

PORÖSA VÄG- BELÄGGNINGAR

Hantering i Nord2000.

SAMMANFATTNING

Porösa vägbeläggningar kan vara ett alternativ till mer traditionella bullerdämpande åtgärder. Svenska erfarenheter har inte alltid varit positiva, men det kan fungera bra, som exempelvis Trafikverkets åtgärder på E4 vid Huskvarna.

Det finns publicerade vägytekorrektioner för olika porösa vägytor men de kan inte tillämpas på samma sätt som motsvarande korrektioner för vanliga täta vägytor. Såväl trafiksituation, utförande som underhåll är viktiga för hur stor verklig bullerreduktionen blir och hur väl den består över tid.

Porösa vägytor behöver beräknas med en särskild impedansmodell, vilket innebär en komplikation vid trafikbullerberäkningar. Huvudfokus i denna rapport har varit att undersöka hur porösa vägbeläggningar kan hanteras med Nord2000. Rekommendationen blir att vägytan bör modelleras med impedansklass F, förutsatt att dess funktion upprätthålls över tid.

Andreas Gustafson, VTI
Anders Genell, VTI

2024-05-20

Förord

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

Göteborg, 20 maj 2024

Andreas Gustafson, VTI

Innehållsförteckning

1	Bakgrund	2
2	Teori.....	3
2.1	Definition markimpedans.....	3
2.2	Markeffekt.....	3
2.3	Impedansmodeller	4
3	Beräkningsjämförelse mellan impedansmodeller.....	5
3.1	Resultat.....	6
3.2	Korrektion av rullbuller för porös vägyta från CPX-mätningar.....	8
3.3	Kommentar.....	10
4	Vägytekorrektioner för porösa vägytor.....	11
4.1	Mer komplicerat prediktera korrektioner för porösa än för täta vägytor	11
4.2	E4 i Huskvarna	12
4.2.1	Vägytekorrektioner	13
4.2.2	Exempel utbredningsberäkning.....	16
5	Sammanfattning.....	18
6	Referenser	19
Bilaga 1.	Fler beräkningsresultat.....	20
B1.1.	Beräkningar med en punktkälla	20
B1.2.	Beräkningar med en vägkälla	22

1 Bakgrund

Porösa vägbeläggningar kallas även dränbeläggningar vilket syftar till funktionen att leda bort vatten från vägytan. Det finns samtidigt en bullerdämpande funktion och att använda en porös beläggning som bullerdämpande åtgärd kan vara ett bra alternativ eller komplement till mer traditionella åtgärder som bullerplank, fönsteråtgärder etc. De är vanligt förekommande i vissa länder, exempelvis Japan, USA, Holland. De svenska erfarenheterna av att använda porösa vägbeläggningar som bulleråtgärd har dock inte sällan varit nedslående i det att den akustiska livslängden blivit kortare än avsett, men det finns också lyckade exempel.

I Sverige har porösa beläggningar primärt används som bullerdämpande åtgärd för större vägar med mycket trafik. De har dock även potential att fungera som bullerdämpande åtgärd i stadsmiljö. Som en jämförelse har bullerplank nackdelar i form av begränsad eller ingen bullerdämpning vid högre våningsplan och att de inte är önskvärda i stadsmiljö av andra skäl (tillgänglighet, upplevelse av avspärrning etc).

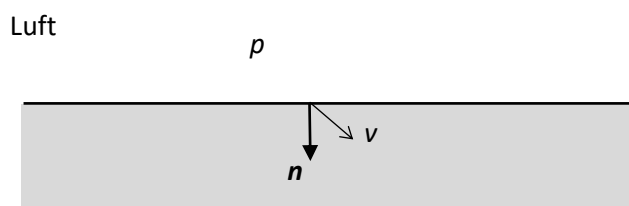
En annan möjlig fördel med porösa vägbeläggningar i stadsmiljö är att studier pekar på att de kan minska uppvirvling av det damm som deponeras på vägen, och som är en viktig källa till höga partikelkoncentrationer [1].

Det är två effekter som står för bullerdämpningen hos de porösa vägbeläggningarna: minskad ljudemission vars storlek kvantifieras med så kallade vägytekorrektioner och en högre utbredningsdämpning. Den senare innebär en komplikation vid beräkning av trafikbuller med porösa vägytor eftersom vägytans impedans egentligen behöver beräknas med särskild impedansmodell. Impedansmodellen i Nord2000 fungerar bra för de flesta naturligt förekommande marktytor, men kan inte beräkna markeffekten för porösa vägytor korrekt vilket behöver hanteras på något sätt. Huvudfokus i denna utredning har varit att ta fram en rekommendation för hur porösa vägytor kan hanteras i svenska trafikbullerutredningar med Nord2000.

