



KORREKTIONER FÖR VÄGBELÄGGNINGAR

Uppdaterade korrektioner för olika svenska vägbeläggningar
för användning i Nord2000

SAMMANFATTNING

Nord2000 har en annan referensvägyta än Nordisk beräkningsmodell reviderad 1996 (Nord96). Nyare mätningar med CPX-metoden för ett antal svenska vägbeläggningar utgör underlag för uppdaterad översättning mellan den svenska referensvägytan och den som ingår i Nord2000 samt korrektioner för övriga vanligt förekommande vägbeläggningar.

Anders Genell, VTI
Andreas Gustafson, VTI

2024-05-07

Innehållsförteckning

1	Bakgrund	2
1.1	Inledning.....	2
1.2	Mekanismer för däck-vägbanebuller	2
1.3	Tidigare korrekationer i Nordisk beräkningsmodell, reviderad 1996	4
1.4	Beläggningar inmätta sedan 2010	5
1.5	Mätresultat.....	5
2	Metod för att bestämma vägytekorrekationer	8
2.1	Beskrivningar i Nord2000 och Harmonoise	8
2.2	Entalskorrektio n	8
2.3	Att använda korrekationer för beläggningar från andra länder	10
2.4	Hastighetsberoende och frekvensberoende.....	11
3	Vägytekorrekationer för Nord2000	12
3.1	Korrektionsberäkning	12
3.2	Kategori 1 (lätta fordon)	13
3.3	Kategori 2 och 3 (medeltunga och tunga fordon).....	14
4	Porösa beläggningar	15
4.1	Akustisk kortslutning	15
4.2	Akustisk absorption	15
4.3	Akustisk livslängd.....	16
4.4	Akustisk vägytekorrektio n	19
5	Referenser	21
Bilaga 1.	Uppdaterade entalskorrekationer för olika svenska vägytor	22

1 Bakgrund

1.1 Inledning

Effekten från vägytans textur på utstrålat buller från däck-vägbankkontakten har undersökts under relativt lång tid och två ISO-standardiserade mätmetoder används idag för att bestämma vägytans bulleregenskaper relativt en referensyta: Statistical Pass-by (SPB) beskriven i ISO 11819-1:2023 [1] och Close Proximity (CPX) ISO i 11819-2:2017 [2].

SPB är en metod där normalt förekommande trafik utgör bullerkälla och variation i hastighet korreleras med variation i utstrålad bullernivå för en viss typ av vägyta. Mätmikrofonen placeras 7,5 meter från vägens mitt. Spridningen i nivå mellan individuella fordon är ofta stor eftersom däckens egenskaper varierar mellan fordon och för att även ljud från motor och drivlina fångas av mätutrustningen.

CPX innebär i stället att ett standardiserat däck monteras på en specialanpassad släpvagn med mätmikrofoner monterade 0,2 meter från däcket. Spridningen blir väldigt liten då det är ett enda däck som utgör bullerkälla och då däcket är placerat långt från bullerkällor från motor och drivlina jämfört med avståndet till mikrofonerna. De två standarddäck som används benämns P1 för det standardiserade personbilsdäcket och H1 för motsvarande däck för tunga fordon.

De olika metoderna har olika för- och nackdelar och kompletterar varandra. I denna rapport har korrektioner för däck-vägbankbuller för olika beläggningar tagits fram baserade uteslutande på CPX-mätningar.

1.2 Mekanismer för däck-vägbankbuller

Flera olika mekanismer bidrar till genereringen och utstrålningen av buller från interaktionen mellan däck och vägyta [3]. Kontakten mellan däcket och vägytan tar upp en yta ungefär i storlek av en handflata för ett personbilsdäck. Inom den kontaktytan sker en överföring av energi till däcket i huvudsak genom två mekanismer.

Den första är att ojämnheter i vägytan sticker in i det mjuka gummit när däcket rullar över vägytan. Det motsvarar att slå med en trumpinne mot däckets slityta. En högre hastighet för det rullande däcket motsvaras av snabbare och hårdare trumslag. Varje ojämnheter i vägytan motsvaras av en trumpinne. Trumslagen orsakar vibrationer i däcket som i sin tur strålar ut ljud på samma sätt som ett trumskinn som träffas av en trumpinne.

Den andra mekanismen är att däckets gummi fäster i vägytan så att de gummiblock som utgör däckmönstret stannar kvar en liten stund där de träffat vägytan och sedan "släpas" längs med ytan en kort bit, eller att de klibbar fast och sedan dras upp från vägytan. Dessa två fenomen kallas "stick-slip" och "stick-snap" och bidrar liksom vägytans ojämnheter till vibrationer i däcket, inte genom "slag" men genom att dra och släppa; jämför ljudet från en uppblåst ballong när man drar och släpper knuten.

Utöver dessa två vibrationsrelaterade mekanismer finns en tredje mekanism som innebär att små luftvolymmer fångas i hålrum som uppstår mellan däcket och vägbanan på grund av de kombinerade ojämnheter hos båda. När däcket, belastat med en fjärdedel av fordonets vikt, rullar över hålrummet komprimeras luften i hålrummet och när sedan hålrummet öppnas igen pyser luften ut med ett väsande. Det ljud som uppstår är alltså inte relaterat till vibrationer i däcket utan är en separat ljudkälla, och effekten kallas "air pumping".

Alla dessa mekanismer skapar ljud som är som starkast i närhet av kontaktytan mellan däck och väg. Däckets runda form tillsammans med vägens plan bildar två hornliknande former, en riktad framåt

och en bakåt. Hornen har bara topp och botten, inga sidor, men det är tillräckligt för att förstärka ljudet från kontakten mellan däck och väg. Denna förstärkning kallas av naturliga skäl för horneffekten.

Exakt hur dessa olika mekanismer relaterar till olika egenskaper hos vägytan är inte fullständigt klarlagt, men några samband är tydliga. Större ojämnheter i vägytan, så som på grund av större stenstorlekar, bidrar till högre vibrationsenergi och därmed högre ljudnivå. Slätare beläggningar innebär större möjlighet för gummit att fastna och bidrar därmed till större bidrag från stick-slip och stick-snap. Gummi är ett ickeelastiskt material och kan för vissa fall av last och temperatur fungera som en mekanisk fjäder medan för andra fall uppträda mer som en trög vätska vilket gör att förekomsten av stick-slip och stick-snap kan variera för ett enskilt däck beroende på externa förhållanden. Vad gäller air pumping så är kopplingen mer komplex då det är kombinationen av däckmönster och vägytans ojämnheter som bestämmer hur stor effekten är.

1.3 Tidigare korrektioner i Nordisk beräkningsmodell, reviderad 1996

I Nordisk beräkningsmodell, reviderad 1996 [4], finns korrektioner för olika vägytor angivna i en tabell (se Tabell 1) i form av A-vägd emissionsnivåskillnader i heltal. Skillnaderna anges i jämförelse med den referensbeläggning som gäller för modellen, vilket är den som i tabellen benämns "Asfaltbetong, tät, slät (max 12–16 mm)"¹. I tabellen anges korrektioner för tre olika hastighetsintervall och för tre olika fördelningar av tunga och lätta fordon, förutom för högsta hastighetsintervallet där det är två fördelningar av tunga och lätta fordon. De beläggningar som ingår i tabellen är sådana som var vanligt förekommande då underlaget togs fram.

Tabell 1. Vägytekorrektioner för Nordisk Beräkningsmodell Vägtrafik, Reviderad 1996.

Vägbeläggning		Ålder [år]	Korrektionsterm i dB(A) för viss andel (%) tunga fordon								
Nr.	Typ (här anges även max. stenstorlek)		0-60 km/h			61-80 km/h			81-130 km/h		
			0-5%	6-19%	20-100	0-5%	6-19%	20-100	0-5%	6-100%	
1.a	Asfaltbetong, tät, slät (max 12-16 mm)	1-20	ref	ref	ref	ref	ref	ref	ref	ref	ref
1.b	D:o, nylagd	<1	0	0	-1	-2	-1	-1	-2	-2	-2
2.a	Asfaltbetong, tät, slät (max 8-10 mm)	1-20	0	0	0	-1	0	0	-1	-1	-1
2.b	D:o, nylagd	<1	-1	-1	-1	-2	-1	-1	-2	-2	-2
3.a	Skelettasfalt (mastic) (max 12-16 mm)	1-20	0	0	0	+1	0	0	+1	0	0
3.b	D:o, nylagd	<1	0	0	0	+1	0	0	+1	0	0
4.a	Skelettasfalt (mastic) (max 8-10 mm)	1-20	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
4.b	D:o, nylagd	<1	-2	-1	0	-2	-2	-1	-2	-2	-2
5.	Bituminiserad chip-sten (BCS)	0-20	+1	0	0	+2	+1	0	+2	+1	+1
6.a	Ytbehandling, enkel (Y1), max 16-20 mm	1-20	+1	0	0	+2	+1	0	+2	+1	+1
6.b	D:o, nylagd	<1	+2	+1	0	+3	+1	-1	+2	+1	+1
7.a	Ytbehandling, enkel (Y1), max 10-12 mm	1-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.b	D:o, nylagd	<1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
8.a	Ytbehandling, enkel (Y1), max 6-9 mm	1-20	0	0	0	-1	0	0	-1	0	0
8.b	D:o, nylagd	<1	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
9.a	Ytbehandling, dubbel (Y2), max 16-20mm	1-20	0	0	0	+1	0	-1	0	0	0
9.b	D:o, nylagd	<1	+1	0	0	+1	0	-2	0	0	0
10.a	Ytbehandling, dubbel (Y2), max 10-12mm	1-20	0	0	0	0	0	-1	0	-1	-1
10.b	D:o, nylagd	<1	0	0	0	0	-1	-2	0	-1	-1
11.a	Dränasfalt, max 14-16mm (≥20% hålrum)	3-7	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
11.b	D:o, "medelgammal"	1-2	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-2	-2
11.c	D:o, nylagd	<1	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-2	-3	-3
12.a	Dränasfalt, max 8-12 mm (≥20% hålrum)	3-7	0	0	0	-1	-1	-1	-2	-2	-2
12.b	D:o, "medelgammal"	1-2	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-3	-3	-3
12.c	D:o, nylagd	<1	-3	-3	-3	-4	-4	-5	-5	-5	-5
13.	Cementbetong, tät, slät, max 20-80 mm	0-40	+2	+1	+1	+2	+2	+2	+2	+2	+2
14.	Cementbetong, tät, slät, max 12-18 mm	0-40	+1	+1	+1	+2	+2	+2	+2	+2	+2
15.	Cementbetong, slipad (slipning ej sliten)	0-5	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-1	-1	-1
16.	Gatsten, kullersten (äldre typ)	0-90	+3	+3	+2	+5	+4	+3	+5	+4	+4
17.	Cementblocksten (modern typ)	0-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0

¹ Den angivna referensbeläggningen i Nordisk beräkningsmodell, reviderad 1996 motsvarar enligt beskrivningen ABT16. Den beläggning som använts som de facto referens minst de senaste 30 åren är i stället ABS16 som bl.a. bättre svarat mot Trafikverkets behov av nötningsmotstånd vid stor andel trafik med dubbdäck, se bl.a. [5]. Ingen justering av emission gjordes i samband med övergång till ABS16 så i denna rapport antas ABS16 vara gällande referensbeläggning som svarar mot förutsättningarna för de svenska riktvärdena.

