

NORD2000

Beräkning av buller från väg- och spårtrafik för
svenskt bruk – en användarhandledning

SAMMANFATTNING

Rapporten innehåller metodstöd för beräkning av buller från väg- och spårtrafik med Nord2000 för svenskt bruk.

Andreas Gustafson, VTI

Anders Genell, VTI

Mikael Ögren, Sahlgrenska

Universitetssjukhuset

Utkastversion 2023–05–10

Förord

Användarhandledningen har tagits fram inom projektet Kunskapscentrum om buller. Projektet leds av VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut på uppdrag av Naturvårdsverket, Trafikverket och Transportstyrelsen.

Göteborg, 10 maj 2023

Andreas Gustafson, VTI

UTKAST 230510

Innehållsförteckning

1	Bakgrund och syfte.....	3
2	Referensväder, referenstrafik och riktvärden.....	4
3	Markytans egenskaper	5
3.1	Impedansklass	5
3.2	Ytråhet.....	6
4	Vägtrafik	7
4.1	Svenska emissionsdata.....	7
4.2	Fördelning per fordonskategori och över dygn.....	7
4.2.1	Trafikverkets uppgifter	8
4.2.2	Skattning för övriga vägar	8
4.2.3	Dygnsfördelning	9
4.2.4	Identifiering av trafikfall (endast information).....	10
4.3	Maximalnivå	10
4.4	Vägyta.....	10
4.5	Hastighet	11
4.5.1	Skyltad hastighet	11
4.5.2	Verklig hastighet.....	11
4.6	Korsningar och rondeller.....	12
5	Spårtrafik.....	13
5.1	Svenska emissionsdata.....	13
5.2	Trafikmängd, hastighet.....	13
5.3	Korrektioner för växlar m m.....	13
5.4	Korrektion för ytråhet hos räl och hjul.....	13
5.5	Maximalnivå	14
6	Ljudutstrålning från tunnelöppning	15
7	Redovisning av underlag och beräkningsparametrar.....	16
8	Referenser	17
Bilaga 1.	Markytans egenskaper	19
B1.1.	Impedansklass för porös vägbeläggning	19
B1.2.	Nationella Marktäckedata	19
B1.3.	Markens ytråhet	20
Bilaga 2.	Vägtrafik	22
B2.1.	Fordonskategorier	22
B2.2.	Översättning av fordonsklasser i Tindra till kategorier i Nord2000	22
B2.3.	Skattning med stöd av ÅDT total, ÅDT lastbilar, ÅDT axelpar	23

B2.4.	Svenska emissionsdata (fordon med förbränningsmotor).....	24
B2.5.	Emissionsdata elfordon	25
B2.6.	Maximalnivå	26
B2.7.	Vägtemperatur	26
B2.8.	Dubbdäck.....	26
B2.9.	Våt vägyta	27
B2.10.	Vägytans ålder	28
	Täta vägbeläggningar	28
	Porösa vägytor.....	28
Bilaga 3.	Spårtrafik	29
	B3.1. Stationer	29
Bilaga 4.	Statistisk spridningsmodell.....	29
Bilaga 5.	Typfallsprogramvara.....	30
Bilaga 6.	Road traffic, notations on calculating $L_{max,n^{th}}$ in Sweden	32
	B6.1. Background: Swedish guidelines for maximum level from road and rail traffic noise.....	32
	B6.2. Calculation of L_{max} for a normally distributed traffic flow	33
	B6.3. Calculation of L_{max} adapted to Swedish regulations	35

1 Bakgrund och syfte

Den gemensamma nordiska beräkningsmetoden Nord2000 publicerades 2001 och har därefter succesivt utvecklats vidare [1]. Metoden är noggrannare och har stöd för mer detaljerade och delvis annorlunda indata än föregångarna Nord96 väg och Nord96 spår, vilket ökar möjligheterna att bygga upp verklighetstroga modeller och beräkna realistiska ljudnivåer. Samtidigt behöver fler val göras under modelleringsarbetet.

Kunskapscentrum om buller har fått i uppdrag att utarbeta denna användarhandledning för att säkerställa att beräkningarna ger så rättvisande resultat som möjligt. Syftet är att den ska utgöra en gemensam grund för val av förutsättningar vid svenska bullerberäkningar med Nord2000, vilket förenklar arbetet och sörjer för att resultaten av beräkningar från alla användare blir så lika som möjligt. Beräkningarna ska normalt göras för en vädersituation som efterliknar Nord96 och för samma referenstraftiksituation som tidigare, se avsnitt 2.

Målgruppen är användare av Nord2000.

För att använda beräkningsmetoden är det nödvändigt att ha tillgång till ett beräkningsprogram, det går inte längre att göra handberäkningar med nomogram på samma sätt som med Nord96 väg och Nord96 spår. En gratis typfallsprogramvara presenteras i Bilaga 5.

2 Referensväder, referenstrafik och riktvärden

Svenska riktvärden för dygnsekvivalent och maximal ljudnivå från väg- och spårtrafik ska i normalfallet jämföras mot ljudnivåer som beräknats för ett referensväder motsvarande det i Nord96 väg respektive Nord96 spår [14][15], med svagt gynnsam ljudutbredning i alla riktningar¹.

Vidare förutsätts i normalfallet lufttemperatur 15 °C och torr barmark, och för vägar torr vägbana och inga dubbdäck. Både väg- och spårtrafikbuller beräknas normalt för en trafiksituation som motsvarar ett årsmedeldygn (ÅDT).

Såvida inte beräkningen specifikt avser en nylagd vägbeläggning väljs vägbanans ålder till ≥ 2 år.

I normalfallet används följande inställningar som simulerar de referensväder som ingår i Nord96 väg och spår [3][29][16]:

$$z_0 = 0,025 \text{ m}$$

$A = 0,25$ (används vid vägtrafikberäkningar, motsvarar vindhastighet 1,5 m/s @ 10 m över mark)

$A = 0,5$ (används vid spårtrafikberäkningar, motsvarar vindhastighet 3,0 m/s @ 10 m över mark)

$B = 0$ (motsvarar temperaturgradient 0 °C/m)

$t = 15 \text{ °C}$ (ger ljudhastighet $C = 340 \text{ m/s}$)

$RH = 70 \%$

$$C_v^2 = 0,12 \text{ m}^{4/3} \text{ s}^{-2}$$

$$C_T^2 = 0,008 \text{ Ks}^{-2}$$

$$\sigma_w = 0,5 \text{ m/s}$$

$$\sigma_{dt/dz} = 0$$

där z_0 är markens (aerodynamiska) grovhetslängd, 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_v^2 och C_T^2 är turbulensparametrar för vind respektive temperatur, och σ_w respektive $\sigma_{dt/dz}$ är standardavvikelse för vind respektive temperaturgradient.

För beräkning av luftabsorption över hela landet rekommenderas utöver ovanstående värden på lufttemperatur och relativ luftfuktighet även lufttryck $p = 1013 \text{ hPa}$.

¹ Se [7] del 2, avsnitt 1. Nord2000 kan beräkna ljudutbredning för olika väderförhållanden. På sikt kan det bli aktuellt att gå över till att använda verkliga väderdata, exempelvis ifall svenska riktvärden kommer anges med ett ljudmått som representerar ett sant årsmedelvärde (som L_{den} och L_{night}).

3 Markytans egenskaper

Nord2000 beskriver markytans egenskaper med dess akustiska impedans och ytråhet vilka är kopplade till mätbara storheter. I de äldre nordiska beräkningsmetoderna har marken ett av två² tillstånd, den är antingen hård (asfalt, betong, vatten och liknande) eller mjuk/porös (gräsmattor, skog etc) och det saknas en mätbar definition om var gränsen mellan dem går³.

3.1 Impedansklass

Nord2000 utgår från markytans *strömningsmotstånd* för att bestämma dess akustiska impedans⁴ som i sin tur används för att beräkna markeffekten⁵. Markimpedansen väljs från åtta *impedansklasser A–H* som svarar mot olika markförhållanden enligt Tabell 1. I dagsläget finns ingen dataprodukt med markimpedans, underlag till beräkningar tas vanligen fram utifrån Tabell 1 med stöd av flygbilder och fastighetskarta. Är det oklart vilken av flera impedansklasser som är mest korrekt väljs den klass som ger högst ljudnivå (tätare mark ger normalt högre ljudnivå).

Det går också att mäta upp markimpedansen [4] vilket kan vara aktuellt i särskilda fall.

Impedansklass	Representativt strömningsmotstånd σ (kPas/m ²)	Motsvarande Nordtest-klasser [4]	Beskrivning
A	12,5	10, 16	Mycket mjuk (snö eller mossliknande)
B	31,5	25, 40	Mjuk skogsbotten (kort, tät, ljunglik eller tjock mossa)
C	80	63, 100	Okomprimerad, lös mark (gräs, lös jord), järnvägsspår på ballast
D	200	160, 250	Normal okomprimerad mark (skogsbotten, ängsmark)
E	500	400, 630	Komprimerade fält och grus (komprimerade gräsmattor, parkområden)
F	2 000	2 000	Komprimerad, tät mark (grusväg, p-plats av grus, vägyta enligt ISO 10844)
G	20 000	20 000	Hård yta (normal belagd väg, ballastfria spår)
H	200 000		Mycket hård och tät yta (tät asfalt, betong, vatten)

Tabell 1. Klassificering av marktyp i Nord2000 [3][24].

Markytans egenskaper ska normalt avse en situation med referensväder enligt avsnitt 2 (torr barmark).

För vägar med dränsasfalt bör utgångspunkten vara att använda klass G eftersom erfarenheten är att ljudabsorptionen snabbt minskar med tiden. Se även bilaga B1.1.

² I Nord96 spår och dess förlaga, den nordiska industribullermetoden [2], går det också att ange hur stor andel av marken som är mjuk och då antas resten av marken vara hård.

³ Jämfört med beskrivningarna i Tabell 1 motsvarar hård mark ungefär impedansklass F–H, medan övriga impedansklasser därmed svarar mot mjuk mark.

⁴ Nord2000 beräknar den akustiska impedansen från markens flödesmotstånd med Delaney och Bazleys impedansmodell för absorbenter. Modellen fungerar mindre bra i vissa specialfall, som exempelvis dränsasfalt med dubbla lager, snö på hård mark eller mycket låga frekvenser.

⁵ Effekt av samverkan mellan direktljud och markreflekterat ljud. Inparametrar är aktuell geometri, markens impedans och ytråhet, samt refraktion och turbulens.

Fastighetskartans ytskikt för markslag kan översättas till impedansklass enligt Tabell 2. Överensstämmelsen med verklig markimpedans blir dock inte alltid bra, varför översättningen normalt bör granskas mot flygbilder, samt vid behov justeras och kompletteras enligt Tabell 1⁶.

Två exempel på förenklad bearbetning är att begränsa bedömningen till att skilja mellan *mjuk* och *hård* mark representerade av klass *D* och *G*, respektive att använda den översatta Fastighetskartan utan granskning/justering mot flygbilder. Båda förenklingarna kan medföra lägre noggrannhet.

Fastighetskartan, ytskikt			Nord2000
Skikttnamn	Detaljtypskod	Namn	Impedansklass
MY	VATTEN	Vatten (sjöar och större vattendrag)	H
MY	BEBYGG	Bebyggelse, ospecificerad	E
MY	BEBLÅG	Låg bebyggelse	E
MY	BEBHÖG	Hög bebyggelse	G
MY	BEBSLUT	Sluten bebyggelse	G
MY	BEBIND	Industriområde	G
MY	ODLÅKER	Åker	D
MY	ODLFRUKT	Fruktodling/fröplantage	D
MY	ODLEJÅK	Ej brukad åker	E
MY	ÖPMARK	Annan öppen mark	E
MY	ÖPKFJÄLL	Kalfjäll	C
MY	ÖPGLAC	Glaciär	B
MY	SKOGBARR	Barr- och blandskog	C
MY	SKOGLÖV	Lövskog	B
MY	SKOGFBJ	Fjällbjörkskog	C
MY	MRKO	Ej karterat område	E
MY	MKKÖVR	Övrig mark, oklassificerad	E
MY	ÖPTORG	Torg	F
MY	OSPEC	Ospecificerad yta, ofta kod på felaktig yta	E
MS	SANK	Sankmark	E
MS	SANKSVÅ	Sankmark svårframkomlig	F
MS	SANKBLE	Sankmark blekvät	F

Tabell 2. Impedansklass för olika typer av markslag i Fastighetskartans ytskikt MY (heltäckande markdata) och MS (sankmark) [7][8]. Notera att översättningen inte alltid resulterar i korrekt markimpedans för en plats⁶.