2 Teori

2.1 Definition markimpedans

Den specifika akustiska (yt-) impedansen Z_s definieras som det komplexa förhållandet i en punkt mellan ljudtryckets effektivvärde och partikelhastighetens effektivvärde i normalens riktning in i ytan. SI-enheten är Pa·s/m. Ordet "specifik" avser att enheten är per ytenhet (tryck är kraft per ytenhet).



Figur 1. Definition av den specifika akustiska ytimpedansen.

$$Z_s(\omega) = \frac{p}{v \cdot n} \quad (1)$$

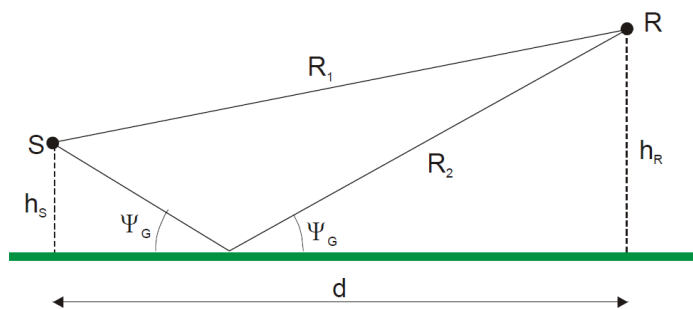
Impedansens realdel kallas resistans och den imaginära delen reaktans.

För marktytor är det vanligt att ange ytimpedansen normaliserad till luftens impedans, $Z_n = Z_s / \rho_0 c$, där ρ_0 är luftens densitet och c ljudets hastighet. I den här rapporten (och i många andra sammanhang) kallar vi markens normaliserade specifika akustiska ytimpedans för enkelhets skull för markimpedans eller bara impedans.

Om partikelhastigheten ($v \cdot n$) i en punkt vid en yta bara beror på trycket p i samma punkt säger man att man har en *lokal reaktion*. Vid lokal reaktion kan ljudvågans utbredning inuti marken försummas, och ytans impedans blir oberoende av infallsvinkeln.

2.2 Markeffekt

Vid ljudutbredning utmed marken uppstår en interferens mellan direktljud och det ljud som reflekteras i marken. Eftersom de två ljudvågorna är olika långa, samt att den reflekterande ljudvågans fasläge påverkas av markens impedans, blir det fas- och amplitudskillnader mellan direktljud och reflekterat ljud i mottagarpunkten, vilket ger upphov till interferensen. Vid frekvenser och platser där vågorna är i fas blir den sammanlagda amplituden högre och där de är ur fas blir den lägre. Fenomenet kallas ibland för markeffekt.



Figur 2. Ljudutbredning över plan mark, från [2].

$$p = \frac{A_1 e^{jkR_1}}{R_1} + Q \frac{A_2 e^{jkR_2}}{R_2} \quad (2)$$

Figur 2 visar en modell för hur ett ljudfält, representerat av geometriska strålar, påverkas av plan mark med markimpedans Z . Ljudtrycket vid mottagaren R som orsakas av punktkällan S kan beräknas enligt ekvation (2). R_1 och R_2 är utbredningsvägens längd för direkt respektive reflekterat ljud, A_1 och A_2 är amplituderna hos den direkta och den reflekterade ljudvågen, k är vågtalet ($2\pi f/c$, där f är frekvensen och c är ljudhastigheten) och Q är den sfäriska reflektionskoefficienten. Q är en funktion av frekvensen, markimpedansen, vinkeln Ψ_G och avståndet R_2 [2].

Markeffekten minskar med ökat avstånd till marken. Den minskar också med ökande infallsvinklar Ψ_G som till exempel kan uppstå vid vädersituationer med gynnsam ljudutbredning.

2.3 Impedansmodeller

En impedansmodell beskriver hur den akustiska impedansen varierar med frekvens. Den akustiska impedansen behövs för att beräkna ljudutbredning enligt ovan. Nord2000 bestämmer den akustiska impedansen med hjälp av Delany och Bazleys impedansmodell för fibrösa absorbenter, en empirisk modell som förutsätter lokal reaktion [3]. Det är en relativt enkel modell som bara använder en materialparameter, strömningsmotståndet σ , för att bestämma impedansen. Att använda strömningsmotståndet är samtidigt betydligt mer praktiskt än att hantera indata i form av impedans som är en frekvensberoende storhet med både real- och imaginärdel.

Delany och Bazleys modell har visat sig fungera bra i de flesta fall med naturligt förekommande marktytor, men den kan falla när lokal reaktion inte föreligger, som exempelvis för porös asfalt. Ett exempel på en impedansmodell som är bättre lämpad för porös asfalt är en teoretisk modell som formulerats av Hamet et al [4]. Utöver strömningsmotståndet används ytterligare tre materialparametrar för att beräkna impedansen: materialtjockleken L , porositeten Ω och strukturkonstanten¹ q^2 .