1.4 Beläggningar inmätta sedan 2010

Mätningar med CPX-metoden har utförts för 8 olika beläggningstyper vid olika tillfällen mellan åren 2010 och 2020 under överinseende av Ulf Sandberg på VTI. Nedan beskrivs de olika beläggningstyper som ingår i mätningarna. Beteckningen för varje beläggning åtföljs av en siffra som anger största stenstorlek i millimeter i beläggningen.

ABS

Står för "asfaltbetong, stenrik" (på engelska Stone Mastic Asphalt, SMA) och kallas ibland också "skelettasfalt" för att man tänker sig att aggregatet, de stenar som binds ihop av bindemedlet till en asfalt, bildar ett mer eller mindre heltäckande skelett för däckens att rulla på och för ABS-beläggningar består aggregatet mest av större stenstorlekar och nästan ingen del mindre storlekar.

ABT

Står för "asfaltbetong, tät" (på engelska Dense Asphalt Concrete, DAC). Till skillnad från ABS så består aggregatet i princip av stenstorlekar i hela spektrumet upp till den största stenstorleken.

TSK

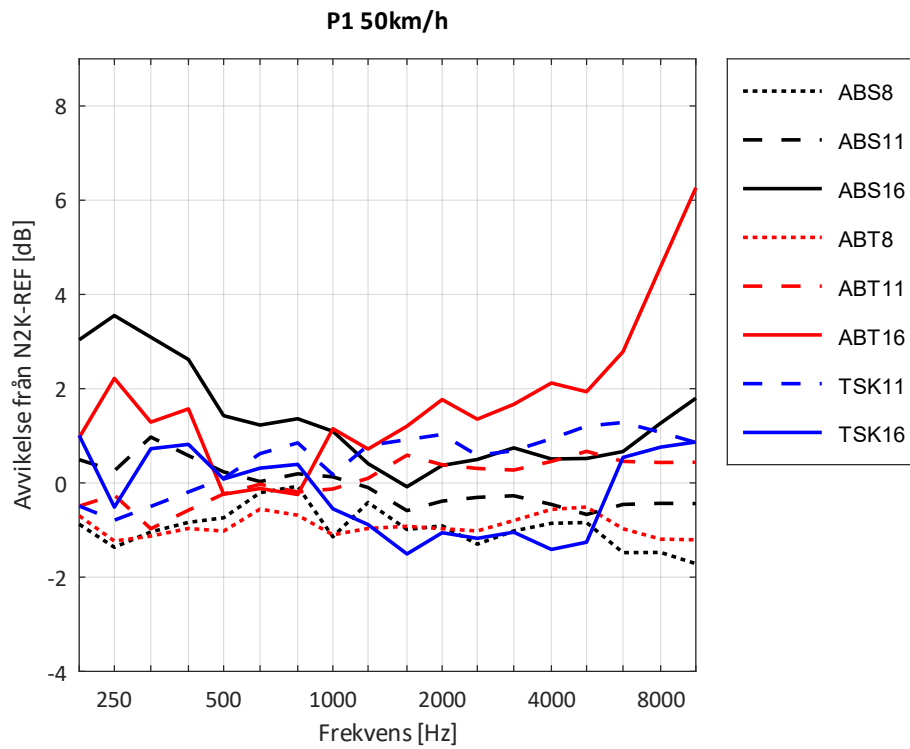
Står för "tunnskiktsbeläggning". Den liknar mycket ABS med vissa skillnader i fördelning av stenstorlek. En annan viktig skillnad är att TSK klistras fast vid underlaget med hjälp av en emulsion som sprids omedelbart innan asfaltmassan läggs vilket gör TSK fördelaktig ifall det är viktigt att beläggningen skall vara helt vattentät. Både ABS och TSK kan läggas i skikt så tunna som en tjocklek lite drygt motsvarande största stenstorlek.

I avsnitt 4 beskrivs möjlighet att ta fram korrektioner för porösa beläggningar vilka har goda bullerreducerande egenskaper, men som inte är lika nötningsbeständiga som ordinarie beläggningar och vars bullerreducerande egenskaper avtar relativt snabbt över tid i jämförelse med beläggningens mekaniska livslängd. Inga generella korrektionsfaktorer rekommenderas men några exempel ges baserat på mätningar längs en lyckad vägsträcka med dubbla lager porös beläggning.

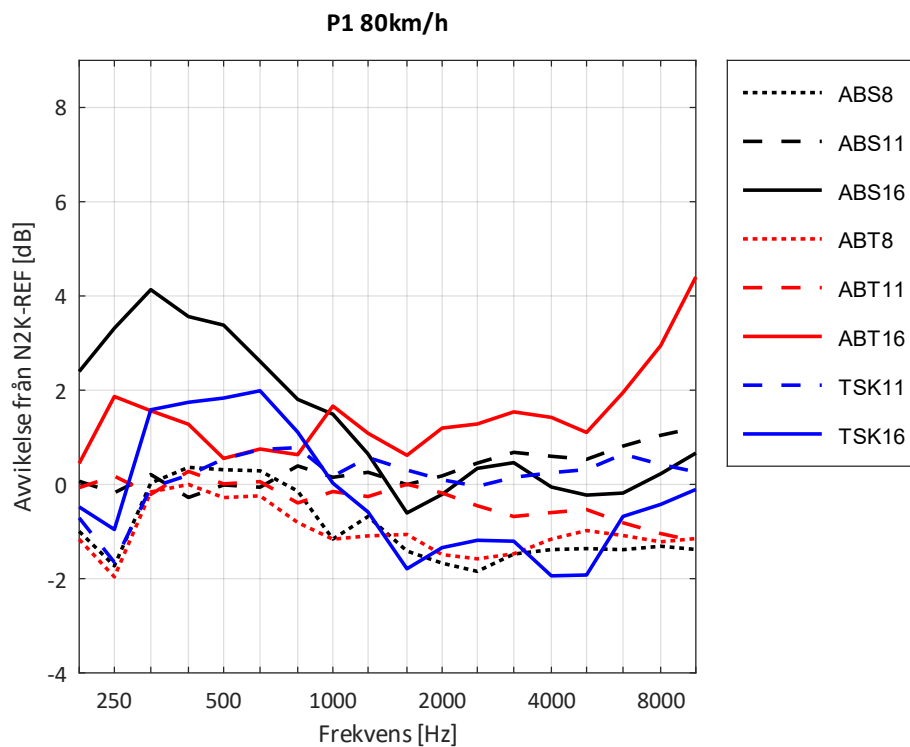
1.5 Mätresultat

Vad gäller buller från olika vägytor innebär den nära besläktningen mellan de båda metoderna att referensbeläggningen för Nord2000 är den samma som för Harmonoise [7]: *"It is a virtual reference defined as the average of SMA 0/11 and DAC 0/11 1 year or older but not at the end of its life time"* [6]. I fortsättningen av detta dokument hänvisas till denna virtuella referensbeläggning i Nord2000 med beteckningen N2K-REF.

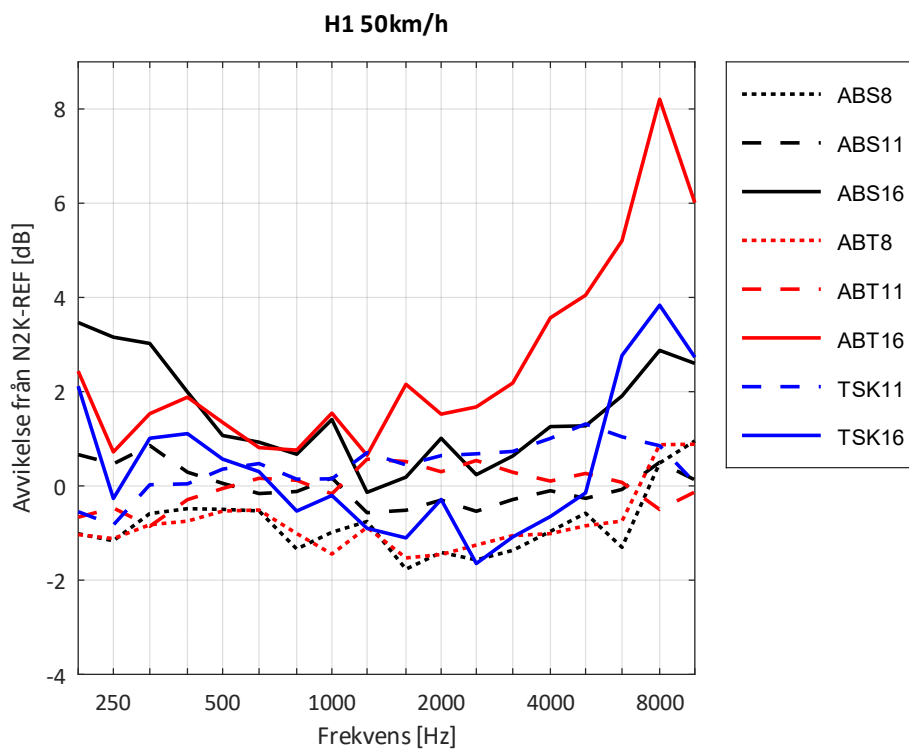
CPX-mätningar av ABS11 (SMA 0/11) och ABT11 (DAC 0/11) på olika platser i Sverige under omkring 10 års tid har legat till grund för ett tersbandspektrum som är ett medel både över tid och mellan de två typerna som en representation av N2K-REF. Denna referensbeläggning skiljer sig alltså från den tidigare svenska referensbeläggningen i Nordisk beräkningsmodell, reviderad 1996. Nedan redovisas resultat från mätningarna med CPX-metoden i fyra figurer (Figur 1 - Figur 4) som visar skillnad i tersbandsnivåer mellan N2K-REF och de olika inmätta beläggningarna. Skillnaderna redovisas för de två olika mät hastigheterna 50 km/h och 80 km/h och för de två referensdäcken P1 och H1 vilka representerar fordon av kategori 1 respektive kategori 2 och 3. Enligt CPX-standarden skall tersband mellan 315 och 5000 Hz redovisas, men de underliggande mätningarna innehåller tersband även utanför detta område så hela frekvensområdet från mätningarna redovisas. Beläggningen ABT16 ser ut att sticka iväg till höga nivåer i höga frekvenser för P1-däcket i 50 km/h (Figur 1), men eftersom fordonens emission klingar av i de högre frekvensbanden har det ett begränsat inflytande på ett A-vägt samlingsvärde.