3.2 Ytråhet

Markens *ytråhet* sätts normalt till 0 m (klass N). Se Bilaga 1 för mer information.

⁶ Exempelvis i bebyggd miljö där markegenskaperna egentligen inte beror av vilken typ av bebyggelse det är.

4 Vägtrafik

Nord2000 delar in fordonen i fem huvudkategorier enligt Tabell 3. Tillgängligt underlag för kategori 4 och 5 är dock begränsat. Tills vidare används normalt endast kategori 1–3.

Källmodellen separerar däckbullen från framdrivningsbullen. Det är möjligt att korrigera för vägytans typ och ålder, för icke-jämna trafikflöden och för motorbroms hos tunga fordon (kategori 3). Det går egentligen också att ta hänsyn till temperaturens påverkan på däck-vägbanebullret, samt förekomst av våt vägyta och dubbdäck, men dessa parametrar ges normalt de rekommenderade värden som svarar mot gällande referensväder enligt avsnitt 2 (15 °C, inga dubbdäck, torr vägyta utan snö och is).

Kategori	Kort beskrivning	Max bruttovikt (kg)	Fordonslängd ⁷ (m)
1	Lätta fordon	3 500	<5,5
2	Medeltunga fordon (tungta fordon med två axlar)	3 500–12 000	5,6–12,5
3	Tunga fordon	>12 000	>12,5
4	Övriga tunga fordon (traktorer, lantbruksmaskiner, motorredskap)		
5	Tvåhjulingar (mopeder, motorcyklar)		

Tabell 3. Förenklad sammanställning över fordonskategori 1–5 enligt Nord2000. Se Tabell 12–Tabell 14 för utförligare beskrivning. Kategori 2 har två axlar och 4–6 hjul, medan kategori 3 har tre eller fler axlar.

4.1 Svenska emissionsdata

Svenska emissionsparametrar för fordonskategori 1–3 redovisas i Tabell 16 (se bilaga B2.4).

Emissionen för fordonskategori 3 kan varieras med antalet axlar (ansatt fyra axlar i urban miljö och fem axlar utanför städer om bättre uppgifter saknas).

Emissionen korrigeras för vägens lutning. Kategori 3-fordon kan modelleras med eller utan korrektion för motorbroms i nedförsbackar (vanligt förekommande vid branta och långa nedförsbackar).

För närvarande saknas särskilda svenska emissionsdata för elfordon. Se bilaga B2.5 för mer info.

4.2 Fördelning per fordonskategori och över dygn

För att beräkna de mått som brukar efterfrågas i trafikbulerutredningar – dygnsekvivalent ljudnivå samt sjätte högsta⁸ maximala ljudnivå per timme dag–kväll respektive för hela natten – behövs följande trafikmängdsuppgifter *per fordonskategori*⁹:

- årsmedeldygnstrafik (ÅDT),
- andelen av ÅDT per medeltimme¹² kl 06–22,
- samt andelen av ÅDT som infaller kl 22–06.

Saknas någon eller några av uppgifterna behöver dataunderlag bearbetas innan det går att använda för beräkningar. Om trafikdata exempelvis bara redovisas som ÅDT och andel tunga fordon, alternativt endast som ÅDT, behövs kompletterande uppgifter om hur trafiken är fördelad per fordonskategori respektive över dygnet. Såvida inte det finns bättre data används schablonvärden

⁷ Trafikverkets mätutrustning registrerar axelavstånd och inte fordonslängd.

⁸ I texter om riktvärden anges vanligen att maximalnivån får överskridas högst fem gånger, vilket är detsamma som att den sjätte högsta maximalnivån ska klara riktvärdet.

⁹ Trafikverket och kommuner rekommenderas tillhandahålla trafikuppgifter på detta sätt för att minska felaktigheter i beräkningsresultaten.

enligt avsnitt 4.2.2–4.2.3. De redovisade schablonvärdena kan bytas ut mot andra schablon- eller mätvärden om det kan göras sannolikt att de nya värdena bättre svarar mot aktuella förhållanden.

4.2.1 Trafikverkets uppgifter

Trafikverkets vägdataproduct *Trafik* som kan hämtas från Lastkajen har kompletterats för att passa kartläggningar enligt omgivningsbullerdirektivet på så sätt att det för många vägavsnitt även redovisas ÅDT fördelat över dag, kväll och natt, separat för fordonskategori 1–3. För vägavsnitt där uppgifterna saknas finns en alternativ metod baserad på ÅDT total, ÅDT lastbilar och ÅDT axelpar, se Bilaga 2.

Uppgift om andelen av ÅDT under medeltimme trafik dag–kväll kan bestämmas från uppgifter i Trafik eller TIKK, alternativt skattas enligt avsnitt 4.2.3.

4.2.2 Skattning för övriga vägar

Schablonfördelningarna i Tabell 4 och Tabell 5 (korrelerar inte med varandra) kan användas om bättre underlag saknas.

Schablonerna i Tabell 4 kan användas när uppgift om antal tunga fordon finns tillgänglig men inte fördelningen mellan fordonskategori 2 och 3. Där typ av väg inte går att identifiera kan fördelningen 40 % kategori 2 och 60 % kategori 3 användas. Dygnsfördelning kan skattas enligt avsnitt 4.2.3.

Typ av väg	Fördelning	
	Kategori 2	Kategori 3
Stora vägar med särskilt hög andel tung godstrafik, t ex vissa E-motorvägar utanför städer ¹⁰	10 %	90 %
Stadsgator (exklusive gator med betydande genomfartstrafik)	90 %	10 %
Övriga vägar (vägar och gator som inte identifierats som tillhörande typerna ovan)	40 %	60 %

Tabell 4. Standardfördelning mellan fordonskategori 2 och 3. Fördelningen 40/60 % mellan kategori 2 och 3 kan användas när det inte är möjligt att identifiera vägtyp [6].

När det bara finns uppgift om ÅDT kan fördelning mellan kategori 1–3 hämtas från Tabell 5, och kombineras med skattning av dygnsfördelning enligt avsnitt 4.2.3. Det går också att använda Tabell 7 som är en kombination av Tabell 5 och Tabell 6.

Trafikfall	Beskrivning	Fördelning (% av ÅDT)		
		Kategori 1	Kategori 2	Kategori 3
A	Motorväg 100–130 km/h	85	5	10
B	Stadsmotorväg	85	5	10
C	Landsväg och motsvarande 70–90 km/h	85	10	5
D	Huvudled i tätort 50–70 km/h	90	5	5
E	Gata 50 km/h	95	5	0
F	Gata 30–50 km/h	100	0	0

Tabell 5. Fördelning av fordonskategorier för olika trafikfall¹¹. Från tabell 3 i [3].

¹⁰ Motsvarande vägar i och i närheten av städer kan förväntas ha en högre andel fordon i kategori 2.

¹¹ Ursprungstexten anger hastighetsintervallen 80–90 km/h (trafikfall C), 60–70 km/h (trafikfall D), samt 30–40 km/h (trafikfall F).

4.2.3 Dygnsfördelning

För att beräkna sjätte högsta maximalnivå för natten respektive per timme dag–kväll¹², behöver trafikflöde per fordonskategori under respektive period vara känt. Om bättre underlag saknas kan schablonerna i Tabell 6 och Tabell 7 användas. De utgår från att medeltimme dag–kväll har 6 % av ÅDT, medan andelen nattrafik varierar med trafikfall och fordonskategori enligt schablon i [3].

När det inte är möjligt att identifiera vilket trafikfall A–F som ska användas, eller om en förenklad beräkning görs, kan 13 % av ÅDT ansättas som utgångsvärde för natten och 6 % av ÅDT som utgångsvärde för medeltimme dag–kväll.

Trafikfall	Beskrivning	Fördelning (% av respektive kategoris ÅDT)					
		Kategori 1		Kategori 2		Kategori 3	
		medeltimme dag–kväll (06–22)	natt (22–06)	medeltimme dag–kväll (06–22)	natt (22–06)	medeltimme dag–kväll (06–22)	natt (22–06)
A	Motorväg 100–130 km/h	6	10	6	15	6	20
B	Stadsmotorväg	6	10	6	15	6	20
C	Landsväg och motsvarande 70–90 km/h	6	10	6	10	6	15
D	Huvudled i tätort 50–70 km/h	6	10	6	10	6	15
E	Gata 50 km/h	6	10	6	10	6	15
F	Gata 30–50 km/h	6	10	6	10	6	15

Tabell 6. Schablonvärden för andel fordon per medeltimme dag och kväll, respektive under hela natten för olika trafikfall¹¹. Värdena avser procentuell andel av respektive fordonskategoris årsmedeldygnstrafik. Medeltimme dag–kväll har generellt satts till 6 %. Nattnvärden har hämtats från tabell 5 i [3].

Trafikfall	Beskrivning	Fördelning (antal fordon/h vid ÅDT 10 000 fordon/dygn)					
		Kategori 1		Kategori 2		Kategori 3	
		dag–kväll (06–22)	natt (22–06)	dag–kväll (06–22)	natt (22–06)	dag–kväll (06–22)	natt (22–06)
A	Motorväg 100–130 km/h	478,125	106,25	26,5625	9,375	50,00	25,00
B	Stadsmotorväg	478,125	106,25	26,5625	9,375	50,00	25,00
C	Landsväg och motsv 70–90 km/h	478,125	106,25	56,25	12,50	26,5625	9,375
D	Huvudled i tätort 50–70 km/h	506,25	112,50	28,125	6,25	26,5625	9,375
E	Gata 50 km/h	534,375	118,75	28,125	6,25	0,00	0,00
F	Gata 30–50 km/h	562,50	125,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabell 7. Kombination av Tabell 5 och Tabell 6 men som antal fordon i medeltal per timme, normaliserat till ÅDT = 10 000.

4.2.4 Identifiering av trafikfall (endast information)

I större kartläggningar där det vore alltför tidsödande att välja trafikfall manuellt bör identifiering exempelvis kunna baseras på Trafikverkets dataprodukt Vägslag (NVDB) tillsammans med uppgift om tillåten hastighet och eventuellt även uppgift om befolkningstäthet. Enbart hastighetsbegränsning utgör inte ett tillräckligt underlag för identifiering av trafikfall.

4.3 Maximalnivå

De svenska riktvärdena för maximalnivå från väg- och spårtrafik uttrycks normalt som att den sjätte högsta maximalnivån ska klaras⁸, dels för nattperioden 22–06, dels per timme dag–kväll 06–22¹². Därutöver finns ofta ett tilläggs villkor att maxnivån inte får överskrida riktvärdet med mer än ett visst antal dB, exempelvis 10 dB som i trafikbullenförordningen [11]. Ofta preciseras också att maximalnivån ska avse den mest bullrande fordonstypen.

För vägtrafik utgår en beräkning vanligen från att trafiken är statistiskt normalfördelad¹³, vilket också är ett villkor för att följande förfarande är tillämpligt.

Ljudemissionsdata enligt Tabell 16 ger medelmaximalnivån (ekvation 2.13 i [21]) som sedan kan korrigeras till sjätte högsta maximalnivå med hjälp av standardavvikelsen för maximalnivån (publicerade svenska värden per fordonskategori, se bilaga B6.2) och uppgift om trafikmängd under aktuell period. För att undvika osäkerheter och diskontinuiteter vid mycket låga trafikflöden begränsas korrektionen till värden ≥ 0 (sjätte högsta maximalnivå blir inte lägre än medelmaximalnivån). En beskrivning finns exempelvis under avsnitt 2 i [19], se även Bilaga 2 och Bilaga 6.

4.4 Vägyta

Vägytans egenskaper påverkar rullbullret vilket behöver tas hänsyn till vid bullerberäkningar. Två vanligt förekommande asfaltklasser är dense asphalt concrete (DAC) som på svenska kallas tät asfaltbetong (ABT), och stone mastic asphalt (SMA) som på svenska kallas stenrik asfaltbetong (ABS). Ett exempel på en bullerreducerande vägbeläggning är porös asfalt (porous asphalt concrete, PAC) som också kallas dränasfalt (dränerande asfaltbetong, ABD).

En parameter av betydelse för bulleralstringen är största storlek hos de inblandade stenarna som anges med i millimeter. Exempelvis avser beteckningen SMA 16 att asfalten är av typen stone mastic asphalt med största stenstorlek 16 mm. Se Bilaga 2 för andra vägyteparametrar i Nord2000.

Nord2000 har som referens en virtuell vägyta som är ett medelvärde av DAC 11 och SMA 11, mellan 2–7 år gammal. För övrigt förutsätts att vägytan är torr och att temperaturen är 20 °C¹⁴. Korrektioner för andra vägytor måste relatera till denna referensyta.