I den ursprungliga versionen av mätmetoden NT ACOU 104 för markimpedans från 1999 [5] används enbart Delany och Bazleys modell, men när ett förslag till revidering av metoden togs fram 2006 utvidgades NT ACOU 104 så att den även omfattar Hametmodellen. Den förra finns också i en modifierad variant som även inkluderar en parameter för ytskiktets tjocklek L [6]. Metoden rekommenderar att Hametmodellen används vid mätning av impedansen hos nylagda porösa vägytor, men konstaterar också att Delany och Bazley ger bättre överensstämmelse för äldre porösa vägytor vars porer är igensatta.

¹ Ibland kallad *tortuosity* [4].

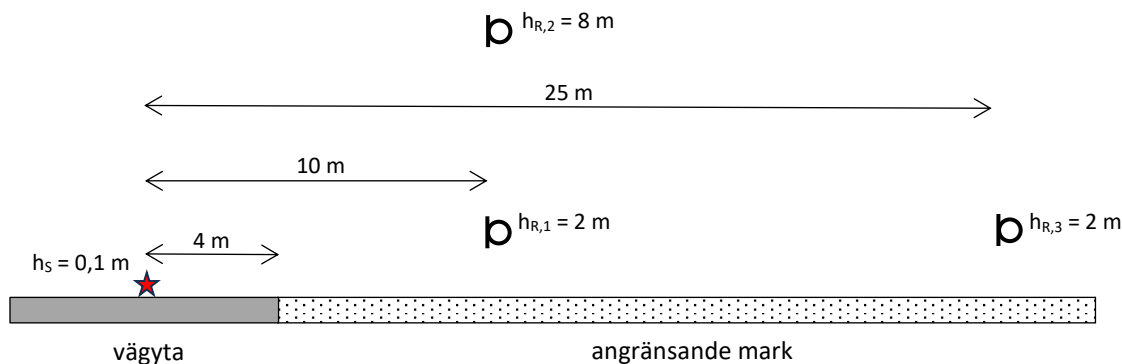
EU-projektet HARMONOISE (2001–2004) handlade om att ta fram en gemensam europeisk beräkningsmetod för väg- och spårbuller. Två beräkningsmetoder utvecklades, en referensmetod för högsta uppnåeliga noggrannhet oavsett beräkningsbörda, samt en snabbare och smidigare ingenjörsmetod, där utbredningsmodellen hos den senare blev mycket lik den i Nord2000. Den senare använder i första hand Delany och Bazleys metod, men båda metoderna inkluderar bland annat även Hametmodellen [7][8] och rekommenderar att den används för porösa vägytor. Vidare rekommenderas att de porösa vägytornas materialparametrar till Hametmodellen bestäms för varje specifik väg, men om bättre data saknas kan följande värden användas: $\sigma = 5 \text{ kPas/m}^2$, $\Omega = 0,2$, $q^2 = 5$ och $L = 0.04$ (samt $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$, $N_{pr} = 0,71$ och $\gamma = 1,4$).

Även i HOSANNA, ett EU-projekt (2009–2013) som forskade på innovativa metoder för att dämpa väg- och spårbuller mellan källa och mottagare, har Hametmodellen använts för modellering av porösa vägytor [9].

3 Beräkningsjämförelse mellan impedansmodeller

Som nämnts ovan bör impedansmodellen enligt Hamet et al fungera bättre för att beskriva porösa vägytors impedans än den av Delany och Bazley som ingår i Nord2000. Vilka skillnader som de två impedansmodellerna kan ge har undersökts med Nord2000-beräkningar i ett enkelt beräkningsfall med en rak väg på platt mark, där programkoden har utvidgats till att även omfatta Hametmodellen. Syftet var att om möjligt identifiera ett tillvägagångssätt som kan ge ett acceptabelt resultat för porösa vägytor vid beräkning med Nord2000.

Ett antal exempel på utbredningsdämpning exklusive frifältsutbredning beräknades med de två modellerna. Beräkningar gjordes med en punktkälla respektive med en rak väg som källa. Använd geometri redovisas i Figur 3. Väderinställningar enligt referensväder i [10].



Figur 3. Geometri (vertikalt snitt) för testberäkningar med en punktkälla. Platt terräng med en 8 m bred väg och angränsande mark. Vägytans och markens impedans varierar enligt vad som redovisas för respektive testfall. Punktkällan var placerad 0,1 m rakt över vägmitt. Beräkningspunkt nr 1: avstånd 10 m, höjd 2 m. Beräkningspunkt nr 2: avstånd 10 m, höjd 8 m. Beräkningspunkt nr 3: avstånd 25 m, höjd 2 m.