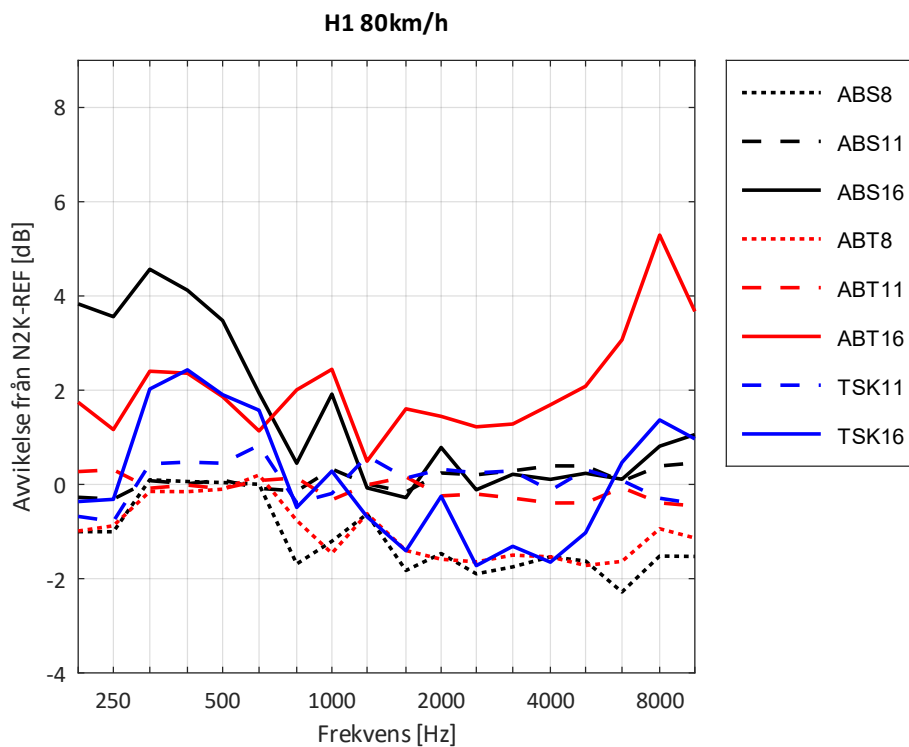
Figur 1. Uppmätt skillnad i tersbands ljudnivåer mellan NK2-REF och de olika belägningarna inmätta med CPX metodens referensdäck P1 och mät hastighet 50 km/h.



Figur 2. Uppmätt skillnad i tersbands ljudnivåer mellan NK2-REF och de olika belägningarna inmätta med CPX metodens referensdäck P1 och mät hastighet 80 km/h.



Figur 3. Uppmätt skillnad i tersbandsljudnivåer mellan NK2-REF och de olika belägningarna inmätta med CPX metodens referensdäck H1 och mät hastighet 50 km/h.



Figur 4. Uppmätt skillnad i tersbandsljudnivåer mellan NK2-REF och de olika belägningarna inmätta med CPX metodens referensdäck H1 och mät hastighet 80 km/h.

2 Metod för att bestämma vägytekorrektioner

2.1 Beskrivningar i Nord2000 och Harmonoise

Efter arbetet med den europeiska gemensamma beräkningsmetoden Harmonoise fördes mycket av resultaten in i Nord2000, eftersom de inblandade experterna från de nordiska länderna var i stort sett samma som låg bakom utvecklingen av Nord2000, i det kompletterande projektet "Nord2000 Road" omkring år 2005. I rapporten [6] står det om skillnad i bulleremission från olika beläggningar att: "This difference is often different for light and heavy vehicles. $\Delta L_{\text{surface}}$ can either be given for each one third octave band or for the A-weighted value" och det hänvisas även till exempel på korrektioner i rapporten för källdata för Harmonoise. I Harmonoiserapporten anges att: "Road surface corrections to apply on tyre/road noise depend on:

- Surface type (> 100 surface types, but only a few will be included in the first Harmonoise model)
- Vehicle categories (light and heavy)
- Speed (a + b log expression)
- Frequency band
- Directivity
- Age of surface"

2.2 Entalskorrektion

I Harmonoise såväl som i Nord2000 Road introducerades en enkel funktion (1) för att normalisera fordonens bulleremission för de olika referensbeläggningar som förekommer i olika europeiska länder, med utgångspunkt i den "gyllene standard" som är ett medel av ABS11 och ABT11 vilket är den referensbeläggning som ingår i Nord2000, i detta dokument benämnd N2K-REF:

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

där RS står för "Road Surface" och innebär +0,3 dBA för ABS eller -0,3 dBA för ABT (enligt schablonvärden i Nord2000),

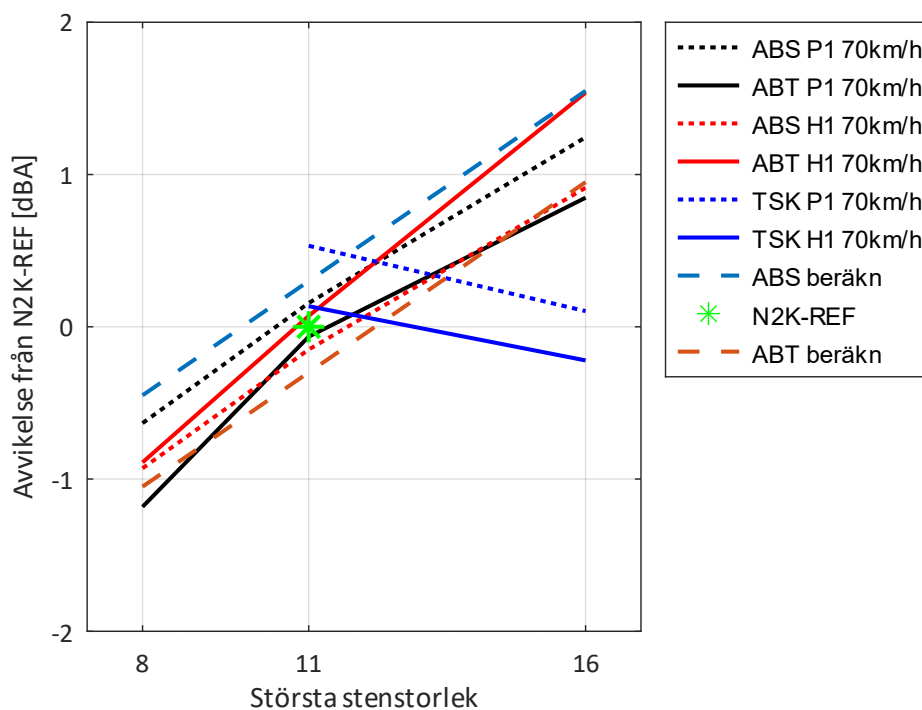
CS står för "(maximum) Chip Size" d.v.s. största stenstorlek och

0,25 är "lutningen" d.v.s. beroendet av stenstorlek i beläggningen för skillnad i nivå och har enhet dBA/mm.

För att jämföra med genomförda mätningar beräknades skillnaden i A-vägd ljudnivå mellan N2K-REF beräknad som medel av de mätningar av ABS11 och ABT11 som utförts 2010 – 2017 och de olika inmätta beläggningarna för de olika referensdäcken som funktion av stenstorlek. Figur 5 visar skillnad i A-vägd ljudnivå för de olika inmätta beläggningarna som funktion av största stenstorlek vid referenshastigheten 70 km/h.

Som kan ses i figuren stämmer lutningen på kurvorna i huvudsak med lutningen på de beräknade A-vägd skillnaderna i enlighet med metoden i Nord2000 / Harmonoise, vilket betyder att förhållandet med stenstorlek stämmer någorlunda väl mellan uppmätta resultat och beräknade värden för ABS och ABT-beläggningar. Däremot förefaller tunnskiktsbeläggningen (TSK) uppvisa avvikande egenskaper från ABS och ABT genom att nivåskillnaden är oförändrad eller till och med minskar med ökad stenstorlek, även om det bör noteras att denna beläggning endast förekom med två stenstorlekar, 11 och 16 mm, i stället för tre som för ABS och ABT; 8, 11 och 16 mm. TSK är dock inte en beläggning som ingår i det kluster av referensbeläggningar som nämns i Harmonoiserapporten [7] så entalskorrektion för den beläggningstypen är inte lika kritisk.

Skillnad i nivå beroende av beläggningstyp verkar skilja sig mellan uppmätta och beräknade värden och det är också noterbart att förhållandet mellan beläggningstyp och nivåskillnad skiljer sig åt mellan fordon av kategori 1 (P1-däck) och kategori 2 och 3 (H1-däck). Givet dessa förutsättningar är rekommendationen därför att behålla 0,25 som lutning för ABS- och ABT-beläggningar, men att det är svårt att motivera att behålla värdena på vägtyps faktorn RS i ekvation (1), 0,3 och -0,3 för ABS respektive ABT, speciellt med hänsyn till att det är relativt stora skillnader mellan de två däckstyperna.



Figur 5. Skillnad i A-vägd ljudnivå mellan N2K-REF och de olika inmätta beläggningarna som funktion av största stenstorlek. Nivåerna har interpolerats från mätningar i de av CPX-standardens föreskrivna mät hastigheterna 50 km/h och 80 km/h till referenshastigheten i Nord2000, 70 km/h. De olika kurvorna representerar de olika beläggningstyperna; ABS som prickad linje och ABT som heldragen linje. Tunnskiaktsbeläggning (TSK) uppvisar som synes ett avvikande beteende och kan alltså inte normaliseras i enlighet med ekvation (1). De beräknade entalskorrektionerna för ABS och ABT enligt Nord2000 / Harmonoise, se ekvation (1), inkluderas för jämförelse (streckade linjer).

Tabell 2 visar nya rekommenderade värden på beläggningstypfaktor (RS) givet bibehållen lutning (0,25 i ekvationen som återfinns i Nord2000 Road / Harmonoise) för P1-däck och H1-däck samt kombinationen av båda. I rapporten om källdata för Nord2000 Road nämns att den entalsreferensvägtytenormalisering som kan beräknas i enlighet med ekvation 1 endast skall användas för fordon av kategori 1. En viss hantering av skillnaden i vägtytans inverkan mellan fordonstyper skedde dock redan i Nordisk beräkningsmodell, reviderad 1996 genom att ha olika vägytekorrektion för olika andel tunga fordon (Tabell 1) och för att vara representativ så har i denna rapport därför det kombinerade värdet av vägytefaktor RS beräknats för trafikfördelning om 90% fordon av kategori 1 och 10% fordon av kategori 2 och 3, vilket också motiveras av att kategori 1 utgör 80–90 % av trafiken på de flesta större vägar och därmed har störst inflytande på ekvivalentnivån medan kategori 2 och 3 utgör det dominerande bidraget till maximalnivån. I beräkningarna bakom Tabell 2 har beläggningen ABT16 uteslutits då det endast genomförts mätning på ett enda exemplar av beläggningen vid ett enda tillfälle och därför utgör bristande statistiskt underlag.

Tabell 2. Beläggningstypfaktor och lutning för P1-däck och H1-däck, samt för båda sammantaget, beräknat för ABS och ABT från CPX-mätdata.