¹² Förutsatt normalfördelade maximalnivåer med standardavvikelser enligt bilaga B6.2 är det tillräckligt att basera beräkningen på medeltrafik per timme 06–22 för att samtliga timmar 06–22 ska uppfylla riktvärdet [22].

¹³ Egentligen att maximalnivåerna är statistiskt normalfördelade, så att det går att beräkna sjätte högsta maximalnivå baserat på medelmaximalnivå och standardavvikelse. Se även bilaga B2.6.

¹⁴ I danska utredningar med Nord2000 används ofta årsmedelvärden av vägytekorrektioner. De inkluderar dock effekten av att temperatur och förekomst av våt vägbana varierar över året, och kan därför inte användas i svenska utredningar som avser referensväder enligt avsnitt 2.

För DAC (ABT) och SMA (ABS) med stenstorlekar 8–16 mm kan en frekvensoberoende vägytekorrektion ΔL_{Road} beräknas som

$$\Delta L_{\text{Road}} = RS + 0,25(CS - 11) \text{ dB} \quad (1)$$

där RS (road surface) är $-0,3$ dB för DAC-vägyta och $+0,3$ dB för SMA-vägyta, och CS är maximal stenstorlek (chip size) i millimeter [21].

Vägytekorrektioner som relaterar till någon annan vägytereferens behöver räknas om innan de kan användas med Nord2000. Korrektioner angivna för Nord96, som har SMA 16 som referens, justeras enligt

$$\Delta L_{\text{Road,Nord2000}} = \Delta L_{\text{Road,Nord96}} + 1,55 \text{ dB}$$

där $+1,55$ dB är skillnaden mellan referensytorna för Nord96 och Nord2000 ($\Delta L_{\text{Road,REF,Nord96}} - \Delta L_{\text{Road,REF,Nord2000}}$) beräknad med ekvation (1). Om en korrektion för exempelvis gatsten anges till $+3$ dB för Nord96 blir därmed motsvarande korrektion för Nord2000 $+4,55$ dB.

Vägytekorrektionen görs endast för lätta fordon (kategori 1) [17].

4.5 Hastighet

4.5.1 Skyltad hastighet

Skyltad hastighet i kombination med högsta tillåten hastighet för fordonskategori 2 och 3 kan användas för att beräkna både dygnsekvivalent och maximal ljudnivå. I vissa situationer kan dock hänsyn behöva tas till verklig hastighet, se avsnitt 4.5.2.

Högsta tillåten hastighet för tunga bussar är 90 km/h om passagerarna inte har bälte, respektive 100 km/h om passagerarna har bälte. För tunga lastbilar är högsta tillåten hastighet 80 km/h, med undantag för motortrafikled och motorväg där högsta tillåtna hastighet är 90 km/h [12]. Det ger följande hastighetsuppgifter, som förutsätter att lastbilarna är betydligt fler till antalet än bussarna:

- hastighet kategori 1 = skyltad hastighet, samt
- hastighet kategori 2 och 3 = skyltad hastighet men inte högre än 80 km/h, med undantag för motorväg och motortrafikled där högsta hastighet begränsas till 90 km/h.

4.5.2 Verklighet hastighet

Där verklig hastighet stadigvarande avviker signifikant¹⁵ från skyltad hastighet, exempelvis där en hastighetssänkande åtgärd har införts, kan annan väldokumenterad hastighetsuppgift behöva användas. Avses ett prognostiserat trafikfall bör det finnas belägg för att denna hastighetsuppgift kommer stämma även i framtiden.

Vid beräkning av dygnsekvivalent nivå för ostörda trafikflöden är det ofta tillräckligt att använda medelhastigheten för att ta hänsyn till normalfördelade hastighetsvariationer [21].

För överbelastade trafikflöden och trafikstockningar kan dock beräkning med medelhastighet medföra en underskattning av den dygnsekvivalenta nivån eftersom det då tillkommer mer motorbuller från främst de tunga fordonens acceleration. För tät stadstrafik och andra start/stopp-situationer kan därför framdrivningsljudet hos medeltunga och tunga fordon (kategori 2 och 3) behöva korrigeras med $+3$ dB vilket svarar mot en acceleration på $0,5 \text{ m/s}^2$ [3][13][21]. Notera att

¹⁵ Hastighetens påverkan på emissionen kan exempelvis prövas i beräkningsprogram eller typfallsprogramvaran N2kR-TC. Grov tumregel: ca 1 dB för 10 % ändring i hastighet.

sådana korrigeringar bara är relevanta att göra om trafikflödet är överbelastat under större delen av tiden – några timmars trafikstockning per dygn kan normalt försummas.

Annan (högre) hastighet än medelhastigheten kan behöva användas för att beräkna maximalnivå korrekt¹⁶.

4.6 Korsningar och rondeller

När fordon närmar sig korsningar och rondeller kommer de sakta ned vilket minskar rullbullret, och när de lämnar accelererar de vilket ökar motorbullret (främst för tunga fordon). Effekternas storlek kan dock variera med plats, tid, trafikförhållanden, körsätt hos individuella fordon m m, varför osäkerheten i en modellering för ett specifikt trafikflöde kan bli stor.

Tills vidare rekommenderas därför att korrektion för korsningar och rondeller begränsas till följande upplägg som endast gäller för vägar med hastighetsbegränsningen 50 km/h [21], och där skyltad hastighet används som indata till beräkningen¹⁷:

- Lätta fordon: använd hastigheten 30 km/h i rondeller. Använd dock 50 km/h i särskilt stora rondeller där verklig hastighet kan förväntas vara 50 km/h.
- Tungta fordon i stadstrafik: använd 30 km/h i och i närheten (± 100 m) av rondeller och korsningar utan trafikljus, förutsatt att trafikflödet är så lågt att fordonen normalt inte behöver stanna till. Använd 50 km/h om det finns trafikljus eller om trafiken i normalfallet är så tät att fordonen ofta behöver stanna.

¹⁶ Exempelvis om medelhastigheten påverkas av långsam trängseltrafik dagtid, då maximalnivå nattetid kan behöva beräknas med annan hastighetsuppgift som bättre representerar nattförhållande.

¹⁷ I princip är det möjligt att använda verkliga hastigheter och accelerationer som indata, men underlag saknas liksom kvalitetssäkrade mätmetoder för att ta fram underlag.

5 Spårtrafik

Källmodellen i Nord2000 [29] har ett liknande upplägg som den i Nord96 spår, även om den inte använder exakt samma källhöjder och har tersband istället för oktavband. Den stora skillnaden relativt Nord96 utgörs av den förbättrade utbredningsmodellen.

5.1 Svenska emissionsdata

Uppdaterade emissionsdata för beräkning av spårbuller med Nord2000 redovisas i [30]. Indata baseras på över 700 uppmätta tågpassager fördelade över nio mätplatser där Trafikverket är banhållare, vilka har korrigerats för ytråheten på rälhuvudet på respektive mätplatser. Indata redovisas för X11 (X11–X14), X2, X31, X40, X50 (X50–X54 & X55), X60 (X60–X62), X74, ER1, Y31 (Y31/Y32), lokdragna persontåg, godsvagnar med gjutjärnsblock, samt godsvagnar med komposit-block eller skivbroms. Rapporten ersätter tidigare publicerade Nord2000-indata för dessa tågtyper.

Till skillnad från tidigare mätkampanjer mättes denna gång rälhuvudets ytråhet på samtliga mätplatser. En mätplats valdes ut som referens och emissionsdata för övriga mätplatser normerades till dennas ytråhet¹⁸.

Därutöver finns även emissionsdata för göteborgska spåragnar (M29, M31 och M32) [31] samt för norska och danska tåg.

5.2 Trafikmängd, hastighet

Nord2000 erfordrar samma trafikflödes- och hastighetsuppgifter som Nord96 spår. Se [32] och [33] för vidare information om underlag gällande Trafikverkets banor.

Den hastighetsuppgift per tågtyp som används vid beräkning bestäms normalt som den lägsta av tågtypens respektive banans största tillåtna hastighet (STH). Hastighetsuppgiften kan behöva bearbetas vid stationer, se bilaga B3.1.

5.3 Korrektioner för växlar m m

Tills vidare tillämpas korrigeringar för växlar etc med samma metod som i Nord96 spår. Om bättre underlag saknas kan ljudeffektnivån per meter tåg justeras enligt schablonerna i Tabell 8.

Korrektionerna tillämpas på samtliga frekvensband.

Fall	Korrektion	Tillämpas på spårlängd
Räl med skarv	+3 dB	kontinuerligt
Växlar och korsningar ¹⁹	+6 dB	10 m per växel eller korsning
Bro utan ballast	+6 dB	brons längd
Bro med ballast	+3 dB	brons längd

Tabell 8. Spårkorrektioner, frekvensoberoende schablonvärden enligt [29].

5.4 Korrektion för ytråhet hos räl och hjul

Det går inte att använda uppgifter om ytråhet hos hjul och räl som indata i Nord2000:s nuvarande källmodell för spårbuller. I första hand hänvisas till frekvensoberoende korrigeringar efter den princip som redovisas i Nord96 spår [15]. Angiven korrektion ska då motsvara den totala effekten av ytråhet på både räl och hjul.

¹⁸ Normeringen beskrivs i [30]. Ytråheterna finns redovisade i [35] och [36].

¹⁹ Med korsningar avses platser där två spår korsar varandra, alltså inte järnvägsövergångar där bilväg eller motsvarande korsar spår.

Liksom tidigare kan det vara svårt att fastställa en relevant korrektion. Det är normalt inte tillräckligt att uppskatta korrektionen med mätning vid ett enskilt tillfälle eftersom ytråheten och därmed även ljudeffekten kan variera över tid. Tills vidare är därför utgångspunkten att korrektioner för ytråhet och hjul inte bör användas annat än i särskilda fall.

I Nord96 används korrektion 0 dB för spår med ballast och helsvetsad räl på betong- eller träslipers och typiska underhållsförhållanden. För grövre räl- och/eller hjulyta korrigeras emissionen med +1 till +3 dB, och för mycket ojämn räl och/eller ojämna hjul används korrektion +4 till +6 dB.

Även negativa korrektioner (-1 dB till -3 dB) kan användas för särskilt väl underhållna spår, och om räl och hjul alltid har mycket jämnt löpande ytor kan större negativa värden användas (-4 dB till -6 dB). Användningen av negativa värden bör baseras på väldokumenterade och tillförlitliga fältmätningar som utförts över tillräckligt lång tidsrymd. För att tillämpa negativa korrektioner i beräkningar som avser en prognos behöver även sörjas för att korrektionerna kommer förbli relevanta i den framtid som avses, lämpligen genom reglering i en fastställd underhållsplan.

Enligt nuvarande kunskapsläge blir dock korrektionen i verkligheten betydligt mindre för godståg med bromsblock av gjutjärn eftersom de har mycket ojämnare hjulytor och därför strålar ut mycket ljud även på släta spår, se [30].

Sammanfattningsvis, mot bakgrund av ovanstående rekommenderas att vid beräkning av spårbuller med Nord2000 görs i normalfallet ingen korrektion för ytråhet hos hjul och räl. Om korrektion i särskilda fall ändå ska göras används samma metod som i Nord96 spår (enligt ovan), dock med skillnaden att ingen korrektion görs för godståg med bromsblock av gjutjärn.

5.5 Maximalnivå

Maximalnivå beräknas med den itererande metod²⁰ som beskrivs i den ursprungliga rapporten för spårkällmodellen [29]. Det finns även en alternativ metod²¹ som tagits fram för användning i Danmark [37], men den är inte tillfyllest för svenska utredningsbehov och bör inte användas.

Beräknade maximalnivåer korrigeras så att de avser tidsvägning F genom att använda den metod för omräkning från medelmax till L_{AFmax} som beskrivs av ekvation 5.5 i [29].

²⁰ Metoden omnämns i SoundPLAN som ”more sophisticated method”.

²¹ I SoundPLAN omnämnd som ”simplified method”.

6 Ljudutstrålning från tunnelöppning

Nord2000 har en modell för att beräkna hur ljudet från trafik inuti en tunnel strålar ut från tunnelöppningen som normalt bör användas. Utöver trafikdata anges absorptionskoefficient för väggar och tak samt tunnelns dimensioner [3]. Om bättre absorptionsdata saknas kan schabloner enligt Tabell 9 användas. Finns ingen information om utförandet bör alternativ *1. Slät betong* användas.