Vid beräkningarna med en rak väg på platt mark ersattes punktkällan med tre linjekällor enligt Nord2000:s källmodell som placerades ovan vägmitt (på höjderna 0,01 m, 0,3 m och 0,75 m).

Väggkällan modellerades i enlighet med Nord2000 och består av tre linjekällor på olika höjder, där linjekällorna utgörs av punktkällor placerade i rad efter varandra [11][12]. Samtliga beräkningar med väggkällan använde ÅDT = 5000 fordon/dygn varav 5% fordonskategori 2 (medeltunga fordon) och 5% fordonskategori 3 (tung fordon, fyra axlar). Hastighet var antingen 50 km/h eller 90 km/h.

Enkelriktat trafikflöde med riktning åt höger sett från beräkningspunkten. Ingen vägytekorrektion användes (motsvarar Nord2000 referens²).

Modellering av vägytan undersöktes med sex olika varianter, se Tabell 1. Parametrarna för alternativ nr 1 är schablonvärden som uppges i HARMONOISE för en porös vägyta med tjocklek 4 cm, avsedda att användas när bättre underlag saknas [7]. Alternativ nr 2 är en porös vägyta som är 9 cm tjock och som i övrigt använder samma parametrar som alternativ 1. För båda vägytorna användes den bättre Hametmodellen för att beräkna impedansen och resultaten som beräknats med dem antas därför som målbild.

I alternativ 3–6 modellerades vägytan med den inbyggda impedansmodellen i Nord2000 (Delany och Bazley). Den angränsade marken modellerades antingen som okomprimerad gräsmatta (impedansklass D, $\sigma = 200 \text{ kPas/m}^2$) eller som asfalt (impedansklass G, $\sigma = 20 \text{ MPas/m}^2$).

	Vägyta	Impedansmodell	Kommentar
1	$\sigma = 5 \text{ kPas/m}^2$, $\Omega = 0,2$, $q^2 = 5$ och $L = 0,04 \text{ m}$	Hamet et al	Schablon från HARMONOISE
2	$\sigma = 5 \text{ kPas/m}^2$, $\Omega = 0,2$, $q^2 = 5$ och $L = 0,09 \text{ m}$	Hamet et al	Som ovan men tjocklek 9 cm.
3	$\sigma = 500 \text{ kPas/m}^2$ (impedansklass E)	Delany och Bazley	Ger resultat som ligger relativt nära vägyta 1 och 2.
4	$\sigma = 2\,000 \text{ kPas/m}^2$ (impedansklass F)	Delany och Bazley	Ger resultat som ligger relativt nära vägyta 1 och 2.
5	$\sigma = 12,5 \text{ kPas/m}^2$ (impedansklass A)	Delany och Bazley	Ger underskattning, trots att värdet på strömningsmotståndet ligger närmast HARMONOISE schablon.
6	$\sigma = 20 \text{ MPas/m}^2$ (impedansklass G)	Delany och Bazley	Vanlig asfalt, för jämförelse.

Tabell 1. Indata för beräkning av vägytans impedans i beräkningarna.

3.1 Resultat

Notera att de redovisade resultaten i Figur 4 och Figur 5 nedan (och Figur 19–Figur 34 i Bilaga 1) enbart avser hur markimpedansen påverkar ljudutbredningen för olika fall och att inga vägytekorrektioner har ingått i de beräkningarna (de tillkommer i en vanlig beräkning). Ett exempel som även inkluderar vägytekorrektioner för porösa vägytor redovisas i avsnitt 4.2.2.

Effekten av att variera impedansen hos vägyta och angränsande mark framträder både med punktkälla och med vägkälla. Interferenserna syns tydligast i beräkningarna med en punktkälla, de blir mer utslätade med en vägkälla. Samma typ av interferenser uppträder visserligen för var och en punktkällorna som utgör vägkällan, men deras olika geometrier relativt mottagaren medför att interferenserna inträffar vid olika frekvenser, och därför sker en utjämning när bidragen läggs ihop. Vägkällans frekvensberoende ljudeffektivå och direktivitet bidrar också till utjämningen.

Typiska resultat för en punktkälla och en vägkälla redovisas i Figur 4 och Figur 5. Ytterligare resultat redovisas i Bilaga 1. I Tabell 2 (bilaga) redovisas sammanfattningsvärden för A-vägd dygnsekvivalent ljudnivå, L_{Aeq24h} , för samtliga beräknade fall.