	RS ABS (dBA)	RS ABT (dBA)	LUTNING (dBA/mm)
P1	0,09	-0,16	0,25
H1	-0,30	-0,03	0,25
BÅDA²	0,05	-0,15	0,25

Om de vägytekorrektioner för Nord96 som finns i Tabell 1 skall användas i Nord2000 behöver korrektionerna först justeras för skillnad i referensvägyta med en motsvarande entalskorrektion. Vid sådan konvertering mellan olika referenssystem används faktorerna i Tabell 2 som är en sammanvägning av P1 och H1 (rad BÅDA). Med dessa värden på vägtyps faktorn RS för en lutning på 0,25 dBA/mm blir entalskorrektionen mellan N2K-REF och äldre svensk referensvägyta (ABS16) **1,30 dBA**. Om exempelvis emissionsnivåerna skall korrigeras för en sträcka med hastighetsbegränsning 50 km/h som är belagd med gatsten beräknas den resulterande korrektionen enligt:

+3 dBA enligt Tabell 1 för gatsten i hastighetsintervallet 0–60 km/h och fordonsfördelning 6–19 % kategori 2 och 3, plus 1,30 dBA för skillnad i referensbeläggning, vilket ger $3+1,30 = +4,30$ dBA i vägytekorrektion (att addera i samtliga frekvensband till rullbullrets ljudeffektnivå).

I Bilaga 1 sammanfattas fler entalskorrektioner och översättningar mellan beteckningar i Trafikverkets databas över vägegenskaper, PMS, och rekommenderad motsvarande beläggning för bestämmande av entalkorrektion.

2.3 Att använda korrektioner för beläggningar från andra länder

Både Nord2000 och Harmonoise är tänkta att kunna användas i olika länder där olika referensbeläggningar gäller. Det finns bl.a. exempel på vägytekorrektioner publicerade i avsnitt 6.10.4 av källdatarapporten för Harmonoise [7] för några olika beläggningar i andra länder. Huruvida korrektioner från andra länder än Sverige är lämpade för svenska förhållanden beror på om de förhållanden som gäller för korrektionerna motsvarar svenska förhållanden. Ett exempel är danska vägytekorrektioner som representerar ett årsmedelvärde och som har korrigerats för temperaturvariationer och att vägytan är fuktig en del av tiden. Förutsättningarna för rådande riktvärden i Sverige är att vägytan är torr och att lufttemperaturen är 15 °C, vilket gör att danska vägytekorrektioner inte kan användas. På motsvarande sätt behöver förhållandena för de eventuella vägytekorrektioner från länder utanför Sverige som finns att tillgå noga undersökas av användaren för att avgöra om de är användbara för svenska förhållanden.

I appendix A till rapporten om källmodellen för Nord2000 anges: "For Swedish, Norwegian and Finnish roads the tyre/road (rolling) coefficients are to be corrected as given in table A.2" [6]. Behovet av korrigeringen uppstod efter jämförelse mellan mätresultat från de olika länder som bidragit med mätunderlag i arbetet med den uppdaterade vägtrafikmodellen i Nord2000. Pass-bymätningar från Sverige, Norge och Finland uppvisade genomgående högre nivåer för samma typ av beläggning, vilket sannolikt beror på att användningen av dubbade däck i de tre länderna ökar slitaget på beläggningen vilket ökar ytråheten på vägytan. Detta hanteras alltså i Nord2000 med en speciell spektrumanpassningsterm för svenska (och norska och finska) förhållanden. Eftersom spektrumanpassningen baseras på pass-bymätningar så kan inte bidrag av olika ursprung separeras, vilket innebär att spektrumanpassningen omfattar både den större ytråheten på svenska vägar p.g.a. dubbslitage och eventuella skillnader i däck-vägbuller på grund av skillnader i sammansättning av den

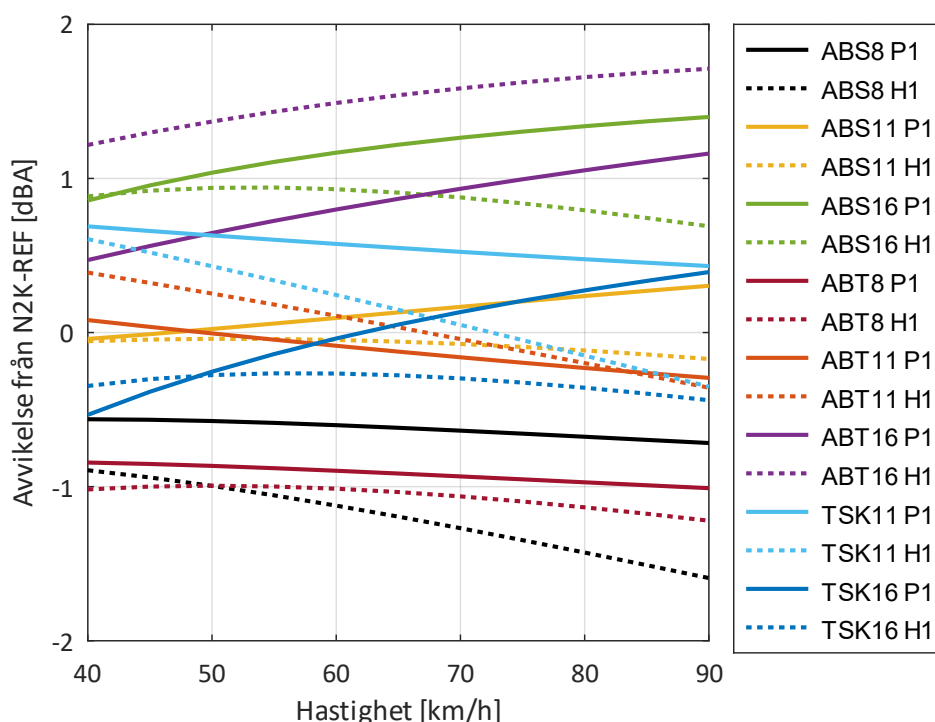
² Baserat på 90% kategori 1 och 10% kategori 2 och 3.

svenska fordonsflottan jämfört med den som ingår i de emissionsdata som inkluderas i Nord2000. Den spektrumanpassning som publicerades 2006 [6] har senare uppdaterats då också en anpassning för framdrivningsbuller togs fram för att stämma bättre med dagens svenska fordonsflotta [9] [10]. Samtliga mätningar som ligger till grund för de vägytekorrektioner som presenteras i denna rapport är inmätta på det svenska vägnätet, med en referensbeläggning framräknad från svenska mätdata. Därmed kan man anta att förhållandet mellan respektive inmätt svensk beläggning och svensk version Nord2000-referensbeläggning är detsamma som förhållandet mellan referensbeläggning och inmätt beläggning i andra länder. Men om utländska korrektionstermer för beläggningar innehåller annat än uppmätt skillnad mellan aktuell beläggning och referensbeläggning, så som vädereffekter, så kan kanske ändå inte korrektionstermerna nyttjas för svenska förhållanden.

2.4 Hastighetsberoende och frekvensberoende

För att ytterligare undersöka vilka effekter som skulle vara aktuella att inkludera i en vägytekorrektion baserad på de genomförda CPX-mätningarna beräknades skillnad i A-vägd nivå för de olika inmätta beläggningarna för både P1-däcket och H1-däcket jämfört med N2K-REF. Ett hastighetsberoende beräknades genom att inter- och extrapolera relativt de två mät hastigheterna 50 km/h och 80 km/h.

Figur 6 visar hur skillnad i A-vägd ljudnivå varierar med hastighet för de inmätta beläggningarna och för de två olika typerna av däck. Det man kan se i figuren är att för flera av beläggningarna föreligger ett hastighetsberoende och att det är olika för olika beläggningar och olika fordonstyper. Sammanfattningsvis, för en korrekt beskrivning av hur olika beläggningar påverkar utstrålat buller behövs korrektioner som både är frekvensberoende, hastighetsberoende och skiljer mellan fordonstyp.



Figur 6. A-vägd vägytekorrektion relativt N2K-REF som funktion av hastighet för olika beläggningar och olika referensdäck.

CPX-metoden föreskriver mätning vid hastigheterna 50, 80 och 110 km/h i tersband med centerfrekvenser mellan 315 och 5000 Hz. De mätningar som är tillgängliga som underlag till denna rapport har utförts för hastigheterna 50 och 80 km/h – av naturliga skäl är det inte möjligt att göra mätningar i 110 km/h på de flesta vägar, ens om dispens erhållits för att köra dragfordonet med CPX-mätvagn i hastigheter över de vanligen tillåtna 80 km/h. Vägytekorrektionerna som presenteras i denna rapport har därmed tagits fram genom att beräkna en hastighetsberoende nivåskillnad för varje tersband mellan 315 och 5000 Hz utifrån de två mätastigheterna 50 och 80 km/h för de båda referensdäcken P1 och H1, på formen $\alpha_i + \beta_i \cdot (v/v_{ref})$, där i refererar till respektive tersband och där referenshastigheten v_{ref} är 70 km/h för Nord2000. För att minimera risken för stora fel på grund av extrapolering långt utanför mätastigheterna så begränsas giltig hastighet till som lägst 40 km/h och som högst 90 km/h. Det innebär att $v = 40$ används för fordonshastigheter under 40 km/h och $v = 90$ för fordonshastigheter över 90 km/h när vägytekorrektionen beräknas.

Nord2000 hanterar ett betydligt större frekvensomfång än vad som ingår i CPX-metoden, och det är möjligt att det finns skillnader i utstrålad ljudnivå från däck mellan olika vägbeläggningar för lägre frekvenser än 315 Hz. Ett exempel på modellering [11] indikerar att ljud från rullande däck ger bidrag i frekvenser neråt 200 Hz för personbilsdäck, och med tanke på de större dimensionerna hos däck för tunga fordon är det inte omöjligt att tänka sig att de kan ge bidrag ännu längre ner i frekvens. Det är möjligt att använda pass by-mätningar [1] för att fånga lågfrekventa effekter, med risk för att ljud från drivlinan påverkar resultaten. Underlaget för korrektioner i denna rapport utgörs dock endast av CPX-mätningar med de begränsningar i frekvensomfång det innebär.

3 Vägytekorrektioner för Nord2000

3.1 Korrektionsberäkning

Nedanstående tabeller innehåller α - och β -parametrar för att beräkna hastighets och frekvensberoende vägytekorrektion för olika fordonstyper enligt

$$\Delta L_{v_{äg,i,j}} = \alpha_{i,j} + \beta_{i,j} \cdot \log\left(\frac{v_j}{v_{ref}}\right),$$

där i representerar aktuellt tersband, j representerar aktuell fordonstyp, $v_{ref} = 70$ km/h och där 40 km/h $\leq v \leq 90$ km/h. Vid hastigheter under 40 km/h sätts $v = 40$. Vid hastigheter över 90 km/h sätts $v = 90$.

För att erhålla korrekta bulleremissioner skall man utgå från grundemissionen i Nord2000 [6], applicera spektrumanpassning för svenska förhållanden från 2015 [9] och slutligen inkludera nedanstående vägytekorrektioner för aktuell vägyta. I användarhandledningen för beräkning med Nord2000 i Sverige [10] har för enkelhets skull de ursprungliga bulleremissionerna och spektrumanpassningen för svenska förhållanden räknats samman i en tabell som bara kräver nedanstående vägytekorrektioner för att ge korrekta emissionsnivåer.

