundPLAN GmbH, Tyskland, <https://www.soundplan.eu/en/>
- [50] DataKustik GmbH, Tyskland, datakustik.com
- [51] Personlig kommunikation med Antonio Notario, DataKustik, januari och oktober 2022.
- [52] Projektsida om NorStøy hos SINTEF, www.sintef.no/en/projects/2012/norstoy/.
- [53] Personlig kommunikation med Lars Nordvall, Triona AB, januari – februari 2022.
- [54] Personlig kommunikation med Torunn Moltumyr, Statens vegvesen, januari–februari 2022.
- [55] *Støybygg III – Brukerveileder*. Rapportnummer 101/13.Statens vegvesen, 2013.
- [56] Personlig kommunikation med Herold Olsen, SINTEF, februari 2020 – mars 2022.
- [57] *Brukerveileder Nord2000 Road – Norsk oversettelse og implementering i NorStøy*, Håndbok V717, Statens vegvesen, 2014.
- [58] L. Wikström, I. Solheim, *NorStøy, ett projekt i Statens vegvesen, ett verktyg for bullerberäkning*. TNE Användardagar, Knivsta, 2007-09-13. Triona AB.
- [59] S. E. Løes, *TNE i Statens vegvesen*. ATP brukernettverksmøte 30.11.09, Statens vegvesen, 2009.
- [60] K. Jetlund, *Creating terrain models with FME*, Statens vegvesen, 2010.
- [61] Information från noiselabdk.wordpress.com/more-software/sound-propogation-nord2000.
- [62] EMD International A/S, Danmark, www.emd-international.com.
- [63] SoundPLAN version 6.3 Update notes, 20 april 2005.
- [64] H. G. Jonasson, *Jämförelse mellan Nord2000 Road och 1996-års modell*, SP Rapport 2009:18, 2009.
- [65] A. Gustafson, A. Genell, *Beräkning av vägtrafikbuller med CNOSSOS-EU, Nord2000 och Nord96 – En underlagsrapport, del 1 och 2*. Rapport för Kunskapscentrum om buller, Gärdhagen Akustik AB, 2022.
- [66] W. Wei, D. Botteldooren, T. Van Renterghem, M. Hornikx, J. Forssén, E. Salomons, M. Ögren, *Urban background noise mapping: the general model*, Acta Acustica united with Acustica, 2014.
- [67] S. Chandrasekar, *Noise Barriers*, artikel på hemsida geonoise.asia/noise-barriers/, besökt juli 2022.

- [68] Work Package 2 Reference Model. Task 2.2 *State of the art of modeling*. Technical report, HARMONOISE, HAR22-TR020220-TNO11.doc. 19 November 2002.
- [69] B. Plovsing, *Forskelle mellem støjniveauer beregnet med de eksisterende metoder for vej- og jernbanestøj og med Nord2000*, AV 1578/03, DELTA, 2003.
- [70] Korrespondens mellan Jørgen Kragh och SoundPLAN Nord ApS, Danmark, februari 2022.
- [71] B. Plovsing, *Metode til bestemmelse af årsmiddelværdi af støj på basis af meteorologisk statistik*, AV 1627/02, DELTA, 2002.
- [72] M. Ögren, A. Genell, A. Gustafson, *Beräkning av maximal bullernivå med CNOSSOS-EU*, Sahlgrenska Universitetssjukhuset, Arbets- och miljömedicin, 2020.
- [73] *Commission Directive (EU) 2015/996 of 19 May 2015 establishing common noise assessment methods according to Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council*.
- [74] *Kommissionens delegerade direktiv (EU) .../... av den 21.12.2020 om ändring, för anpassning till den vetenskapliga och tekniska utvecklingen, av bilaga II till Europaparlamentets och rådets direktiv 2002/40/EG i fråga om gemensamma bedömningsmetoder för buller*, C(2020) 9101 final, Bryssel, 2020-12-21.
- [75] B. Plovsing, *Praktisk anvendelse af Nord2000 til støjberegninger*, Orientering nr. 39, Miljøstyrelsens referencelaboratorium for støjalinger, 2008.
- [76] J. Kragh, *Vejbelægning i Nord2000 - Vordan vi tager vejbelægningen med i beregninger af trafikstøj*, Bakgrundsnotat, dokument 08/14637-3, Vejdirektoratet 2013.
- [77] A. Genell, T. Jerson, *Cnossos EU / Nord2000. Mätserie 2D – Tillägg snabbtåg X2. Pilotstudie bulleremission från nyrenoverade X2-tåg vid Torp*, utkast 2022-11-10.
- [78] Personlig kommunikation med John Klinkby, SoundPLAN Nord ApS, Danmark, 2010.