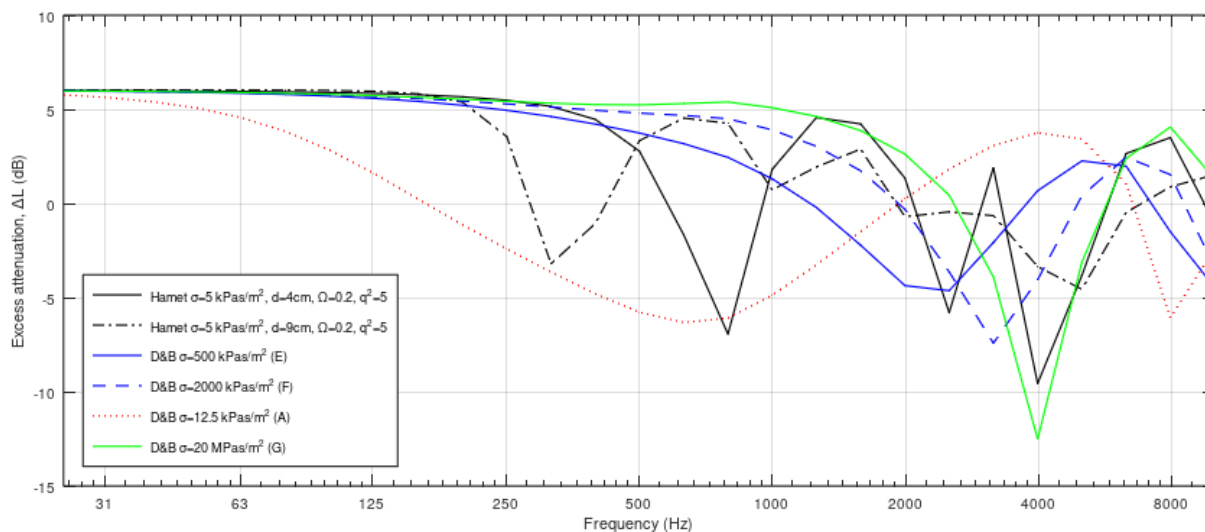
Hametmodellen ger generellt fler interferensdippar än Delany och Bazleys modell. Alternativ nr 3 med impedansklass E och alternativ 4 med impedansklass F är de resultat som ligger närmast vad som erhålls med alternativ 1 och 2, även vad gäller sammanfattningsvärden för L_{Aeq24h} . Som ett medel över samtliga prövade fall med porös vägyta blir L_{Aeq24h} 0,7 dB lägre ($s=0,5 \text{ dB}$) när vägytan

² Nord2000 har som referens en virtuell vägyta som är ett medelvärde av ABS 11 och ABT 11 (engelska beteckningar SMA 11 och DAC 11). Det är också referensvägyta i HARMONOISE och CNOSSOS-EU.

modelleras med impedansklass E (Delany och Bazley) än beräknad med Hametmodellen. Med impedansklass F blir L_{Aeq24h} istället i medeltal 0,9 dB högre ($s=0,6$ dB) än när beräkningarna görs med Hamet.

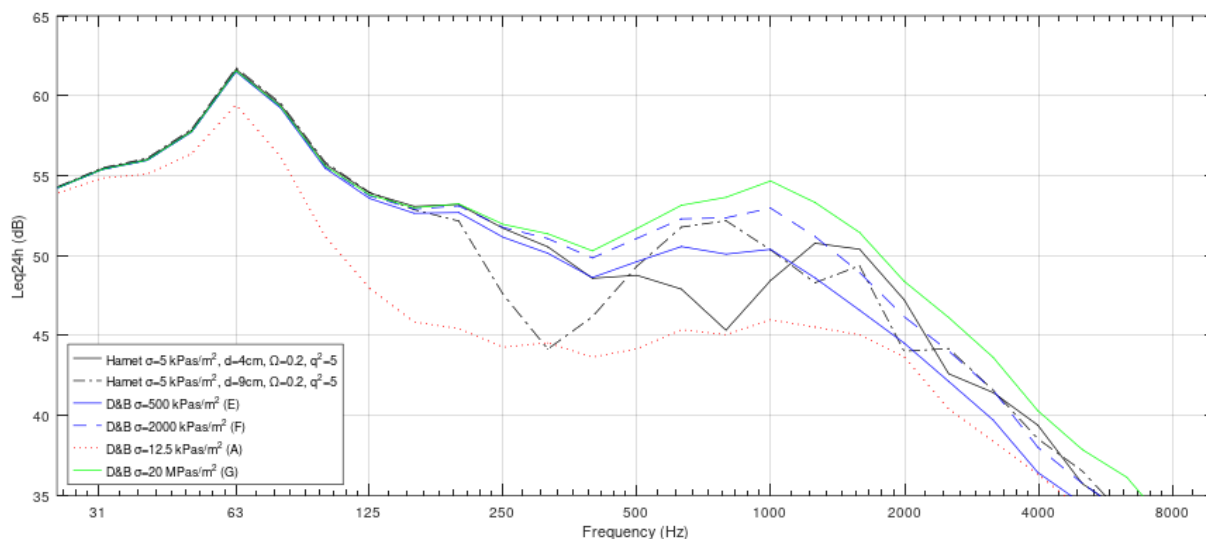
Alternativ nr 5 använder impedansklass A vars strömningsmotstånd $\sigma = 12,5$ kPas/m² ligger närmast schablonen i Harmonoise som är $\sigma = 5$ kPas/m². Den leder dock till stora underskattningar jämfört med alternativ nr 1 och 2 (i medeltal 4,6 dB för lågt, $s=0,8$ dB) bör därför inte användas för att modellera porösa vägytor med Nord2000.