3.2 Kategori 1 (lätta fordon)

Tabell 3. Vägytekorrektioner för fordon av Kategori 1 för några olika beläggningar som förekommer i Sverige. Baserat på CPX-mätningar med P1-däck i 50 km/h och 80 km/h.

	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000
KAT. 1															
	α														
ABS8	-0,27	0,02	0,01	0,15	-0,12	-1,16	-0,60	-1,29	-1,46	-1,69	-1,35	-1,23	-1,21	-1,23	-1,21
ABS11	0,43	-0,03	0,06	-0,03	0,34	0,14	0,16	-0,17	0,02	0,24	0,41	0,30	0,19	0,30	0,19
ABS16	3,84	3,29	2,83	2,22	1,68	1,38	0,58	-0,46	-0,05	0,38	0,54	0,10	-0,01	0,10	-0,01
ABT8	-0,44	-0,28	-0,49	-0,33	-0,77	-1,15	-1,06	-1,02	-1,34	-1,42	-1,28	-0,99	-0,85	-0,99	-0,85
ABT11	-0,43	0,03	-0,06	0,03	-0,34	-0,14	-0,16	0,17	-0,02	-0,24	-0,41	-0,30	-0,19	-0,30	-0,19
ABT16	1,49	1,36	0,33	0,50	0,38	1,52	0,98	0,78	1,36	1,30	1,58	1,62	1,34	1,62	1,34
TSK11	-0,19	0,09	0,41	0,71	0,80	0,17	0,64	0,48	0,36	0,14	0,30	0,44	0,57	0,44	0,57
TSK16	1,34	1,48	1,34	1,51	0,91	-0,14	-0,67	-1,71	-1,26	-1,18	-1,16	-1,79	-1,73	-1,79	-1,73
	β														
ABS8	5,24	5,88	5,16	2,43	-0,34	-0,08	-1,30	-2,09	-3,73	-2,67	-2,25	-2,58	-2,55	-2,58	-2,55
ABS11	-3,74	-4,20	-1,21	-0,43	0,98	0,11	1,74	2,87	2,78	3,72	4,67	5,16	5,89	5,16	5,89
ABS16	5,10	4,62	9,57	6,78	2,17	1,94	1,16	-2,57	-2,85	-0,77	-1,38	-2,76	-3,65	-2,76	-3,65
ABT8	4,74	4,74	3,64	1,54	-0,61	-0,30	-0,62	-0,69	-2,54	-2,74	-3,31	-2,93	-2,29	-2,93	-2,29
ABT11	3,74	4,20	1,21	0,43	-0,98	-0,11	-1,74	-2,87	-2,78	-3,72	-4,67	-5,16	-5,89	-5,16	-5,89
ABT16	1,34	-1,43	3,87	4,26	4,30	2,52	1,80	-2,87	-2,81	-0,34	-0,63	-3,42	-4,07	-3,42	-4,07
TSK11	2,12	1,90	2,17	0,58	-0,34	0,00	-1,09	-3,00	-4,55	-3,06	-2,61	-3,37	-4,36	-3,37	-4,36
TSK16	4,21	4,53	8,58	8,20	3,51	2,82	1,46	-1,38	-1,39	-0,04	-0,78	-2,59	-3,25	-2,59	-3,25

3.3 Kategori 2 och 3 (medeltunga och tunga fordon)

Tabell 4. Vägytekorrektioner för fordon av Kategori 2 och 3 för några olika beläggningar som förekommer i Sverige. Baserat på CPX-mätningar med H1-däck i 50 km/h och 80 km/h.

	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000
KAT. 2-3															
	α														
ABS8	-0,10	-0,09	-0,11	-0,15	-1,59	-1,14	-0,66	-1,81	-1,45	-1,80	-1,64	-1,37	-1,33	-1,37	-1,33
ABS11	0,30	0,09	0,08	-0,11	-0,13	0,28	-0,15	-0,26	0,09	-0,01	0,13	0,25	0,21	0,25	0,21
ABS16	4,13	3,52	2,79	1,65	0,51	1,77	-0,09	-0,15	0,85	-0,01	0,33	0,43	0,53	0,43	0,53
ABT8	-0,34	-0,32	-0,22	0,00	-0,83	-1,46	-0,69	-1,44	-1,55	-1,53	-1,37	-1,39	-1,47	-1,39	-1,47
ABT11	-0,30	-0,09	-0,08	0,11	0,13	-0,28	0,15	0,26	-0,09	0,01	-0,13	-0,25	-0,21	-0,25	-0,21
ABT16	2,16	2,22	1,72	1,04	1,65	2,19	0,54	1,76	1,47	1,35	1,54	2,22	2,64	2,22	2,64
TSK11	0,32	0,35	0,42	0,73	-0,24	-0,09	0,63	0,22	0,41	0,37	0,41	0,20	0,60	0,20	0,60
TSK16	1,74	2,06	1,53	1,21	-0,50	0,14	-0,75	-1,32	-0,26	-1,70	-1,25	-1,37	-0,78	-1,37	-0,78
	β														
ABS8	3,36	2,67	2,63	2,61	-1,71	-1,09	0,63	-0,29	-0,27	-1,60	-1,87	-2,80	-5,12	-2,80	-5,12
ABS11	-3,81	-1,36	0,18	0,39	-0,10	0,77	2,83	1,75	2,66	3,64	2,84	2,43	3,22	2,43	3,22
ABS16	7,56	10,42	11,80	4,95	-1,09	2,50	0,31	-2,28	-1,11	-1,72	-2,06	-5,64	-5,09	-5,64	-5,09
ABT8	3,31	2,91	2,12	3,49	1,21	-0,07	1,26	0,62	-0,65	-1,90	-2,18	-2,57	-4,28	-2,57	-4,28
ABT11	3,81	1,36	-0,18	-0,39	0,10	-0,77	-2,83	-1,75	-2,66	-3,64	-2,84	-2,43	-3,22	-2,43	-3,22
ABT16	4,26	2,34	2,52	1,58	6,11	4,40	-0,77	-2,71	-0,39	-2,22	-4,42	-9,20	-9,62	-9,20	-9,62
TSK11	2,02	2,11	0,46	1,74	-2,61	-1,67	-0,51	-1,53	-1,58	-2,14	-2,18	-5,57	-4,92	-5,57	-4,92
TSK16	4,96	6,48	6,54	6,23	0,22	2,38	1,04	-1,49	0,18	-0,37	-1,13	-4,90	-4,30	-4,90	-4,30

4 Porösa beläggningar

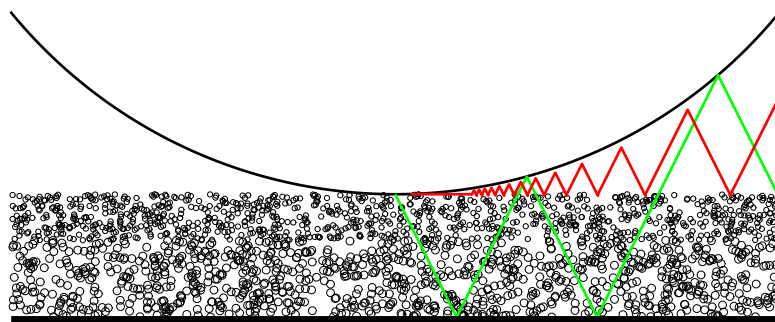
Porösa beläggningar är beläggningar som har sammanhängande hålrum som låter vatten rinna igenom beläggningen för att undvika vattensamlingar som bl.a. kan orsaka vattenplaning. I och med hålrummen kan även luft passera genom beläggningen och det innebär en kraftig reduktion i utstrålat buller från däck-vägbaneinteraktionen. Beläggningen innehåller fortfarande aggregat av motsvarande storlek som ordinarie beläggningar, vilket innebär att de vibrationer som uppstår i däckets när det rullar över beläggningen motsvarar de från en ordinarie beläggning. Möjligen är stenmaterialet inte lika tätpackat så att vibrationerna kan vara något minskade jämfört med de stenrikare ordinarie beläggningarna som ABS. Men den stora effekten på utstrålat buller är en kombination av olika effekter som uppstår i och med permeabiliteten i beläggningen.

4.1 Akustisk kortslutning

För en tät beläggning kommer vibrationer nära kontaktytan mellan däck och väg orsaka ljudtryck som inte har någon annanstans att ta vägen är ut ur "hornet" som bildas mellan profilen hos däckets och hos vägytan. Genom att göra vägytan genomsläpplig så kan ljudtrycket minska eftersom luften kan "sippra" igenom beläggningen alldeles där ljudtrycket är som starkast. Det gör att förutsättningarna för horneffekten minskar drastiskt genom att styrkan hos själva källan minskar. Det gör också att den del av ljudgenereringen som beror av air pumping i stort sett uteblir helt eftersom det inte kan bli någon luftvolym som komprimeras mellan däckets och den porösa vägytan. En dränerande beläggning har dock alltid en tät beläggning under, för att vatten inte skall tränga in i väggkroppen och försämra vägens bärighet. Ljudvågor som tränger ner i beläggningen reflekteras därmed mot det täta underlaget och sprids vidare till omgivningen, men hur stark den reflekterade ljudvågen är bestäms av beläggningens akustiska impedans och av beläggningens tjocklek.

4.2 Akustisk absorption

Utöver att permeabiliteten minskar buller för att ljudtrycket inte kan byggas upp lika effektivt så kan den porösa vägytan också innebära viss akustisk absorption. Det innebär att när luften flödar genom beläggningen så uppstår friktion mellan luftmolekylerna och vägytans material. Hur stor absorptionen är beror på hur mycket material som är "i vägen" för luften utan att dra ner på luftflödets hastighet så att ingen friktion uppstår. När akustiska absorbenter utvecklas för att optimera rumsakustiska egenskaper så utgår man oftast från material med långa fibrer så som glasfiberull, just på grund av den optimala balansen mellan täthet och friktion. Absorptionen utgör alltså en del av den akustiska impedansen, och hur stor den akustiska impedansen är hos dränbeläggning diskuteras i en separat rapport [12]. Sammanfattningsvis kan sägas att absorptionen mest relaterar till effekter på utbredningen av ljudet snarare än till genereringen, men att flödesmotståndet i ett material också är relaterat till den akustiska impedansen, som i sin tur påverkar hur stor del av en inkommande ljudvåg som reflekteras och hur stor del som absorberas.



Figur 7. Principskiss av hur en "ljudstråle" (röd linje) som genereras vid vägytan reflekteras mellan däck och vägytan i den s.k. "horneffekten". En annan ljudstråle (grön linje) propagerar genom den porösa beläggningen och reflekteras i det täta bottenlagret och uppvisar en betydligt mindre "horneffekt".