	Frekvensområde (Hz)			
	≤ 125 Hz	160–400	500–1250	≥1600
1. Slät betong	0,08	0,08	0,08	0,08
2. Grov betong	0,08	0,11	0,14	0,14
3. Ljudabsorberande åtgärd	0,15	0,5	0,8	0,65

Tabell 9. Schablonvärden på absorptionskoefficienter för innerväggar och -tak i tunnel.

Modellen fungerar för både spår- och vägtrafik. Den hanterar dock inte tunnelknall som kan uppstå då tåg kör in eller ut ur en tunnel med mycket hög hastighet, se exempelvis [38].

7 Redovisning av underlag och beräkningsparametrar

En presentation av beräknade ljudnivåer bör alltid åtföljas av en redovisning av de beräkningsparametrar som har betydelse för resultatet samt en notering om använd programvara med versionsnummer och eventuellt uppdateringsdatum.

En transparent redovisning av använt underlag bör också ingå men textens omfattning kommer behöva anpassas efter vad som är rimligt i varje enskilt fall. Modellen²² som beräkningen görs i kan vara mycket komplex varför åtminstone delar av en sådan redovisning oftast behöver vara översiktlig.

Nedan ges exempel på uppgifter som bör ingå. Det kan även finnas andra upplysningar som är relevanta att ta med. Målet är att någon annan ska kunna upprepa beräkningarna och få samma resultat.

Notera eventuella undantag²³ från rekommendationerna i denna handledning och motivera varför de görs.

- Referensförutsättningar för väder och trafikdata. Normalt görs beräkningarna helt i enlighet med avsnitt 2, och då erfordras inte en fullständig redovisning av dessa parametrar utan det är tillräckligt med en hänvisning till avsnittet.
- De parametrar som styr beräkningsprogrammets avsökningsalgoritm (sökradie, maximalt antal reflektioner, maximalt reflektionsavstånd från källa respektive mottagare, tillåten tolerans, eller motsvarande).
- Parametrar för generering av beräkningspunkter för bullerkonturer (avstånd mellan beräkningspunkter, höjd över terrängen, inställningar för interpolering av resultat i beräkningspunkter).
- Trafikmängd per fordonskategori för väg- och spårtrafik, vilket år de avser och underlagets källa. Det bör framgå om schabloner enligt avsnitt 4.2.2–4.2.3 har använts, eller annan schablon, och i så fall i vilken utsträckning och varför inte uppmätta data använts.
- Hastighetsuppgifter för väg- och spårtrafik. Det bör framgå om korrektion gjorts för start/stopsituationer (avsnitt 4.5.2), för korsning/rondell (avsnitt 4.6) eller för tågstation.
- Korrektion för vägyta (avsnitt 4.4).
- Korrektion för växlar m m (avsnitt 5.3).
- Eventuell korrektion för ytråhet hos räl och hjul (avsnitt 5.4). Bifoga en förklaring till varför korrektionen har gjorts, hur använt värde på korrektionen har fastställts, samt eventuella andra relevanta förutsättningar.
- Underlag och bearbetning som använts för att bestämma markimpedans (avsnitt 3.1).
- Underlag som använts för att ta fram en terrängmodell, samt eventuell bearbetning genom exempelvis filtrering.
- Använt kartunderlag för modellering av trafikobjekt, byggnader, bullerskydd, etc.
- Använt underlag för att beräkna ljudnivå inomhus.

²² Uppbyggd tredimensionell modell med terräng och markegenskaper, byggnadsobjekt, trafikobjekt innehållande trafikdata och korrektioner, bullerskyddsobjekt, beräkningspunkter, med mera.

²³ Ett exempel på ett sådant undantag är att använda en trafiksituation som inte motsvarar ett årsmedeldygn.

8 Referenser

- [1] A. Gustafson, A. Genell, M. Öberg, *Status Nord2000 – Inventering av Nord2000 relativt svenska behov*, VTI, 2022.
- [2] J. Kragh, B. Andersen, J. Jakobsen, *Environmental noise from Industrial Plants. General prediction method*, Report no 32, Danish Acoustical Laboratory, 1982.
- [3] J. Kragh et al., *User's Guide Nord2000 Road*, AV 1171/06, DELTA, 2006.
- [4] Ground surfaces: *Determination of the acoustic impedance* (NT ACOU 104), Nordtest 1999.
- [5] U. Sandberg, J. Ejsmont, *Tyre/Road Noise Reference Book*, ISBN 9163126109, INFORMEX, Harg, SE-59040, Kisa, Sweden, 2002.
- [6] U. Sandberg, *Vehicle Categories for Description of Noise Sources*, Deliverable D08, Harmonoise, Work package 1.1, Document id HAR11TR-030108-VTI04, 2003-08-20.
- [7] 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.
- [8] *Produktbeskrivning: GSD-Fastighetskartan vektor*. Dokumentversion 7.4, Lantmäteriet, 2017-12-19.
- [9] P. Wirsenius et al, *VGU-guiden: Vägars och gators utformning – Stödande kunskap*, Trafikverkets publikationsnummer 2022:006, 2022.
- [10] U. Björketun, A. Carlsson, *Trafikvariation över året – Trafikindex och rangkurvor beräknade från mätdata*. VTI notat 31-2005. VTI 2005
- [11] Förordning (2015:216) om trafikbuller vid bostadsbyggnader, Svensk författningssamling 2015:216.
- [12] www.transportstyrelsen.se.
- [13] G. Watts et al, *Harmonoise WP 3 Statistics and accuracy*, Technical Report HAR34TR-040730-DGMR10, 2004.
- [14] *Vägtrafikbuller – Nordisk beräkningsmodell*, reviderad 1996. Rapport 4653. Naturvårdsverkets förlag, 1996.
- [15] *Buller från spårburen trafik – Nordisk beräkningsmodell*. Rapport 4935. Naturvårdsverkets förlag, 1998.
- [16] Korrespondens mellan Jørgen Kragh och SoundPLAN Nord ApS, Danmark, februari 2022.
- [17] K. Larsson and H. G. Jonasson, *Uppdaterade beräkningsmodeller för vägtrafikbuller*, SP Rapport 2015:72, 2015.
- [18] M. A. Pallas et al. *Noise emission of electric and hybrid electric vehicles: deliverable FOREVER (n° Forever WP2_D2-1-V4)*, [Research Report], IFSTTAR – Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux, 2015.
- [19] K. Larsson, M. Holmes, *Nyttoberäkningar av minskat buller från elbusstrafik i Göteborg*. SP Rapport 2016:89, 2016.
- [20] M. Ögren, A. Genell, A. Gustafson, *Beräkning av maximal bullernivå med CNOSSOS-EU*, Sahlgrenska Universitetssjukhuset, Arbets- och miljömedicin, 2021.
- [21] H. G. Jonasson, *Acoustic Source Modelling of Nordic Road Vehicles*, SP Rapport 2006:12, 2006.
- [22] A. Gustafson, A. Genell, *En kommentar angående beräkning av sjätte högsta maximalnivå från vägtrafik relativt svenska riktvärden*, VTI, under utarbetande, ännu ej publicerad.
- [23] Nationella marktäckedata – ett nationellt system för information om landskapet och dess förändringar. Naturvårdsverket, version 1.1, 2017.
- [24] M. Sohlman, H. G. Jonasson, A. Gustafson, *Using satellite data for the determination of the acoustic impedance of ground*, SP, Metria, 2004.
- [25] M. Varedian, *Metodbeskrivning – Undersökningen av ÅDT*, Trafikverket, 2015.
- [26] B. Plovsing, *Årsmiddelværdi af støj udsendt af vejtrafik*, AV 1670/02, DELTA, reviderat 2004.
- [27] Personlig kommunikation med Ulf Sandberg, VTI, januari 2023.

- [28] U. Sandberg, P. Mioduszewski, T. Vieira, *Acoustic lifecycle study of the double-layer porous asphalt on E4 in Huskvarna, Sweden*, Internoise 2018.
- [29] 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.
- [30] M. Ögren, A. Genell, T. Jerson, P. Torstensson, A. Gustafson, *Svenska indata för beräkning av buller från spårburen trafik med hjälp av Nord 2000*, version 1.15, Sahlgrenska Universitetssjukhuset, Arbets- och miljömedicin, Västra Götalandsregionens Miljömedicinska Centrum (VMC), 2023.
- [31] T. Jerson, M. Ögren, *Spårvagnar ASEA/ASJ M28, Hägglund M29, ASEA M31 och Anzaldobreda M32. Indata till beräkningsmodellerna NMT96 och Nord 2000*. WSP, 2012.
- [32] F. Angelöw, K. Strömmer, *Bullerberäkningar järnväg –Handledning för beräkning med modell NMT96*, Rapport, Trafikverket. Under utarbetande, ännu ej publicerad.
- [33] S. Grudemo et al, *Bullerprognoser – Vilka trafikprognoser ska användas som underlag för bullerberäkningar? – revidering 2018*. Trafikverket publikationsnummer 2018:056.
- [34] *Togstøj ved stationer*, Orientering nr. 50 – 2. udgave, Miljøstyrelsens referencelaboratorium for støjmålinger, juni 2015. Går att hämta från referencelaboratoriet.dk.
- [35] A. Frid, *Cnossos-EU i Sverige – en granskning av källor för spårburen trafik*, rapport 6183157-01, AFRY, 2021.
- [36] A. Swierkoska, *Rail roughness and track decay rates – measurement results*, teknisk rapport, VTI, 2019
- [37] B. Plovsing, *Revision af kildemodell ved anvendelse af Nord2000 til beregning af maksimalværdi fra jernbaner*, RL 14/17, Miljøstyrelsens referencelaboratorium for støjmålinger, 27 december 2016.
- [38] M. Sima, *Mikrotryckvågor ("tunnelknall") i 91 m² dubbelspårstunnlar med STH 250 km/h och ballasterade spår. Underlag för svenska höghastighetslinjer*, rapport 2021:019, Trafikverket, 2020.
- [39] G. Taraldsen, H. Olsen, *N2kR-TC*, typfallsprogramvara, senaste version 1.3 (oktober 2020). SINTEF. Går att ladda ned från sintef.no/n2kr.
- [40] Förordning (2015:216) om trafikbuller vid bostadsbyggnader, Svensk författningssamling 2015:216.
- [41] Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd, BBR, BFS 2011:6 med ändringar till och med BFS 2020:4.
- [42] K. Blidberg, *Buller och vibrationer från trafik på väg och järnväg*. Riktlinje TDOK 2014:1021, version 3.0, Trafikverket, 2020.
- [43] S. Grudemo, *Bullerprognoser – underlag för bullerberäkningar*. Riktlinje TDOK 2016:0244, version 1.0, Trafikverket, 2016.

Bilagor

Bilaga 1. Markytans egenskaper

B1.1. Impedansklass för porös vägbeläggning

För vägar med dränasfalt behöver lämplig impedansklass bestämmas i varje enskilt fall. Helt nylagd dränasfalt (0 år) kan svara mot impedansklass *C*, *B* eller till och med *A*²⁴, men de absorberande egenskaperna avtar i takt med att porerna sätts igen [27].

Med tanke på att bullerutredningar normalt ska gälla över en längre tid rekommenderas därför att klass *G* används, såvida det inte finns särskilda skäl att använda ett annat värde. Sådana särskilda skäl kan vara att det finns en kontrollplan som upprätthåller en högre absorption, eller att man på annat sätt säkerställer att absorptionen bevaras över tid.

B1.2. Nationella Marktäckedata

Naturvårdsverket tillhandahåller dataprodukten Nationella Marktäckedata (NMD) som redovisar markanvändning och vegetation enligt EU:s klassificeringssystem för CORINE Land Cover [23]. Upplösningen är rutor om 10x10 m och data på filformatet GeoTIFF kan laddas ned fritt från Naturvårdsverkets hemsida.

En översättningstabell mellan markklasserna i en föregångare till NMD, GSD-Marktäckedata, och de åtta impedansklasserna A–H i Nord2000 togs fram i ett forskningsprojekt [24]. Kopplingen mellan markklass och markimpedans har verifierats med mätningar. Data är fritt tillgängligt och täcker hela Sverige. Filformatet innebär dock en nackdel. För att kunna användas i ett beräkningsprogram behöver informationen i de ursprungliga GeoTIFF-filerna i dagsläget omvandlas från bitmap till vektorbaserade ytojekt med attribut, och exempelvis sparas som SHP-filer. Upplösningen 10 m kan också ibland vara för låg, exempelvis behövs oftast bättre upplösning vid utredningar i stadsmiljö.