Alternativ nr 6 är en vanlig asfaltsyta som har tagits med som jämförelse (impedansklass G). Den täta asfaltytan ger i medeltal 2,5 dB högre L_{Aeq24h} ($s=0,6$ dB) för de beräknade fallen än om vägytan hade varit belagd med porös asfalt. Som nämnts ovan beror denna skillnad enbart på markeffekten, alltså en tillkommande bullerdämpning som kan erhållas med porösa vägytor utöver vad vägytekorrektio anger.



Figur 4. Punktkälla, ljuddämpning till beräkningspunkt nr 1 relativt frifältsutbredning³ för olika modellering av vägytans impedans. Avstånd källa–mottagare 10 m, källhöjd 0,1 m, mottagarhöjd 2 m. Angränsande mark har impedansklass D (200 kPas/m²).

³ Frifältsutbredning: ljuddämpning som enbart beror av sfärisk divergens (-6 dB/avståndsfördubbling för punktkällor och -3 dB/avståndsfördubbling för linjekällor).



Figur 5. Vägkälla 50 km/h, dygnsekvivalent nivå i beräkningspunkt nr 1 för olika modellering av vägytans impedans. Avstånd källa–mottagare 10 m, höjd mottagare 2 m. Angränsande mark har impedansklass D (200 kPas/m²).

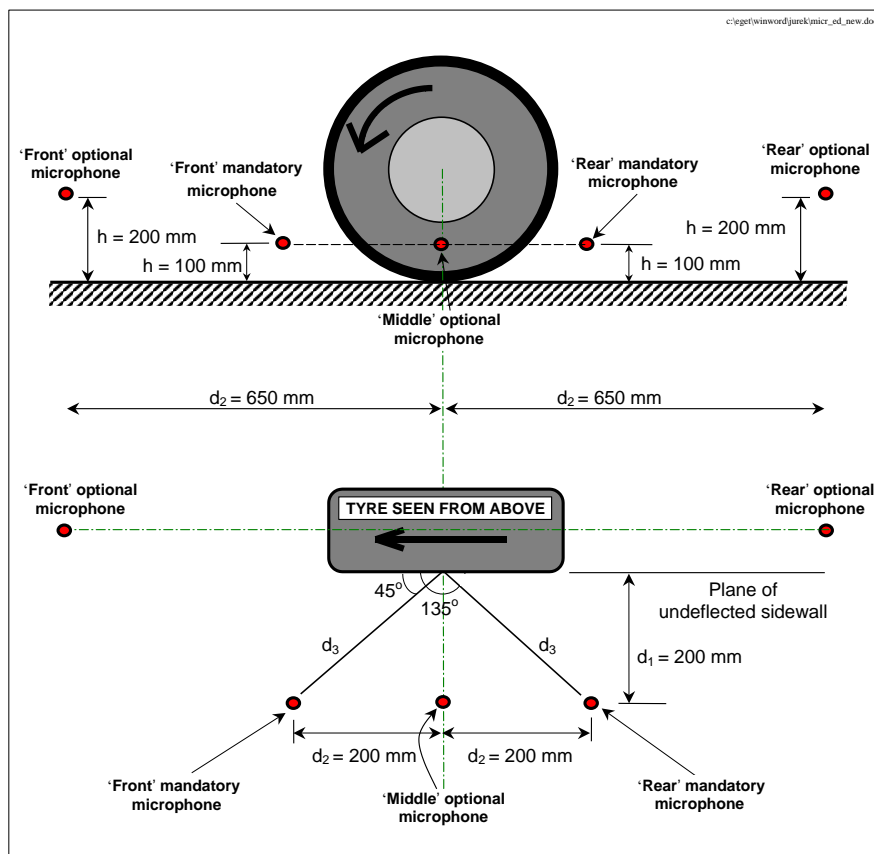
3.2 Korrektion av rullbuller för porös vägyta från CPX-mätningar

De vägytekorrektioner som används vid beräkning av trafikbuller med Nord2000 har vanligen bestämts genom mätning med den så kallade CPX-metoden (close proximity) som beskrivs i ISO 11819-2. Metoden utvärderar vägytans påverkan på trafikbullret, det som mäts är däck-vägbanebullret.