Den reflekterade delen beter sig i princip som en tät beläggning där den dominerande effekten är den s.k. "horneffekten". Varje reflex i den porösa vägytan innebär en viss del absorption och en viss del reflektion, så när det uppstår många reflexer mellan vägyta och däck innebär det samtidigt många möjligheter till absorption. Om inte hela ljudvågens rörelseenergi absorberas i den porösa beläggningen så når ljudvågen ner till botten av det porösa lagret och reflekteras mot det täta lagret under den porösa beläggningen. Denna reflekterade ljudvåg absorberas på nytt när den propagerar uppåt genom den porösa beläggningen, men kan ha energi kvar när den når ytan och kan då reflekteras i däck precis som de ljudvågor som reflekterats i vägytan (Figur 7 visar en principskiss av de två förloppen). Så viss horneffekt kan uppstå även för den del av ljudvågen som propagerar genom den porösa beläggningen, men effekten är på grund av avståndet mellan de två reflekterande ytorna, däck och det täta lagret under den porösa beläggningen, betydligt mindre än för täta beläggningar.

4.3 Akustisk livslängd

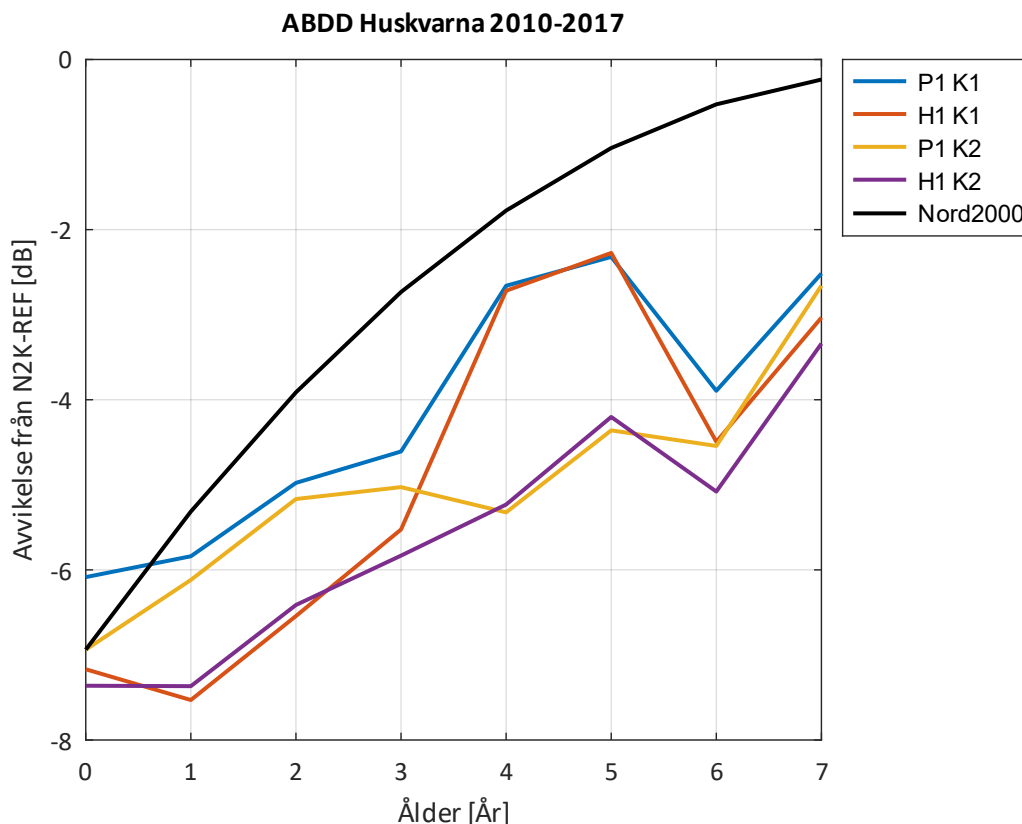
I Sverige har dränerande beläggning testats som åtgärd mot buller vid några olika platsen under de senaste dryga 20 åren. Det mest lyckade exemplet är i Huskvarna där det för att minska bullerexponeringen från E4:an [13] både har genomförts en hastighetssänkning och lagts porös beläggning bestående av ett 50 mm lager dränbeläggning med 16 mm största stenstorlek (ABD16) med ett 30 mm lager dränbeläggning med 11 mm största stenstorlek (ABD11) ovanpå, ofta benämnd dubbeldränbeläggning (ABDD). Andra exempel har uppvisat sämre bullerreduktion och/eller sämre teknisk livslängd vilket kan bero på olika trafikmängd och skillnader mellan beläggningarnas bindemedel m.m. Även om beläggningen i Huskvarna uppvisar mycket goda bullerreducerande egenskaper när den är nylagd så avtar effekten över tid mestadels på grund av att porerna i den porösa beläggningen sätts igen av vad som till största delen består av vägsitagepartiklar på grund av dubbdäcksanvändning. I Nord2000 hanteras den försämrade bullerreduktionen över tid med en enkel ekvation som dock enbart gäller för porösa vägytor där det inte förekommer dubbdäck:

" For surfaces within the reference cluster the deterioration becomes stable already after 2 years. However, if the surface is porous then the deterioration continues for 7 years. For porous surfaces like PAC, PCC, PERS and OGAC the equation is

$$\Delta L_T = \Delta L_0 (1 - (0,25T - 0,016T^2)), T \leq 7 \text{ years}$$

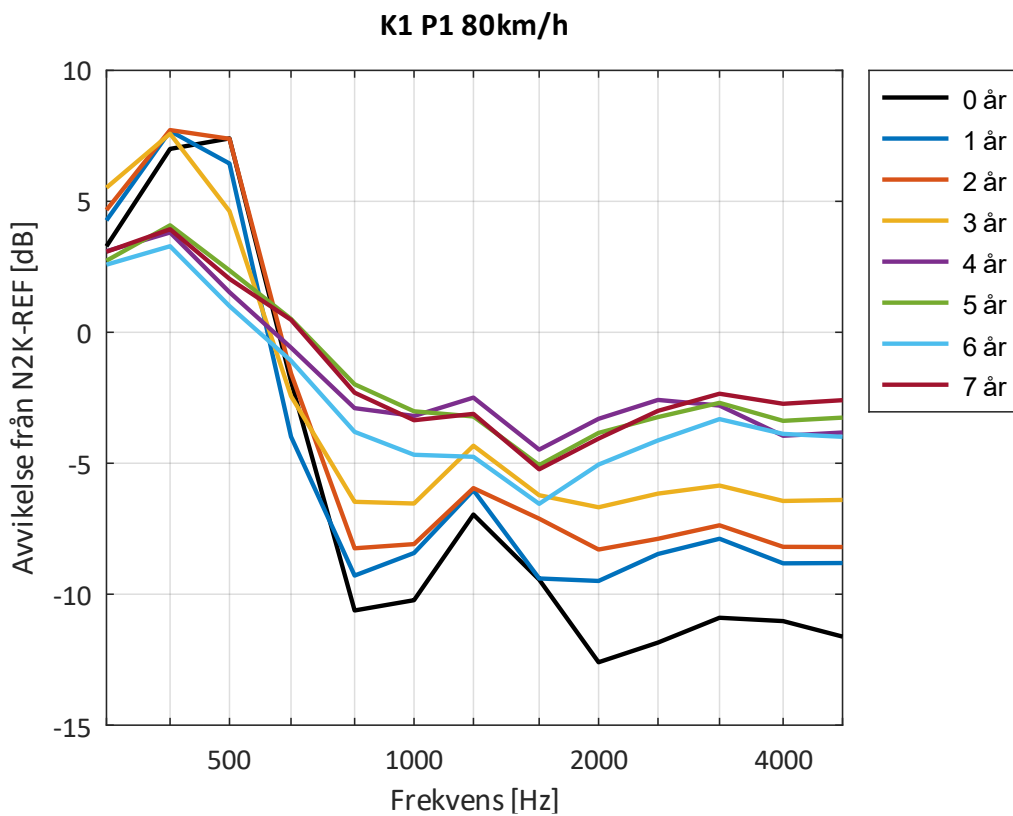
where ΔL_0 is the sound pressure level for the individual frequency band relative the reference surface at the time $T=0$ years. The correction is made at each band frequency for the rolling noise component.”

För dubbeldränbeläggningen i Huskvarna förefaller försämringen av bullerreduktionen över tid inte vara lika stor, trots förekomsten av dubbdäck (Figur 8). Till skillnad från den beräknade försämringen i Nord2000 som ger att bullerreduktionen i stort sett är obefintlig efter sju år så uppvisar beläggningen i Huskvarna en kvarvarande bullerreduktion på 3dB(A) efter samma period.

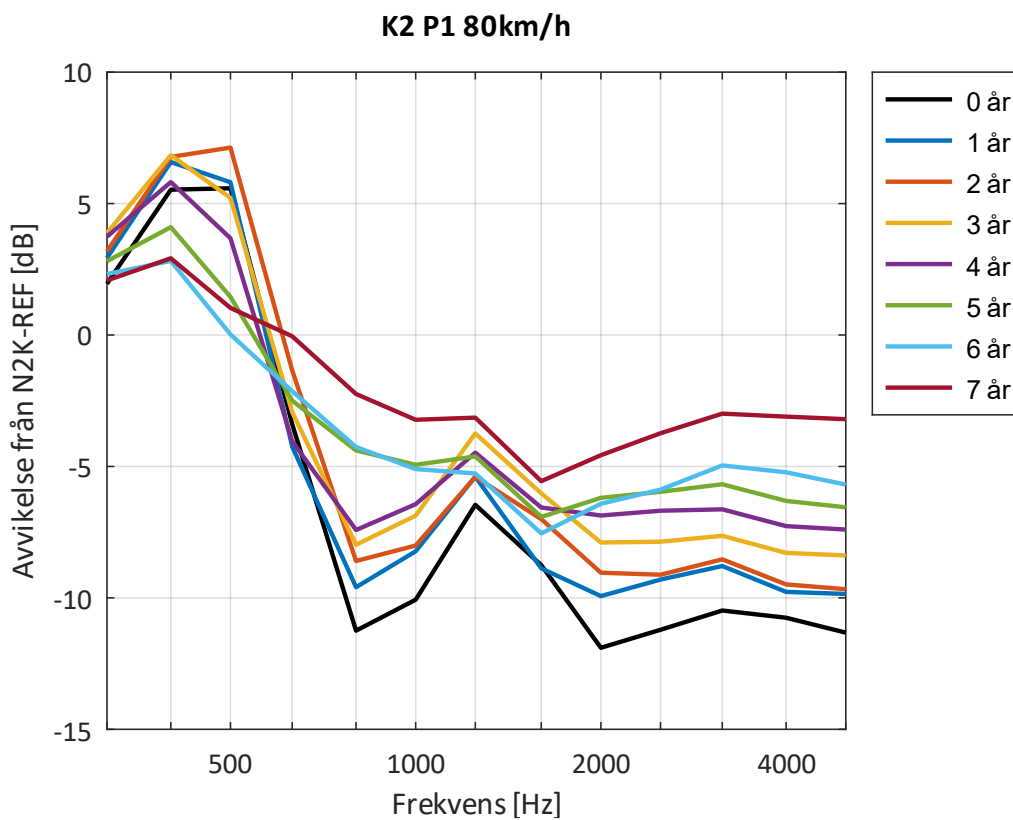


Figur 8. Skillnad i A-vägd ljudnivå över sju år mellan porös beläggning i Huskvarna och N2K-REF för respektive standardiserat däck. P1 för kategori 1-fordon och H1 för fordon av kategori 2 och 3. K1 är vänster körfält och K2 är höger körfält.