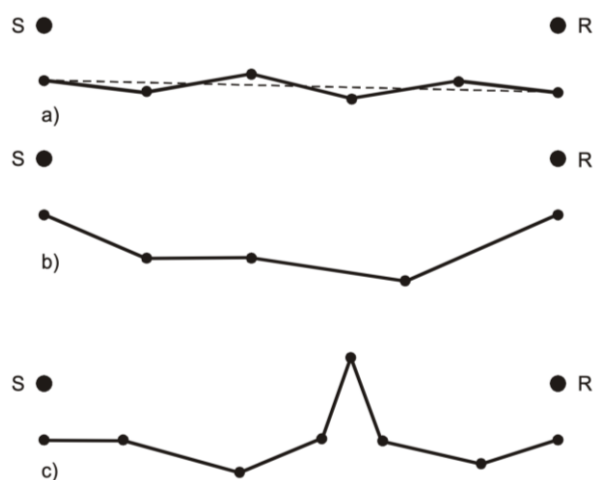
²⁴ Som tumregel kan antas 20-50 kNsm⁻⁴ för högfartsvägar och 12-30 kNsm⁻⁴ för lågfartsvägar [5].

Gridcode	GLC-Class	Impedance class
	1. Laid out areas	
	1.1 Urban areas	
1	1.1.1 Dense urban areas	G (20000)
2-5	1.1.2 Sparse urban areas	D (200)
	1.2 Industry, trading units, public service and military installations and transport units	
6	1.2.1 Industry, trading units, public service and military installations	G (20000)
7	1.2.2 Road and railway networks with surrounding areas	E (500)
8	1.2.3 Harbour areas	G (20000)
9	1.2.4 Airports	D (200)
10-13	1.3 Mining areas, waste dumps and building sites	F (2000)
	1.4 Laid out, non-cultivated, overgrown areas	E (500)
14	1.4.1 Urban green areas	E (500)
15-20	1.4.2 Sport and recreational areas	E (500)
30-32	2. Land dedicated to agriculture	D (200)
	3. Forests and semi-natural ground	
	3.1 Forests	
	3.1.1 Deciduous forests	
40	3.1.1.1 Deciduous forest, not on bog or on visible rock	B (31,5)
41	3.1.1.2 Deciduous forests on bog	B (31,5)
42	3.1.1.3 Deciduous forest on visible rock	E (500)
	3.1.2 Pine forest	
43-45,56	3.1.2.1 Pine forest not on lichen ground	C (80)
46	3.1.2.2 Pine forest on bog	C (80)
47	3.1.2.3 Pine forest on visible rock	E (500)
	3.1.3 Mixed forest	
48	3.1.3.1 Mixed forest, not on bog or visible rock	C (80)
49	3.1.3.2 Mixed forest on bog	C (80)
50	3.1.3.3 Mixed forest on visible rock	E (500)
	3.2 Bush- and/or herblike vegetation types	
51,63,64	3.2.1 Naturally grass-covered ground	D (200)
52	3.2.2 Moorland (except grass covered land)	D (200)
53-55	3.2.4 Transition stage forest/bush	C (80)
	3.3. Open ground with no or sparse vegetation	
58	3.3.1 Beaches, sand dunes and sand planes	D (200)
59	3.3.2 Visible rock and boulders	F (2000)
60	3.3.3 Areas with sparse vegetation	E (500)
61	3.3.4 Fire fields	C (80)
62	3.3.5 Glaciers and permanent snowfields	B (31,5)
	4. Open wetlands	
	4.1 Fresh water wetlands	
70	4.1.1 Limnogene wetlands	F (2000)
	4.1.2 Moorland	E (500)
71	4.1.2.1 Wet moor	F (2000)
72	4.1.2.2 Other moor	E (500)
73	4.1.2.3 Peat bog	E (500)
74	4.2 Salt affected wetlands	F (2000)
80-86	5. Water	G (20000)
99	SMD-class missing	E (500)

Tabell 10. Markklasser från GSD-Marktäckedata och motsvarande Nord2000 impedansklasser A–H. Från [24].

B1.3. Markens ytråhet

I Nord2000:s hantering av markeffekt ingår en metod för att dela upp terrängprofilen i mindre segment (se Figur 1) där varje segment förutsätts vara helt slätt. Utbredningsberäkningar görs för vart och ett av segmenten innan resultaten slutligen vägs samman.



Figur 1. Exempel på segmenterad terräng: a) praktisk taget platt terräng, b) dalformad terräng, c) kulleformad terräng. S = source, R = receiver.

En parameter för markens ytråhet (ground roughness) hanterar de ojämnheter hos terränghöjden som återstår efter Nord2000:s segmentering av terrängprofilen. Ytråheten är rms-värdet av verkliga terrängens höjdavvikelser relativt respektive segment. Den bör representeras av en av de fyra klasserna i Tabell 11.

Inkluderandet av ytråheten vid beräkningar med Nord2000 har dock inte validerats, varför rekommendationen tills vidare är att alltid använda klass N, såvida det inte finns belägg för att noggrannheten förbättras med klass S, M eller L.

Ytråhetsklass	Beskrivning	Ytråhet (m)	Höjdomfång (m)
N	Noll	0	$\pm 0,25$
S	Liten	0,25	$\pm 0,5$
M	Medium	0,5	± 1
L	Stor	1	± 2

Tabell 11. Klassificering av markens ytråhet enligt Nord2000 [3].

Bilaga 2. Vägtrafik

B2.1. Fordonskategorier

Nord2000 delar in fordon i fem huvudkategorier, se Tabell 12. Kategori 1, 2 och 3 omfattar lätta, medeltunga respektive tunga fordon, kategori 4 andra tunga fordon såsom anläggningsmaskiner och lantbruksmaskiner, och kategori 5 innehåller mopeder och motorcyklar.

Main category	No.	Subcategories: Example of vehicle types	Notes	Vehicle length [m]
Light vehicles	1a	Cars (incl. MPV's up to 7 seats)	2 axles, max. 4 wheels	0-5.5 m (car with trailer or caravan not included)
	1b	Vans, SUV, pickup trucks, RV, car+trailer or car+caravan ¹⁾ , MPV's with 8-9 seats	2-4 axles ¹⁾ , max 2 wheels per axle	
	1c	Electric vehicles, hybrid vehicles driven in electric mode ²⁾	Driven in combustion engine mode ²⁾	
Medium heavy vehicles	2a	Buses	2 axles (6 wheels)	7.7-12.5
	2b	Light trucks and heavy vans	2 axles (6 wheels) ³⁾	5.6-7.6
	2c	Medium heavy trucks	2 axles (6 wheels) ³⁾	7.7-12.5
	2d	Trolley buses	2 axles	
	2e	Vehicles designed for extra low noise driving	2 axles ⁵⁾	
Heavy vehicles	3a	Buses	3-4 axles	12.5-15.9
	3b	Heavy trucks ⁴⁾	3 axles	
	3c	Heavy trucks ⁴⁾	4-5 axles	>16
	3d	Heavy trucks ⁴⁾	≥6 axles	
	3e	Trolley buses	3-4 axles	12.5-15.9
	3f	Vehicles designed for extra low noise driving	3-4 axles ⁵⁾	
Other heavy vehicles	4a	Construction trucks (partly off-road use) ⁴⁾		
	4b	Agr. tractors, machines, dumper trucks, tanks		Mostly 7.7-12.5
Two-wheelers	5a	Mopeds, scooters	Includes also 3-wheel motorcycles	
	5b	Motorcycles		

¹⁾ 3-4 axles on car & trailer or car & caravan

²⁾ Hybrid vehicles driven in combustion engine mode: Classify as either 1a or 1b.

³⁾ Also 4-wheel trucks, if it is evident that they are >3.5 tons.

⁴⁾ If high exhaust: identify this in the test report. Categorize as 3b', 3c', 3d', or 4a'.

⁵⁾ For example, some delivery trucks are designed for extra low noise (meeting more stringent standards than the current EU limiting levels) combined with a driving mode called "Whisper mode" making it possible to drive in a residential area with much lower noise emission than for a conventional delivery truck. Trucks and buses especially designed in accordance with these ideas are counted in this category.

Tabell 12. Definition av fordonskategorier i Nord2000 [3].

B2.2. Översättning av fordonsklasser i Tindra till kategorier i Nord2000

Vid Trafikverkets trafikräkningar delas fordonen in i sex klasser enligt Tabell 13. En jämförelse ger att fordonskategori 1–3 i Nord2000 kan identifieras med klasserna i Tindra enligt Tabell 14.

Använd förkortning	Benämning	kommentar
PU	personbilar utan släp	Här ingår även MC
PS	personbilar med släp	
LUL	Lastbilar utan släp, lätt	tvåaxliga lastbilar utan släp, även dessa tunga lastbilar enligt fordonsregistret
LUT	Lastbilar utan släp, tung	treaxliga lastbilar utan släp
LSL	Lastbilar med släp, lätt	
LST	Lastbilar med släp, tung	

Tabell 13. Fordonsklasser som lagras i Tindra från trafikräkningar [25].

Fordonskategori i Nord2000	Fordonsklass i Tindra
1	PU, PS
2	LUL
3	LSL, LUT, LST

Tabell 14. Identifiering av fordonskategori 1–3 i Nord2000 med hjälp av fordonsklasserna i Tindra.

B2.3. Skattning med stöd av ÅDT total, ÅDT lastbilar, ÅDT axelpar
 Ifall trafikuppgifter enligt avsnitt 4.2.1 inte är tillgängliga kan trafikens fördelning mellan kategori 1, 2 och 3 skattas med stöd av trafikmängdsuppgifterna ÅDT total, ÅDT lastbilar och ÅDT axelpar som finns i Trafikverkets produkt Trafik, i Vägtrafikflödeskartan samt i NVDB (Nationell vägdatabas). Dygnsfördelning kan därefter skattas enligt avsnitt 4.2.3.

Antalet axlar hos kategori 3 behöver ges ett ingångsvärde. Om bättre underlag saknas kan kategori 3 antas ha 6 axlar på E-vägar och motsvarande större vägar utanför städer, samt genomfartsleder i städer som kan antas ha en särskilt hög andel långträdare, medan övrig kategori 3-trafik kan antas ha 4 axlar.

Beräkningsgången är:

1. $\text{ÅDT kategori 1} = \text{ÅDT total} - \text{ÅDT lastbilar}$
2. $\text{ÅDT axelpar lastbilar} = \text{ÅDT axelpar} - \text{ÅDT kategori 1}$
3. $\text{ÅDT kategori 2} = a \cdot (b \cdot \text{ÅDT lastbilar} + c \cdot \text{ÅDT axelpar lastbilar})$
Om < 0 sätts $\text{ÅDT kategori 2} = 0$
4. $\text{ÅDT kategori 3} = \text{ÅDT lastbilar} - \text{ÅDT kategori 2}$

Koefficienterna a , b och c väljs enligt Tabell 15. En härledning finns i [7] del 1.

Antal axlar kategori 3	a	b	c
4	1	2	-1
6	1/2	3	-1

Tabell 15. Koefficienter för skattning av fördelning av tunga fordon mellan kategori 2 och 3 enligt beräkningsgång ovan.