Metoden mäter ljudtrycksnivå för olika referensdäck med två eller fler mikrofoner som är placerade nära däck, se Figur 7. För att minska mätningarnas störningskänslighet används ofta täckta trailers som den i Figur 6, även om ISO 11819-2 tillåter en mätvagn utan täckning så länge som noggrannhetskraven för mätresultaten är uppfyllda.



Figur 6. Utrustning från Gdansk Tekniska Universitet för mätning av buller enligt CPX-metoden [13].



Figur 7. Mikrofonpositioner i CPX-metoden, från [13].

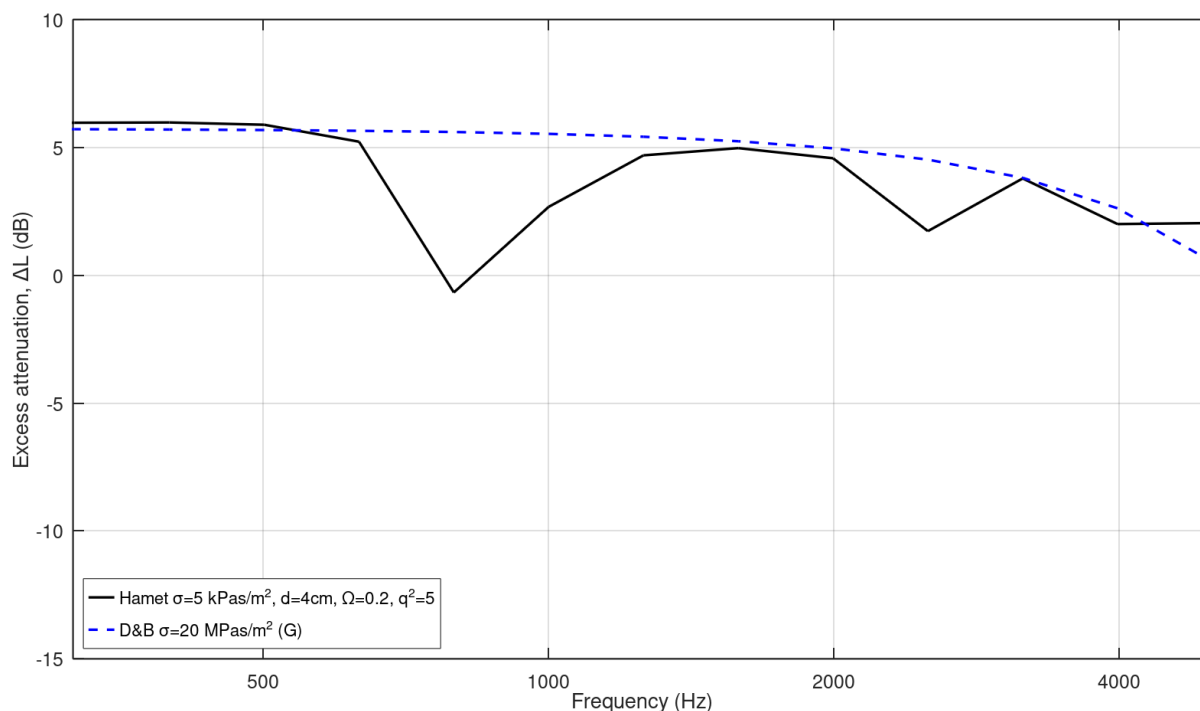
Vägytekorrektion till Nord2000 för en viss vägyta tas fram genom att jämföra uppmätt ljudnivå med motsvarande ljudnivå för den referensvägyta som Nord2000 använder². När en vägytekorrektion används i en ljudspridningsberäkning med Nord2000 kommer korrektionen adderas till den ljudeffektnivå som bestäms av källmodellen för det aktuella vägavsnittet. Idealt ska därför den använda vägytekorrektionen avse alstrad ljudeffekt.

De ljudnivåer som mäts med CPX-metoden inkluderar markeffekten mellan däck och mikrofon. Om samma referensdäck används och vägytorna har liknande utbredningsegenskaper (ytimpedans), blir markeffekten ungefär densamma. Vid jämförelse av två täta vägytor är det därför rimligt att anta att deras respektive markeffekter kommer att ta ut varandra. Vägytekorrektionen kan då sägas avse själva ljudeffekten.