I Figur 8 visas också hur bullerreduktionen förändras under de 8 år som beläggningen tjänstgjort innan den lades om år 2018 för de två olika referensdäcken P1, som representerar fordon av kategori 1, och H1, som representerar fordon av kategori 2 och 3, och de två körfälten K1, som är höger körfält där majoriteten av all trafik förekommer, framförallt all tung trafik, och K2 som är vänster körfält där mestadels lätta fordon som kör högre hastighet än medelhastigheten förekommer. På grund av oro för beläggningens tekniska hållbarhet bestämde sig Trafikverket för att göra en så kallad försegling av vägytan i högra körfältet, K1, mellan år 3 och år 4 av beläggningens tjänsteperiod med en form av bitumenspray som skulle minska risken för att stenar skulle släppa ur beläggningen. Denna försegling påverkade även den bullerreducerande effekten vilken försämrades betydligt, se röd och blå kurva i Figur 8, och hamnade på en nivå som motsvarar den som erhöles i slutet av beläggningens akustiska livslängd för det obehandlade körfältet, K2. Denna effekt är också tydlig när man betraktar skillnadsspektrum mellan den porösa beläggningen och referensbeläggningen i Nord2000 (N2K-REF).



Figur 9. Avvikelse från N2K-REF för en dubbeldränbeläggning i Huskvarna under 7 år, vänster körfält (K1) inmätt med referensdäck för fordon av kategori 1 (P1) i 80 km/h.



Figur 10. Avvikelse från N2K-REF för en dubbeldränbeläggning i Huskvarna under 7 år, höger körfält (K2) inmätt med referensdäck för fordon av kategori 1 (P1) i 80 km/h.

Figur 9 visar tersbandsspektra av avvikelse från N2K-REF för vänster körfält av dubbeldränbeläggningen i Huskvarna, för samtliga år beläggningen var i bruk, uppmätt med CPX-metodens P1-däck. Effekten av att försegla ytan syns tydligt genom att kurvorna för år 0 – 3 visar gradvis avtagande bullerreduktion, förutom för de lägsta frekvenserna vilket sannolikt beror på att beläggningens tjocklek är liten i förhållande till ljudets våglängd i de frekvensbanden så den reducerande effekten är begränsad. Kurvorna för åren 4 – 7 uppvisar betydligt mindre bullerreduktion och uppvisar dessutom liten skillnad mellan de olika åren vilket tyder på att förseglingen mestadels satt bullerreduktionen ut funktion.

Figur 10 visar motsvarande spektra för höger körfält, K2, vilket inte förseglades med bitumenspray. Här ser man det förväntade beteendet med gradvis försämring av bullerreduktionen i tersbanden 800 Hz och uppåt. Noterbart är att de två spektra för år 5 och år 6 inte skiljer sig nämnvärt från varandra. Orsaken till detta är inte klarlagt, men kan möjligen delvis bero på avvikande förhållanden under mätningen under år 5 eller år 6 som påverkade resultaten.

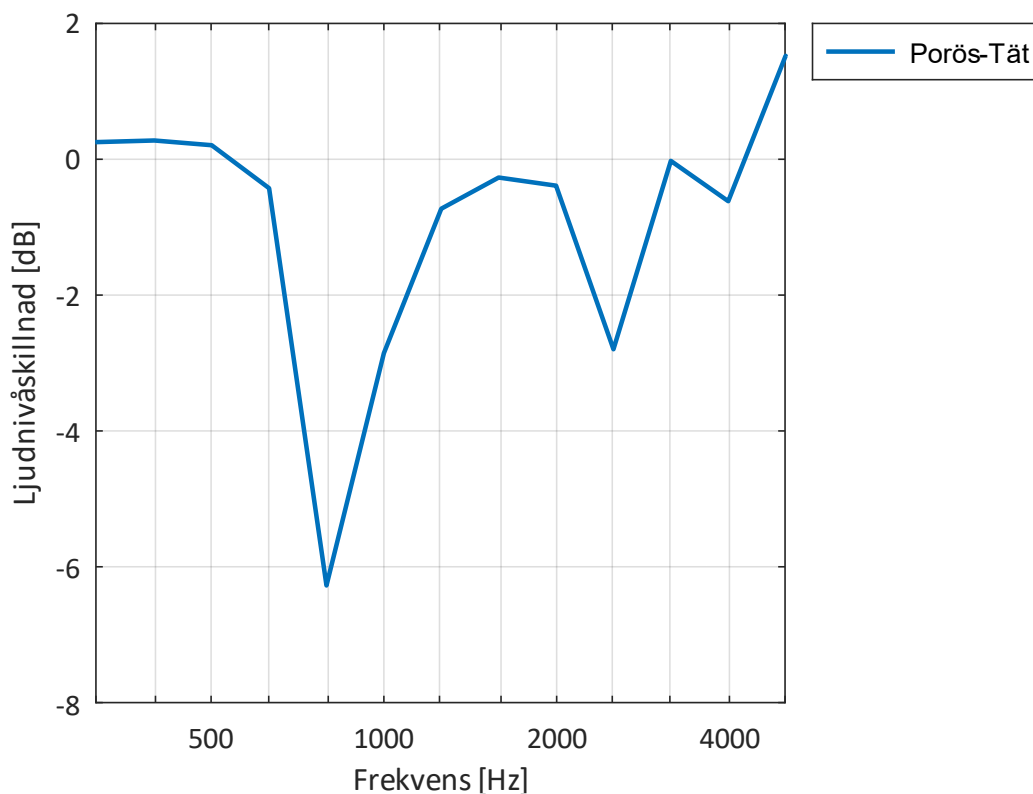
4.4 Akustisk vägytekorrektion

Som ett exempel på hastighetsberoende korrektionsfaktorer presenteras motsvarande spektra för år 0 och för år 7 för höger körfält, K2, där ingen försegling förekommit, för både P1-däck och H1-däcket i Tabell 5. Dessa korrektioner består alltså endast av alfa-parametern och inte den hastighetsberoende beta-parametern. Beläggningen i Huskvarna lades om 2018 och det pågår analys av den omlagda beläggningens bullerreducerande prestanda vilket kommer att komplettera underlaget som presenteras här. Då finns även möjlighet att göra en analys av hastighetsberoendet hos vägytekorrektionen för ABDD-beläggningen.

Tabell 5. Avvikelse från N2K-REF för en nylagd porös beläggning (Y0) och en sju år gammal porös beläggning (Y7) i Huskvarna. Baserat på CPX-mätningar med P1-däck och H1-däck i 80 km/h.

	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000
80 KM/H	α														
P1 Y0	1,95	5,53	5,58	-3,39	-11,25	-10,07	-6,46	-8,75	-11,9	-11,21	-10,48	-10,76	-11,32	1,95	5,53
P1 Y7	2,08	2,92	1,03	-0,05	-2,24	-3,22	-3,14	-5,56	-4,57	-3,74	-2,99	-3,11	-3,2	2,08	2,92
H1 Y0	1,61	3,81	0,83	-4,92	-11,71	-6,89	-5,96	-7,13	-9,11	-9,79	-9,43	-8,95	-9,48	1,61	3,81
H1 Y7	2,17	2,4	0,37	-1,76	-4,66	-1,32	-3,82	-5,33	-3,46	-3,76	-3,44	-3,46	-3,14	2,17	2,4

Dessa vägytekorrektioner skall bara ses som exempel på hur sådana kan tas fram från CPX-mätningar och bör inte användas som allmänt giltiga för alla förekommande porösa beläggningar, inte minst med tanke på att flera andra försök med porösa beläggningar i Sverige varit betydligt mindre lyckade. En ytterligare anledning till att dessa korrektioner inte bör appliceras utan förbehåll är att till skillnad från när det gäller täta beläggningar så bör man kompensera för utbredningseffekter i CPX-mätningarna av porösa beläggningar. Även om avståndet mellan däck och mikrofon är litet så påverkar den porösa beläggningens impedans den resulterande ljudnivån. Figur 11 visar en beräkning av skillnaden i markimpedansens påverkan på ljudutbredningen från däck till endera av de två obligatoriska mätmikrofonpositionerna förskrivna i CPX-metoden för porös beläggning jämfört med tät beläggning. Den förenklade Delany & Bazley-modellen för markimpedans som ingår i Nord2000 kan inte på ett korrekt sätt ta hänsyn till den porösa beläggningens tjocklek i förhållande till ljudets våglängd, men med en mer avancerad modell som tagits fram av Hamet et. al. [14] kan en mer realistisk utbredningseffekt beräknas.



Figur 11. Effekten av markimpedans på CPX-mätningar av porös beläggning jämfört med tät beläggning, beräknad med Nord2000 med två olika impedansmodeller; Delany & Bazley för tät beläggning respektive Hamet et. al. [12] för porös beläggning.

Figur 11 visar ett exempel på beräknad skillnad i utbredningseffekt mellan tät och porös beläggning för den geometri för placering av källa och mottagare som gäller vid CPX-mätning. Beräkningen gäller för en porös schablonbeläggning som är 40 mm tjock, och är alltså inte representativ för beläggningen i Huskvarna. Värdet för beläggningens akustiska impedans är också i huvudsak skattat och inte uppmätt för någon verklig, i Sverige förekommande porös beläggning.

För att få korrekta beräknade bullernivåer för mottagarpunkter i omgivningen kring en väg med porös beläggning behöver markimpedanseffekten på CPX-mätresultaten korrigeras så att den resulterande vägytekorrektionen resulterar i en korrekt ljudeffekt som bara beror av däck-väginteraktionen, inte av någon utbredningseffekt. Utan denna korrektion riskeras att de beräknade nivåerna underskattar det verkliga fallet eftersom beräkningarna då innehåller markeffekten två gånger, en inkluderad i CPX-mätningarna och en inkluderad i markimpedansdelen i utbredningsberäkningen. En sådan korrektion för CPX-mätning av porös vägbeläggning finns inte att tillgå idag, men det är angeläget att en sådan tas fram för att kunna använda CPX-metoden för att ta fram relevanta vägytekorrektioner för porösa beläggningar på samma sätt som för täta beläggningar.