B2.4. Svenska emissionsdata (fordon med förbränningsmotor)

Svenska emissionsparametrar för fordonskategori 1–3 med förbränningsmotor redovisas i Tabell 16. Värdena i tabellen inkluderar²⁵ uppdaterade svenska korrektioner från 2015 [17].

f (Hz)	Kategori 1				Kategori 2				Kategori 3, fyra axlar			
	a _R (dB)	b _R (dB)	a _P (dB)	b _P (dB)	a _R (dB)	b _R (dB)	a _P (dB)	b _P (dB)	a _R (dB)	b _R (dB)	a _P (dB)	b _P (dB)
25	69,9	33,0	86,8	2,0	76,5	33,0	94,0	0,0	79,5	33,0	94,7	0,0
31	69,9	33,0	88,6	2,0	76,5	33,0	94,7	0,0	79,5	33,0	94,3	0,0
40	69,9	33,0	88,5	0,0	76,5	33,0	95,5	0,0	79,5	33,0	95,2	0,0
50	74,9	30,0	89,5	0,0	78,5	30,0	95,5	0,0	81,5	30,0	100,3	0,0
63	74,9	30,0	93,6	2,0	79,5	30,0	98,5	0,0	82,5	30,0	104,9	0,0
80	74,9	30,0	91,2	2,0	79,5	30,0	98,4	0,0	82,5	30,0	102,4	0,0
100	79,3	41,0	89,0	4,0	82,5	41,0	94,0	0,0	85,5	41,0	98,0	0,0
125	82,5	41,2	84,4	2,0	84,3	41,2	93,5	0,0	87,3	41,2	98,0	0,0
160	81,3	42,3	83,1	2,0	84,3	42,3	92,2	0,0	87,3	42,3	98,3	0,0
200	80,9	41,8	83,1	6,0	84,3	41,8	96,6	0,0	87,3	41,8	98,3	0,0
250	79,9	38,6	84,2	8,2	88,4	38,6	97,7	8,5	91,4	38,6	99,5	8,5
315	79,8	35,5	83,5	8,2	89,2	35,5	98,0	8,5	92,2	35,5	100,0	8,5
400	81,5	31,7	82,6	8,2	93,0	31,7	95,3	8,5	96,0	31,7	99,0	8,5
500	88,0	25,9	77,6	8,2	95,1	25,9	91,2	8,5	98,1	25,9	98,4	8,5
630	89,7	26,5	77,7	8,2	97,5	26,5	89,4	8,5	100,5	26,5	96,4	8,5
800	91,8	32,5	75,8	8,2	97,8	32,5	90,4	12,5	100,8	32,5	92,1	8,5
1000	94,3	37,7	76,3	8,2	96,6	37,7	92,5	12,5	99,6	37,7	92,8	8,5
1250	93,5	41,4	79,4	8,2	94,0	41,4	93,0	12,5	97,0	41,4	92,3	8,5
1600	91,8	41,6	80,7	8,2	92,9	41,6	90,8	12,5	95,9	41,6	89,2	8,5
2000	88,4	42,3	80,4	9,5	89,5	42,3	90,4	12,5	92,5	42,3	90,2	8,5
2500	85,4	38,9	78,3	9,5	85,1	38,9	89,1	12,5	88,1	38,9	87,7	8,5
3150	81,6	39,5	78,8	9,5	82,1	39,5	87,1	12,5	85,1	39,5	85,8	8,5
4000	77,7	39,6	76,9	9,5	79,2	39,6	84,9	12,5	82,2	39,6	84,5	8,5
5000	75,7	39,8	74,9	9,5	76,3	39,8	82,6	12,5	79,3	39,8	82,9	8,5
6300	72,6	40,2	72,1	9,5	74,3	40,2	82,7	8,5	77,3	40,2	83,9	8,5
8000	70,0	40,8	70,1	9,5	75,3	40,8	79,6	8,5	78,3	40,8	80,8	8,5
10000	68,5	41,0	66,5	9,5	78,3	41,0	76,5	8,5	81,3	41,0	77,3	8,5

Tabell 16. Ljudeffektnivåkoefficienter för Nord2000 kategori 1–3 (referensvägtyta DAC 11/SMA 11, temperatur 20 °C). Avser fordon med förbränningsmotor.

I Tabell 16 redovisas a_R för kategori 3 endast för fallet med fyra axlar. För andra axelantal kan a_R beräknas som

$$(a_R)_{\text{Kategori 3}} = (a_R)_{\text{Kategori 2}} + 10 \log_{10} \left(\frac{\text{antal axlar}}{2} \right)$$

²⁵ Värdena i tabellen är baserade på de danska emissionskoefficienterna i tabell A.1 i emissionsrapporten från 2006 [21], men de svenska korrektionerna som redovisas i tabell A.2 i samma rapport är ersatta med uppdaterade korrektioner enligt [17].

B2.5. Emissionsdata elfordon

I dagsläget saknas svenska emissionsdata för elfordon. Nedan redovisas approximativa alternativ.

För fordonskategori 1 kan emissionerna tills vidare approximeras med stöd av resultat från EU-projektet FOREVER [18] som undersökte hur framdrivningsbullret skilde mellan några elfordon och fordon med förbränningsmotorer. De uppmätta skillnaderna används för att korrigera framdrivningsbullret, medan rullbuller modelleras som vanligt. I Tabell 17 redovisas koefficienterna från Tabell 16 efter addition av korrekationer från FOREVER. FOREVER-korrektionerna anges per oktavband 63 Hz – 4 kHz, och för att kunna användas tillsammans med Nord2000 har de interpolerats samt extrapolerats till tersband 25 Hz – 10 kHz.

Underlaget i undersökningen var dock begränsat och korrektionerna kan ge signifikanta fel i beräknade ljudnivåer. Andra exempel på möjliga felkällor är att rullbullret i medeltal kan vara högre för elfordon än fossilbilar (högre fordonsvikt och högre vridmoment vid hjulen erfordrar kraftigare däck), samt att det lagstadgade högtalarljudet vid hastigheter <20 km/h saknas.

f (Hz)	Kategori 1 (elfordon)			
	a _R (dB)	b _R (dB)	a _P (dB)	b _P (dB)
25	69,9	33,0	81,8	2,0
31	69,9	33,0	83,6	2,0
40	69,9	33,0	83,5	0,0
50	74,9	30,0	84,5	0,0
63	74,9	30,0	88,6	2,0
80	74,9	30,0	87,4	2,0
100	79,3	41,0	86,2	4,0
125	82,5	41,2	82,7	2,0
160	81,3	42,3	80,5	2,0
200	80,9	41,8	79,7	6,0
250	79,9	38,6	80	8,2
315	79,8	35,5	75,7	8,2
400	81,5	31,7	71,1	8,2
500	88,0	25,9	62,6	8,2
630	89,7	26,5	62,7	8,2
800	91,8	32,5	60,8	8,2
1000	94,3	37,7	61,3	8,2
1250	93,5	41,4	64,4	8,2
1600	91,8	41,6	65,7	8,2
2000	88,4	42,3	65,4	9,5
2500	85,4	38,9	63,7	9,5
3150	81,6	39,5	64,6	9,5
4000	77,7	39,6	63,1	9,5
5000	75,7	39,8	61,1	9,5
6300	72,6	40,2	58,3	9,5
8000	70,0	40,8	56,3	9,5
10000	68,5	41,0	52,7	9,5

Tabell 17. Approximativa ljudeffektivkoefficienter för Nord2000 kategori 1 med elmotor (referensvägta DAC 11/SMA 11, temperatur 20 °C). Data enligt Tabell 16 som korregerats med resultat från [18].

I ett svenskt forskningsprojekt som undersökte effekten av olika motoralternativ för bussar mättes framdrivningsbuller från en buss med hybriddrift (el/diesel) i fordonskategori 2. Koefficienter för framdrivningsbullret redovisas i [19]. Resultatet är dock bara giltigt för det undersökta fordonet och är inte ett tillräckligt underlag för att representera fordonskategori 2 med eldrift generellt, men kan komma till nytta i särskilda undersökningar av indikerande karaktär.

Ett motsvarande underlag saknas för fordonskategori 3 med eldrift.

B2.6. Maximalnivå

Beräkning av maximalnivå från vägtrafik baseras i normalfallet på ett antagande om att maximalnivåerna är statistiskt normalfördelade. Ett hypotetiskt exempel där trafiken inte är normalfördelad, och därmed eventuellt inte heller maximalnivåerna, är en gata där den tunga trafiken är begränsad till ett fåtal bussindivider som går fram och tillbaka hela tiden. Även i ett sådant fall kan dock det vanliga förfarandet fungera tillräckligt bra eftersom $L_{AFmax6e}$ har en undre gräns vid medelmaximalnivån.

B2.7. Vägtemperatur

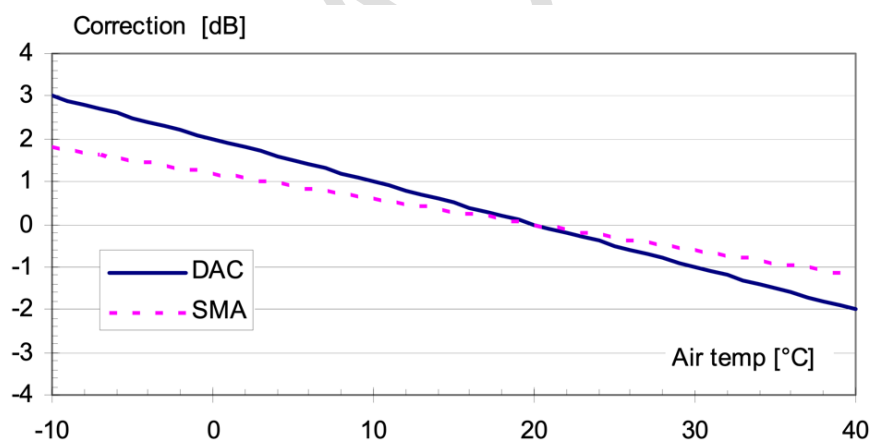
Generellt ökar däck-vägyteemissionen (rullbullret) med sjunkande temperatur. Eftersom det är däckets som emitterar däck-vägbanebullret är det egentligen däckets temperatur som är mest intressant, men av praktiska skäl mäts vägytans eller luftens temperatur.

Nord2000 använder lufttemperatur som inparameter. Korrektionen beräknas enligt

$$L_{WR}(t) = L_{WR}(t_{ref}) + K(t_{ref} - t)$$

Där L_{WR} är ljudeffektnivå orsakat av rullbuller, t är temperatur mätt i °C, t_{ref} är referenstemperaturen 20 °C, och K är temperaturkoefficienten. Källrapporten för Nord2000 Road anger att K är 0,1 dB/°C för DAC respektive 0,06 dB/°C SMA, se Figur 2.

Notera att temperaturen 15 °C normalt ska användas i svenska utredningar, se avsnitt 2.



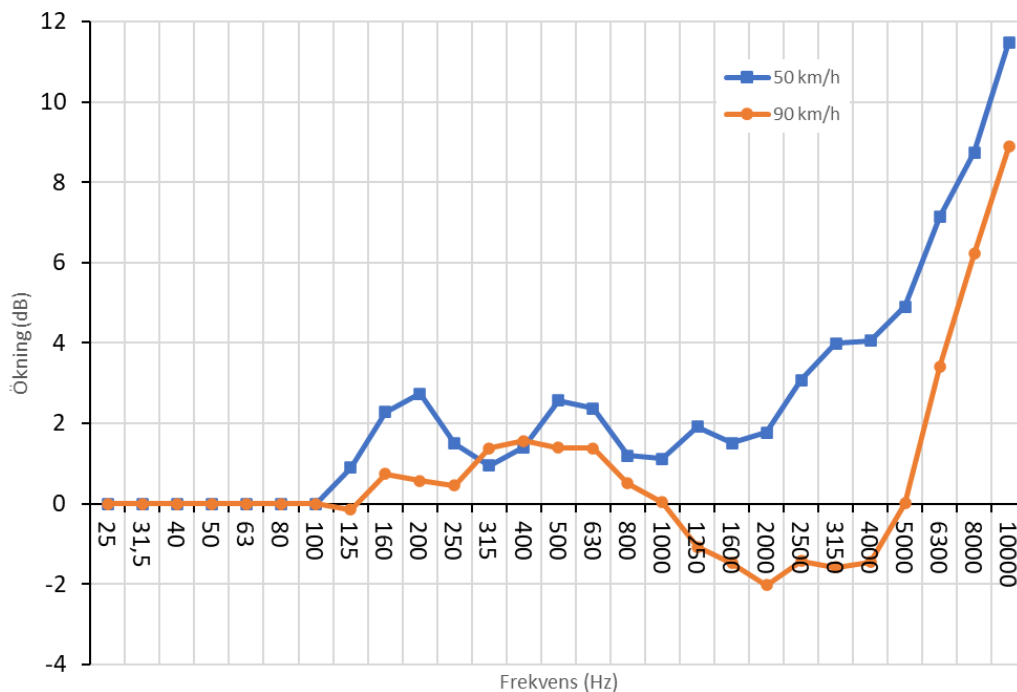
Figur 2. Nord2000 Road, korrektion $\Delta L_{surface}$ för lufttemperatur [3].

B2.8. Dubbdäck

Dubbdäck emitterar generellt mer buller än odubbade däck, i första hand vid högre frekvenser. Friktionsdäck kan däremot antas vara något tystare än vanliga sommardäck, vilket delvis kan kompensera för de bullrigare dubbdäcken.

Nord2000 inkluderar en metod för att ta hänsyn till dubbdäck [21]. Korrektions görs enbart för lätta fordon, kategori 1.

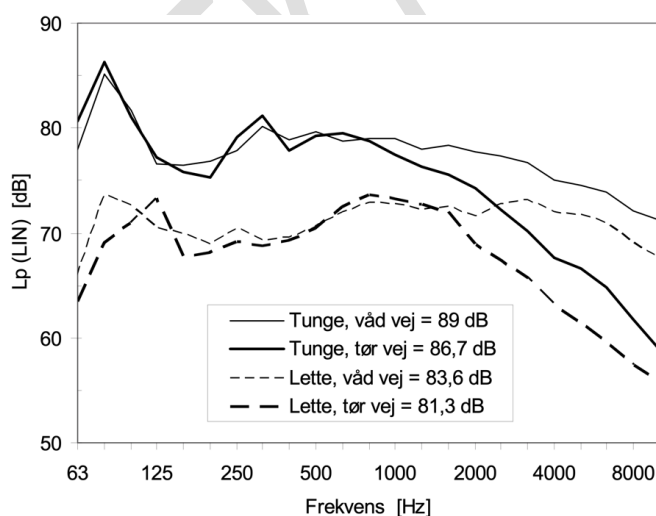
Korrekturen används dock normalt inte i svenska utredningar eftersom nuvarande referensfall avser emission från dubbria däck, se avsnitt 2.



Figur 3. Exempel på korrektion för dubbdäck hos lätta fordon med Nord2000. De stora korrektionsvärdena vid höga frekvenser får i praktiken inte så stort genomslag på A-vägda ljudnivåer eftersom fordonsemissionen vid motsvarande frekvenser är förhållandevis låg.

B2.9. Våt vägyta

En våt vägbanan kan medföra att bulleremissionen ökar flera dB jämfört med när vägbanan är torr. Hur stor påverkan blir beror på faktorer som vattenmängd, typ av vägyta, bil- och däcktyp, och hastighet. Effekten är främst ett högfrekvent fenomen, ett exempel visas Figur 4.



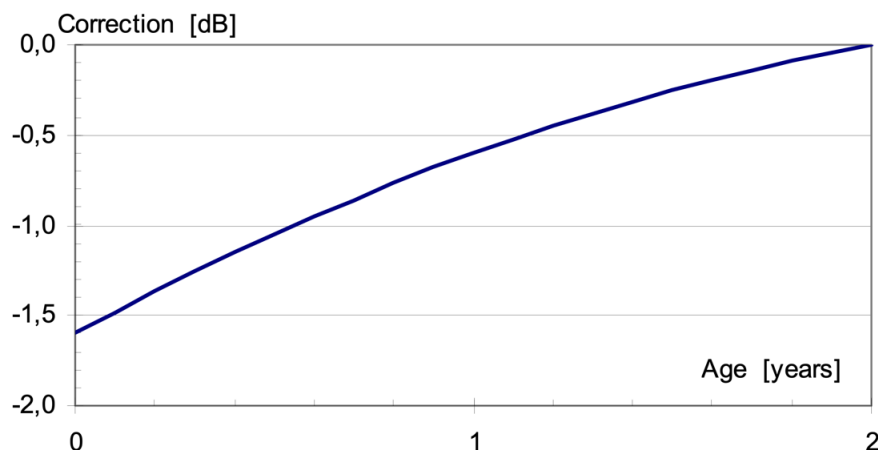
Figur 4. Exempel på bullerspektrum från lätta och tunga fordon på en motorväg med tät asfaltbetong (ABT), 110 km/h [26].

I Nord2000 ingår en modell för att korrigera för våt vägyta. Det svenska referensfallet relaterar dock till torr vägyta varför korrektionerna normalt inte ska användas (se avsnitt 2).

B2.10. Vägytans ålder

Täta vägbeläggningar

Nord2000 inkluderar en frekvensoberoende korrektion för vägytans ålder hos täta vägbeläggningar (DAC och SMA). Förändringen antas ske under de första två åren, se Figur 5. Vid en beräkning ska vägytans ålder anges, med två år som standardvärde. Referens är en vägyta som är minst två år gammal men inte i slutet av sin tekniska livslängd.



Figur 5. Ålderskorrektion för DAC- och SMA-vägytor. Korrektionen är 0 dB för vägytor äldre än 2 år [3].

Porösa vägytor

I User's guide Nord2000 Road [3] anges att det tar 7 år för de ljuddämpande egenskaperna hos porösa vägytor (dränasfalt) att försvinna, förutsatt att inga dubbdäck tillåts. Den svenska erfarenheten är dock att utfallet varierar relativt mycket, bland annat beroende på beläggnings konstruktion, hur entreprenaden utförs och inte minst på hur väl underhållet anpassas till beläggnings [27]. Se exempelvis [28] där ljudegenskaperna hos en tvålagars porös asfalt studerades över sju års tid. Därför rekommenderas tills vidare att en bedömning görs i varje enskilt fall.

Bilaga 3. Spårtrafik

B3.1. Stationer

På de flesta genomfartsstationer kommer vissa tåg att stanna medan andra kör igenom. Tåg som stannar vid stationen bromsar in vid ankomst och accelererar vid avgång, och deras hastighet i stationens närhet kan vara signifikant lägre (i bullerhänseende) än de genomgående tågens. Om en tillräckligt stor andel av tågen stannar kan beräknade ekvivalentnivåer bli för höga om inte hänsyn tas till detta i beräkningen. Likaså kan beräknade maximalnivåer bli för höga ifall de mest bullrande tågtyperna stannar vid stationen men hänsyn inte tas till det.

En osäkerhet är att det utöver de ljudemissioner som predikteras av Nord2000:s källmodell kan tillkomma ljud som hör ihop med inbromsning och acceleration.

Enkelt applicerbara schabloner för svensk hantering saknas. Visst stöd för skattning bör kunna hämtas från tabell 2 i [34]. Se även [32].

Bilaga 4. Statistisk spridningsmodell

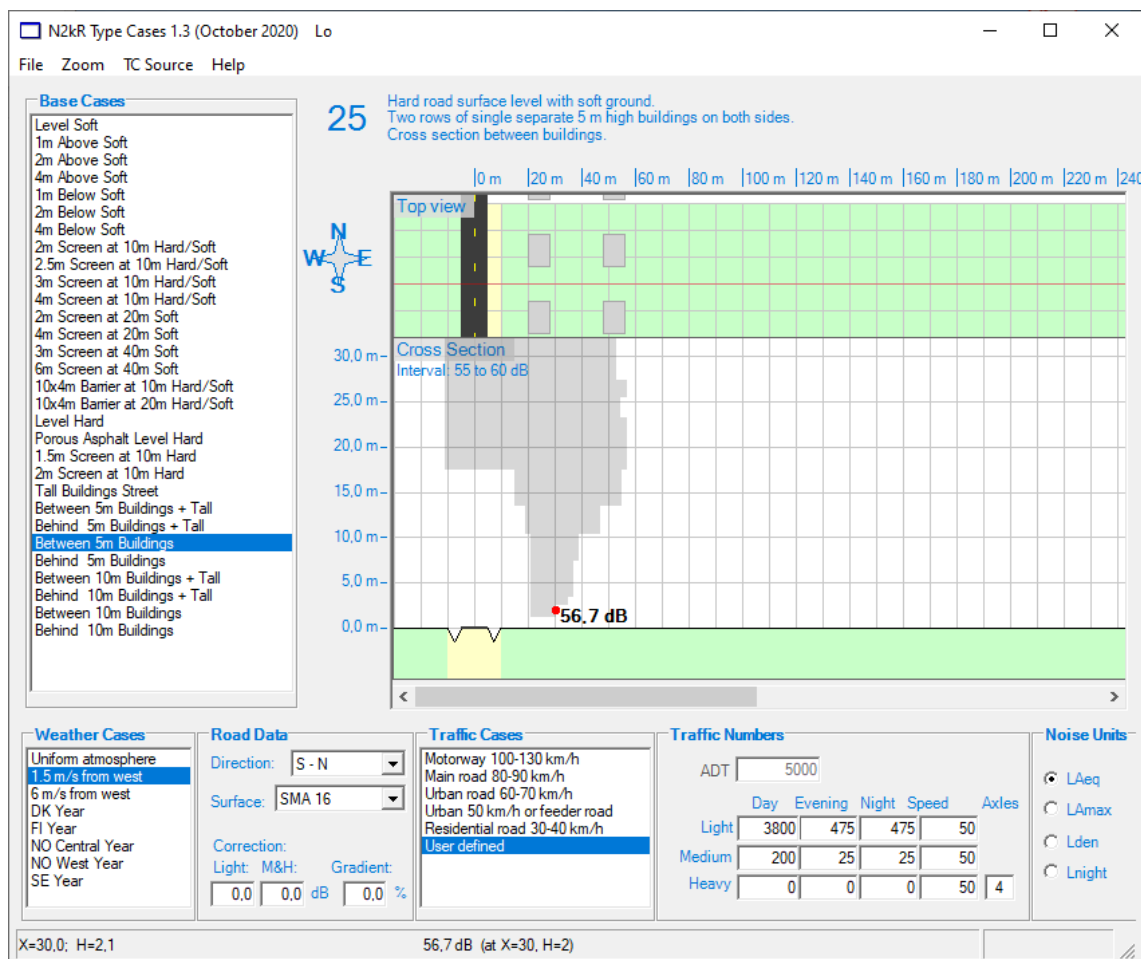
Ljudutbredning genom skog och bebyggelse kan även beräknas med en statistisk spridningsmodell som finns i Nord2000. Se [3] för en introduktion. Erfarenheten av att använda modellen är dock begränsad och rekommenderade ingångsvärden saknas. Noggrannheten är låg vid beräkning i bebyggd miljö och kan inte ersätta vanliga beräkningar (strålgångsberäkning), utan är tänkt som ett alternativ för särskilda tillämpningar där noggrannheten inte är viktig.

Om modellen används för att undersöka effekten av skog är det nödvändigt att beakta att egenskaperna varierar över tid. Exempelvis skiftar trädens egenskaper sannolikt över året och skogen kan komma att avverkas med jämna mellanrum.

Bilaga 5. Typfallsprogramvara

N2kR-TC²⁶ är ett Windowsprogram med typfall för buller från vägtrafik som beräknats med Nord2000. Samtliga typfall som redovisas i Nord96 väg finns med och några till [14]. Programmet är gratis och kan laddas ned från www.sintef.no/n2kr.

Det går att avläsa ljudnivå i en utvald punkt upp till 500 m från vägen och upp till 30 m ovanför marken. Samtliga fall avser 2D-situationer, vilket till exempel innebär att skärmarna är oändligt långa (ändliga skärmar kommer vara mindre effektiva).



Figur 6. Användargränssnitt hos typfallsprogrammet N2kR-TC.

Ljudnivå visas genom att klicka på en punkt i fönstret med den vertikala sektionen. Ett dubbelklick visar ett 5 dB-intervall. Beräkningspunktens avstånd (X) från vägmitt och dess höjd (H) ovanför marken visas längst ned.

Överst till vänster finns en lista med de totalt 30 olika tvärsnitten²⁷. I programfönstrets undre del väljs väderfall, vägens riktning relativt väderstreck, vägtyta, vägens stigning, övriga korrektioner för lätta respektive tunga fordon, trafikfall och -flöden, samt ljudmått.

²⁶ Förkortning för Nord2000 Road Type Cases.

²⁷ Av oklar anledning visas texten "Warning!" när tvärsnitt "Porous Asphalt Level Hard" väljs. Funktionen är tyvärr odokumenterad.

Vägytorna "SMA 16" (ABS 16) och "AC 12 d" (ABT 12) avser svenska förhållanden. Av de valbara väderfallen bör "1,5 m/s from west" användas tillsammans med att vägens riktning väljs till "S-N" eftersom det är det alternativ som ligger närmast referensvädret enligt avsnitt 2.

"LAeq" ger dygnsekvivalent ljudnivå. "Lmax" svarar mot LAFmax5%, det vill säga den maximalnivå som överskrids av 5 % av fordonen²⁸.

Notera att LAFmax5% är ett maximalnivåmått som används i Norge men som inte ska användas i Sverige. Maximalnivån som redovisas i N2kR-TC går alltså inte att jämföra direkt mot ett svenskt riktvärde för LAFmax6e (maximalnivån för den sjätte mest bullrande passagen, det vill säga den maximalnivå som överskrids högst fem gånger). Men det går att räkna om från LAFmax5% till LAFmax6e med hjälp av excelbladet "Lmax5perc till Lmax6e.xlsx" som finns att hämta på Kunskapscentrum om bullers hemsida²⁹.

Exempel maximalnivå nattetid: För situationen i Figur 6 ger N2kR-TC att **Lmax = 71,3 dBA** (pröva gärna själv). Den bullrigaste fordonstypen är i detta fall medeltunga fordon, det vill säga **kategori 2**. Enligt trafikuppgifterna **passerar 25 medeltunga fordon nattetid**. När man matar in de tre uppgifterna i excelbladet får man att LAFmax6e = 67,5 dBA.