5 Referenser

- [1] International Organization for Standardization. (2023) *Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 1: Statistical pass-by method* (ISO 11819-1:2023).
- [2] International Organization for Standardization. (2017) *Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 2: The close-proximity method* (ISO 11819-2:2017).
- [3] Sandberg, U. & Eijsmont, J. A. (2002) *Tyre/road noise reference book*. INFORMEX, Kisa, Sverige, ISBN 9789163126109.
- [4] *Vägtrafikbuller – Nordisk beräkningsmodell, reviderad 1996*, Rapport 4653, Naturvårdsverkets förlag, 1996.
- [5] Sandberg, U. (2000) *Vägytans inverkan på trafikbulleremissionen - korrektionstabell för effektsambandsmodeller*, VTI Notat 30-2000, Statens Väg och Transportforskningsinstitut.
- [6] Jonasson, H. G., (2006) *Acoustic Source Modelling of Nordic Road Vehicles*, SP Rapport 2006:12.
- [7] Jonasson, H. G. et. al. (2004) *Source modelling of road vehicles - Deliverable 9 of the Harmonoise project*, Document HAR11TR-041210-SP10.
- [8] Kragh, J. (2013). *Vejbelaegning i Nord2000 - Vordan vi tager vejbelaeegningen med i beregninger af trafikstøj*, Notat 08/14637-3, Vejdirektoratet, Danmark
- [9] Larsson, K., Jonasson, H., (2015) *Uppdaterade beräkningsmodeller för vägtrafikbuller*, SP Rapport 2015:72, Sveriges Tekniska Institut (SP)
- [10] Gustafson, A., et. al. (2024) *NORD2000 - Användarhandledning för beräkning av buller från väg- och spårtrafik för svenskt bruk*, Kunskapscentrum om Buller.
- [11] Kropp, W., et. al. (2012) *On the sound radiation of a rolling tyre*, Journal of Sound and Vibration, Volume 331, Issue 8, Pages 1789-1805
- [12] Gustafson, A., Genell, A., (2024) *Porösa vägbeläggningar - Hantering i Nord2000*, Kunskapscentrum om Buller.
- [13] Sandberg, U., et. al. (2018) *Acoustic lifecycle study of the double-layer porous asphalt on E4 in Huskvarna, Sweden*, Proceedings of INTER-NOISE 2018 - 47th International Congress and Exposition on Noise Control, Chicago, USA
- [14] M. C. Berengier, M. Stinson, G. A. Daigle, and J.-F. Hamet (1997) *Porous road pavements: Acoustical characterization and propagation effects*, J. Acoust. Soc. Am. 101, 155–162.
- [15] Vägverket (2009) *Råd för val av beläggning med hänsyn till miljö*, Vägverket Publikation 2009:124

14b.	D:o, nylagd	<1	0	0	-1	0	0	-1	0	-1
15a.	Ytbehandling, dubbel (Y2B), max 10-12mm	1-20	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
15b.	D:o, nylagd	<1	-1	-1	0	-1	-1	0	-1	0
16a.	Dränasfalt HABD, hålrum 18-21%, 14-16mm	<1	-3	-2	-2	-3	-3	-3	-3	-3
16b.	D:o, 1-2 år	1-2	-1	-1	0	-1	-1	-1	-2	-2
16c.	D:o, 3-7 år	3-7	0	0	0	0	0	0	-1	-1
17a.	Dränasfalt HABD, hålrum 22-27%, 14-16mm	<1	-4	-3	-3	-4	-4	-4	-4	-4
17b.	D:o, 1-2 år	1-2	-2	-1	-1	-3	-3	-3	-3	-3
17c.	D:o, 3-7 år	3-7	-1	0	0	-2	-2	-2	-2	-2
18a.	Dränasfalt HABD, hålrum 18-21%, 10-13mm	<1	-4	-3	-2	-4	-4	-4	-5	-4
18b.	D:o, 1-2 år	1-2	-2	-1	0	-2	-2	-2	-4	-3
18c.	D:o, 3-6 år	3-6	-1	0	0	-1	-1	-1	-3	-2
19a.	Dränasfalt HABD, hålrum 22-27%, 10-13mm	<1	-5	-4	-3	-5	-5	-5	-6	-5
19b.	D:o, 1-2 år	1-2	-3	-2	-1	-3	-3	-3	-4	-4
19c.	D:o, 3-6 år	3-6	-2	-1	0	-1	-1	-1	-3	-3
20a.	Dränasfalt HABD, hålrum 18-21%, 7-9 mm	<1	-5	-4	-3	-5	-5	-5	-6	-5
20b.	D:o, 1-2 år	1-2	-2	-1	-1	-3	-2	-2	-4	-3
20c.	D:o, 3-5 år	3-5	-1	0	0	-3	-1	-1	-3	-2
21a.	Dränasfalt HABD, hålrum 22-27%, 7-9 mm	<1	-6	-5	-4	-6	-6	-5	-6	-5
21b.	D:o, 1-2 år	1-2	-3	-2	-2	-4	-4	-3	-4	-3
21c.	D:o, 3-5 år	3-5	-2	-1	0	-3	-2	-2	-3	-2
22a.	Dubbel HABD, hålrum 18-21%, 10-13/16mm	<1	-5	-4	-3	-5	-5	-5	-6	-5
22b.	D:o, 1-2 år	1-2	-3	-2	-1	-3	-3	-3	-5	-4
22c.	D:o, 3-6 år	3-6	-2	-1	0	-2	-2	-2	-3	-2
23a.	Dubbel HABD, hålrum 22-27%, 10-13/16mm	<1	-6	-5	-4	-6	-6	-6	-7	-6
23b.	D:o, 1-2 år	1-2	-4	-3	-2	-4	-4	-4	-5	-4
23c.	D:o, 3-6 år	3-6	-2	-1	-1	-2	-2	-2	-3	-2
24a.	Dubbel HABD, hålrum 18-21%, 7-9/16 mm	<1	-6	-5	-4	-6	-6	-6	-6	-6
24b.	D:o, 1-2 år	1-2	-3	-2	-2	-3	-3	-3	-3	-3
24c.	D:o, 3-5 år	3-5	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	-1
25a.	Dubbel HABD, hålrum 22-27%, 7-9/16 mm	<1	-7	-6	-5	-7	-7	-7	-7	-7
25b.	D:o, 1-2 år	1-2	-4	-3	-3	-5	-5	-5	-4	-4
25c.	D:o, 3-5 år	3-5	-2	-1	0	-2	-2	-2	-1	-1
26.	Gummiasfalt, tät (GAP): Se komm. nedan									
27.	Gummiasfalt, öppen (GAO): Se komm.									
21.	Cementbetong, tät, slät, max 20-80 mm	0-40	+1	+1	+1	+1	+2	+2	+1	+2

22.	Cementbetong, tät, slät, max 12-18 mm	0-40	0	+1	+1	+1	+2	+2	+1	+2
23a.	Cementbetong, frilagd bal., max 22 mm	2-10	0	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
23b.	D:o, nylagd	<2	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1
24a.	Cementbetong, frilagd bal., max 11-16mm	2-10	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1
24b.	D:o, nylagd	<2	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-3	-3
25a.	Cementbetong, frilagd bal., max 7-9 mm	2-10	-2	-1	-1	-2	-2	-1	-3	-2
25b.	D:o, nylagd	<2	-3	-2	-2	-3	-3	-2	-4	-3
26.	Cementbetong, slipad (slipning ej sliten)	0-5	-3	-2	-2	-3	-2	-2	-2	-1
27.	Gatsten, kullersten & storgatsten	0-90	+6	+5	+4	+6	+6	+5	+6	+6
28.	Gatsten, traditionell sten ca 10x10 cm	0-90	+3	+3	+2	+4	+4	+3	+4	+4
29.	Gatsten, förbättrad sten enl Cph-typ	0-90	+1	+1	+1	+2	+2	+2	+2	+2
30.	Cementblocksten, normal	0-10	+2	+2	+2	+3	+3	+3	+3	+3
31.	Cementblocksten, bästa typ	0-10	-1	0	0	-1	0	0	-1	0
* Referensvägtyta enligt ISO 10844 (använd för fordonsbulleprovnig m m) motsvaras av beläggning nr 3 ovan.										

Tabell 7. Nyckel för identifiering av beläggningsbeteckning i PMS med aktuell beläggningsstyp i bullerkorrektions Tabellen. Streck (---) betyder att beläggningsens egenskaper inte är tillräckligt definierade för denna typ eller att bullerdata saknas

Tillvägagångssätt:

1. För given bokstavsterm, välj nr i Tabell 7 (kan således bli flera nummer)
* Problem: Det förefaller som om nya typer av cementbetongbeläggningar ej definieras i PMS. De kan därmed ej åsättas relevant bullervärde. Detta bör åtgärdas genom förbättrade definitioner i PMS.
2. Med ledning av information om maximal stenstorlek, välj vilket av numrena i Tabell 6 som enligt Tabell 7 passar in (om ej exakt passning finns, välj närmaste förekommande stenstorlek). I vissa fall görs ingen skillnad alls på stenstorlek.
3. Med ledning av information om beläggningsålder, välj tillägg a, b eller c i numret, enligt Tabell 6, vänstra kolumnen. I vissa fall görs ingen skillnad alls på ålder.

Beteckning i PMS	Motsvarar i buller-reduktions-tabellen nr:	Anmärkning
ABT	5-6	
ABS	1-4	
AEBT	5-6	
AEBÖ	15-16	
AG, AEG	---	normalt ej slitlager
AGF	---	normalt ej slitlager
AGS	---	normalt ej slitlager
ALBT	5-6	
ALG	---	normalt ej slitlager
BBCH (TSK)	8	bör betecknas TSK
BCS	9	
BL	---	
BLS	---	
BTG	21-26	inform. otillräcklig*
CB	21	trol. äldre beteckn.?
CG	---	normalt ej slitlager
ES	7	
F	7	
GJA	9	
GJAP	9	mycket osäkert
GRUS	10b	se text
HABD, ABD	15-16	
HABS	1-4	
HABT	5-6	

Beteckning i PMS	Motsvarar i buller-reduktions-tabellen nr:	Anmärkning
HABÖ	15	även vid mindre sten
IM	10b	oavsett ålder m m
MAB	5-6	
MABD	15-16	
MABS	1-4	
MABT	5-6	
MABÖ	15	även vid mindre sten
MJAB	5-6	
MJAG	---	
MJOG	10b	mycket osäkert
MM	---	normalt ej slitlager
OG	10b	mycket osäkert
OGR	10b	mycket osäkert
SB	??	beskrivning saknas
SGJA	9	mycket osäkert
SPY	12a	se text
STEN	27-31	default = nr 28
TOP	8	ovanlig numera
TSK	8	(se BBCH)
VA	---	
Y1B	10-12	
Y1G	10-12	
Y2B	13-14	
Y2G	13-14	
ÅM	---	

Vad gör man om vissa indata till tabellen saknas? Följande råd kan ges:

- Om andel tunga fordon saknas, föreslås att man använder 10 % som normalvärde (default).
- Om största stenstorlek i beläggningen ej är angiven föreslås att man använder den högsta för typen förekommande stenstorleken i bullerkorrektions Tabellen (Tabell 6).
- Om belägningens ålder ej finns angiven föreslås att man sätter denna till fyra år.
- I brist på bullerdata för grusvägar föreslås att man tills vidare använder data för nylagd Y1B max 12–16 mm stenstorlek för sådana.
- I brist på uppmätta bullerdata för spårlagningar föreslås att man använder data för nylagd Y1B, 4–8 mm.