Mjuk mark (markerad grön färg) har modellerats med impedansklass D, och hård mark (gul färg) med impedansklass G. Vägytan har också modellerats med impedansklass G. Vägen är 10 m bred med en linjekälla i vägmitt med all trafik. Vägbank/skärning lutar 33 grader (motsvarar lutning 1:1,5). I fallet där vägen inte är på en vägbank eller går i skärning ligger vägytan 20 cm högre än marken. Emissionen har beräknats med koefficienter enligt tabell A.1 inklusive korrekationer enligt tabell A.2 i [21]. Maximalnivåerna är baserade på samma standardavvikelse som i Nord96 [14]. Luftens absorption har beräknats för schablonen i avsnitt 2. Ingen korrektion har gjorts för vägytans temperatur³⁰.

N2kR-TC togs fram under forskningsprojektet Nord2000 Road (2005–2006). Mjukvaran har uppdaterats sedan dess men enbart i syfte att upprätthålla kompatibilitet med Windows, och de ändringar av Nord2000 och emissionsdata som har gjorts efter 2007 finns inte med [17][39]. Ljudnivåer som beräknas med senaste uppdatering av Nord2000 och nyare emissionsdata kommer därför skilja något mot de som tas fram med N2kR-TC även om det beräknade fallet i övrigt är identiskt med det i N2kR-TC. Därutöver kan typfallen som ingår i N2kR-TC i princip aldrig stämma exakt med en verklig situation. Utgångspunkten bör därför vara att det inte är tillfyllest att använda N2kR-TC för att ta fram ett underlag till detaljplan, bygglov etc.

²⁸ Beräknat för den mest bullrande fordonstypen. Kategori 3 bullrar mer än kategori 2 som bullrar mer än kategori 1.

²⁹ kunskapscentrumbuller.se

³⁰ Emissionen har beräknats med koefficienter enligt tabell A.1 i [21]. Vägytorna SMA 16 och AC 12 d som avser svenska förhållanden inkluderar korrekationer enligt tabell A.2 i [21].

Bilaga 6. Road traffic, notations on calculating $L_{\max, n^{\text{th}}}$ in Sweden

This section is written in English to facilitate for developers who are implementing calculation of maximum level from road traffic in software.

B6.1. Background: Swedish guidelines for maximum level from road and rail traffic noise

Several Swedish guidelines and regulations contain limits for maximum level from road and rail traffic. However, one should be aware that they for some reason do not use precisely the same definition, which is why calculation software need to offer a certain amount of room for adaptation in the individual case.

Basically, they apply a statistical approach and are normally expressed as a maximum level that must not be exceeded more than five times during a specified period, or in other words $L_{AF\max, 6^{\text{th}}}$ must not exceed the limit. Often but not always, there is an additional condition that the limit must not be exceeded by more than a certain number of dB (often 10 dB). In general, the limits are valid for an annual average daily traffic volume (AADT), meaning that $L_{AF\max, 6^{\text{th}}}$ should represent a yearly average.

Below is a short summary of how L_{\max} limits are specified in some of these guidelines.

Swedish regulation on traffic noise at new dwellings [11] specifies a limit of $L_{AF\max} = 70$ dBA for patios. The limit must not be exceeded by more than 10 dB, and not more than five times per hour during day and evening (06–22). The regulation furthermore specifies that the maximum level should be assessed for the noisiest vehicle type.

Another guideline is Boverket's³¹ building regulations [41] (i. e. for new buildings) that specifies a limit of $L_{AF\max} = 45$ dBA in bedrooms and living rooms. The limit must not be exceeded more than five times during the night (22–06) and not by more than 10 dB. As with the regulation on traffic noise above, maximum level should be assessed for the noisiest vehicle type.

Trafikverket³² has a guideline that is valid for infrastructure within their area of responsibility (state roads and railroads). Separate limits are specified for two different cases: (1) *new construction and substantial remodeling*, and (2) *existing infrastructure* [42].

The former (1) states that $L_{AF\max} = 45$ dBA in bedrooms and living rooms must not be exceeded more than five times 22–06 and not by more than 5 dB (i. e. somewhat stricter than Boverket), and furthermore that $L_{AF\max} = 70$ dBA must not be exceeded more than five times per hour 06–22 at patios, and never be higher than 80 dB. The guideline does not explicitly mention that the maximum level should be assessed for the noisiest vehicle type, but in practice that is still necessary due to the additional demands that $L_{AF\max}$ must never exceed 50 dBA and 80 dB respectively [22].

The latter (2) states that $L_{AF\max} = 55$ dBA must not be exceeded more than five times in bedrooms and living rooms. Here, no additional terms are added, meaning that the sixth passage not necessarily must be calculated for the noisiest vehicle type.

Naturvårdsverket³³ has a guideline with noise limits that is used for supervision of noise from road- and rail traffic at already existing dwellings. For houses built no later than 1997 that $L_{AF\max} = 55$ dBA must not be exceeded more than five times in bedrooms and living rooms, which is in line with

³¹ The Swedish National Board of Housing, Building and Planning.

³² The Swedish Transport Administration.

³³ Swedish Environmental Protection Agency.

Trafikverket's guideline for existing infrastructure. For patios $L_{AFmax} = 70$ dBA must not be exceeded more than five times per hour 06–22, or more specifically per average maximum hour, meaning the maximum hour an average day.

It is generally understood that the passages should occur regularly, but for road traffic there is no official definition of what that means. Unless better information is available a recommendation from Trafikverket that concerns rail traffic [43] can be used, which says that at least once a week may be appropriate.

B6.2. Calculation of L_{max} for a normally distributed traffic flow

Road traffic maximum level is calculated for single vehicle passages, assuming a traffic flow with normally distributed maximum levels from individual vehicles.

The A-weighted maximum level with time weighting F of the n :th highest level of N vehicles passing by during a specified time period is given by

$$L_{AFmax,nth} = L_{AFmax,amean} - \Phi\left(\frac{n}{N}\right) \cdot s, \quad \Phi\left(\frac{n}{N}\right) \leq 0 \quad (1a)$$

$$L_{AFmax,nth} = L_{AFmax,amean}, \quad \Phi\left(\frac{n}{N}\right) > 0 \quad (1b)$$

where $L_{AFmax,amean}$ is the arithmetic mean value given by equation 2.13 in [21], s is the standard deviation of the maximum level (given per vehicle category) and Φ is the probit³⁴ function.

In order to avoid uncertainties and discontinuities at very low traffic flows, it has been decided that the value of Φ should be limited to values ≤ 0 [19].

The Nord2000 road source report mentions that the minus value of the probit function ($-\Phi$) as an alternative can be approximated by the polynomial $P(x)$,

$$P(x) = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3 + a_4 \cdot x^4 + a_5 \cdot x^5 + a_6 \cdot x^6 + a_7 \cdot x^7, \quad x = \frac{100 \cdot n}{N}$$

using the coefficients in Tabell 18. Equation (1a) and (1b) would then become (note the opposite sign):

$$L_{AFmax,nth} = L_{AFmax,amean} + P\left(\frac{100 \cdot n}{N}\right) \cdot s, \quad P\left(\frac{100 \cdot n}{N}\right) \geq 0 \quad (2a)$$

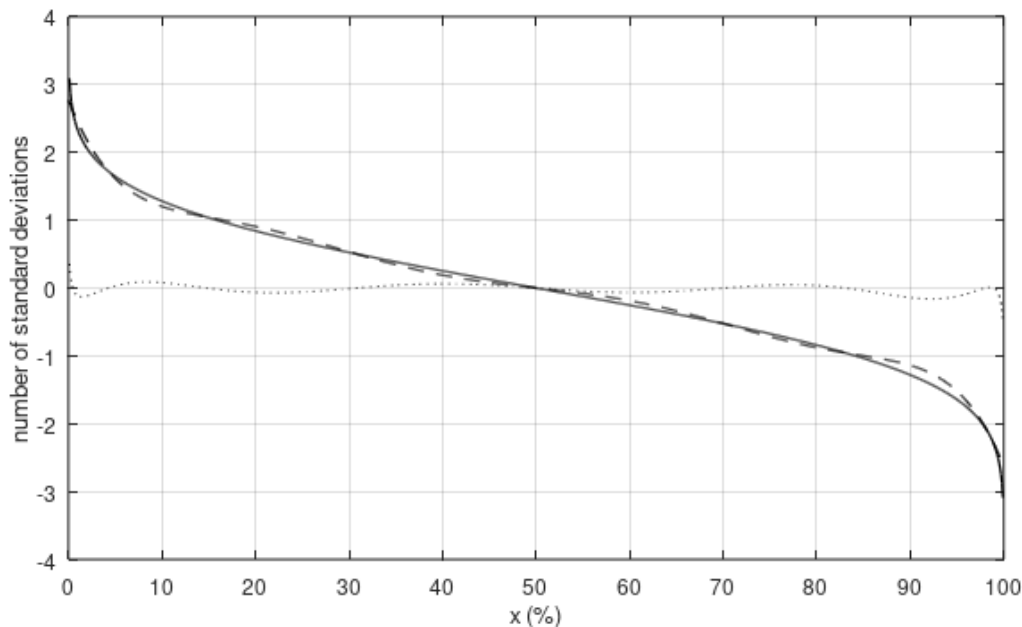
$$L_{AFmax,nth} = L_{AFmax,amean}, \quad P\left(\frac{100 \cdot n}{N}\right) < 0 \quad (2b)$$

However, the approximation reduces accuracy and should be avoided if possible, see Figur 7.

³⁴ The probit function is the inverse of the cumulative distribution function of the standard normal distribution.

coefficient	value
a_7	-0,0000000001130
a_6	0,00000000395695
a_5	-0,00000055493824
a_4	0,00003978754303
a_3	-0,00154675475318
a_2	0,03207776088465
a_1	-0,35743879311349
a_0	2,76935096017743

Tabell 18. Coefficients in the polynomial $P(x)$ approximating the minus value of the probit function [21].



Figur 7. Solid line: the minus value of the probit function $(-\Phi(x))$. Dashed line: polynomial approximation $P(x)$. Dotted line: difference between $-\Phi(x)$ and $P(x)$.

Until better information is available, the following standard deviation values can be used (from [14]).
For category 1 vehicles:

$$s(\text{light}) = 5,5 \cdot e^{-0,7 \frac{v}{50}}, v \geq 30 \text{ km/h}$$

For category 2 and 3 vehicles:

$$s(\text{heavy}) = 4,1; 30 \leq v \leq 50 \text{ km/h}$$

$$s(\text{heavy}) = 10 \cdot e^{-0,9 \frac{v}{50}}, v > 50 \text{ km/h}$$

Updated standard deviation values are expected to be published during 2023.

B6.3. Calculation of L_{max} adapted to Swedish regulations

In the normal case, calculation of maximum level from road traffic should fulfill point 1–5 below to be in accordance with Swedish regulations.

N corresponds to the number of vehicles in one of the three vehicle categories (1=light, 2=medium heavy, 3=heavy) during a specified period of a day (either per hour 6–22, or night 22–06).

1. The periods currently used in Sweden for calculating L_{max} are

- night 22–06, and
- per hour 06–22.

The indata needed is normally the corresponding N for the noisiest vehicle category for those two time periods. However, it should as an alternative also be possible to use N for a vehicle category that is not the noisiest one.

Provided that the standard deviations above are used, it can be shown that it is sufficient to use the mean traffic flow per hour 06–22 as indata when calculating L_{max} in the second case [22].

2. N should be at least one vehicle a week,

meaning that when $N < 2/15$, $N=0$ should be used in the calculation.

3. L_{max} should normally be calculated for the noisiest vehicle category,

meaning that

- if there are any category 3 vehicles during the calculated period ($N \neq 0$ for category 3 for that period), L_{max} is calculated for category 3
- if there are no category 3 vehicles during the calculated period ($N = 0$ for category 3 for that period), and there are any category 2 vehicles during the calculated period ($N \neq 0$ for category 2 for that period), L_{max} is calculated for category 2
- if there are no category 3 or category 2 vehicles during the calculated period ($N = 0$ for category 3 and $N = 0$ for category 2 for that period), and there are any category 1 vehicles during the calculated period ($N \neq 0$ for category 1 for that period), L_{max} is calculated for category 1.

However, it should as an alternative also be possible to calculate L_{max} for a vehicle category that is not the noisiest one.

4. n should be an integer $1 \leq n \leq 6$,

meaning that it should be possible to calculate $L_{max, n^{th}}$ using $n = 1, 2, 3, 4, 5$ or 6 , but not $n < 1$ or $n > 6$.

5. The calculation of the function $\Phi(x)$ should be restricted to be ≤ 0 ,

equivalent to that if the number of vehicles in a category during the calculated period, N , is less than $2 \cdot n$, N should be replaced with $2 \cdot n$ in the calculation of the function $\Phi(x)$, that is

- $\Phi(n/N)$ for $N \geq 2 \cdot n$, and
- $\Phi(1/2)$ for $N < 2 \cdot n$.