Men när en porös vägyta jämförs med en tät vägyta kommer markeffekten skilja mellan de två fallen. Uppmätt ljudnivå för den porösa vägytan har dämpats något mer av markeffekten än om vägytan varit tät. En uppmätt vägytekorrektion för en porös vägyta inkluderar därmed ett visst bidrag från själva ljudutbredningen, så att det framstår som att den alstrar lägre ljudeffektnivå än vad som egentligen är fallet. Detta introducerar sedan ett fel när vägytekorrektionen används i en ljudutbredningsberäkning.

I Figur 8 redovisas ett enkelt beräkningsexempel med ljuddämpning från en omnidirektionell punktkälla, som får representera däckets utstrålning, till en av mikrofonpositionerna enligt CPX-metoden. I verkligheten kommer ljuddämpningen bli annorlunda eftersom ljudet inte bara kommer från en enda punktkälla, däckets strålar ut ljud på ett betydligt mer komplicerat sätt, men avsikten är här att belysa frågeställningen.

Omräknade till sammanvägda A-vägda nivåer blir resultaten för den porösa och den täta ytan $dL_{A,porös} = 14,6$ dBA respektive $dL_{A,tät} = 15,5$ dBA. Ljudet som strålar ut från däck till mikrofonen dämpas alltså 0,9 dB mer när det passerar över den porösa vägytan än över den täta vägytan. Hur stor påverkan i slutändan blir för en porös vägytas vägytekorrektion beror på hur den utstrålade effektens spektrum matchar utbredningsdämpningens spektrum. Utbredningsdämpningen blir särskilt stor vid vissa frekvenser vilka beror på mikrofonposition samt den på porösa vägytans tjocklek och materialegenskaper. Exempelvis är den porösa vägytans utbredningsdämpning i det beräknade fallet 6,3 dB större vid 800 Hz än den täta vägytans.



Figur 8. Ljuddämpning från en punktkälla relativt frifältsutbredning⁴ för en porös respektive en tät vägyta, motsvarande alternativ 1 och 5 i Tabell 1. Horisontellt avstånd källa–mottagare 0,28 m, källhöjd 0,03 m, mottagarhöjd 0,1 m. Frekvensområdet 315–5000 Hz motsvarar det i CPX-metoden.

3.3 Kommentarer

Det går inte att modellera ljudutbredning över porösa vägytor helt korrekt med impedansmodellen i Nord2000, Delany och Bazley. Avvikelserna för enskilda tersband kan vara relativt stora. I de undersökta fallen ger ändå modellering med impedansklass E respektive F resultat där den sammanvägda A-vägda dygnsekvivalenta ljudnivån, L_{Aeq24h} , ligger relativt nära resultaten från modellering med Hametmodellen.

Modellering med impedansklass E hamnar närmast Hametmodellerna. I medeltal ligger resultaten för L_{Aeq24h} 0,6 dB under medelvärdet av de båda modellerna med porösa vägytor. När vägytan modelleras med impedansklass F blir L_{Aeq24h} -resultaten i medeltal 1,0 dB högre än de porösa vägytornas medelvärden.

Till det ska dock läggas att vägytekorrektioner för porösa vägytor inkluderar viss markeffekt som kan få det att framstå som att emissionen är lägre än vad den egentligen är. Därför bör det vara ett

⁴ Frifältsutbredning: Ljuddämpning som enbart beror av sfärisk divergens (-6 dB/avståndsfördubbling för punktkällor och -3 dB/avståndsfördubbling för linjekällor).

bättre alternativ att, som en kompensation för detta, använda impedansklass F som i medeltal resulterar i något högre ljudnivåer än Hametmodellen.

Tills vidare rekommenderas därför att impedansklass F används för modellering av porösa vägytor med Nord2000. En förutsättning är att funktionen upprätthålls med underhåll. Om porerna täpps igen kommer impedansen ändras, och i ett sådant fall bör det vara mer korrekt att använda impedansklass G istället. I exemplet från E4 vid Huskvarna förefaller absorptionen vara bra de tre första åren men därefter sjunker den snabbt [14][15].

Rekommendationen gäller för en bastillämpning av Nord2000 med väder och andra förutsättningar enligt användarhandledning Nord2000 [10].

Utöver vad som hanteras med vägytekorrektioner och med utbredningsdämpning enligt beskrivningen ovan, kommer utstrålat ljud från framdrivningsbullret bli lägre än för en tät vägyta genom att ljudreflexer mellan fordonskarossen och den porösa vägytan dämpas. Dämpningen sker egentligen under ljudutbredningen, men i beräkningsmetoder där källstyrkan kvantifieras med förbifartsmätningar ligger det närmast till hands att hantera den som en sänkt ljudeffekt. Effekten ingår dock inte i Nord2000:s nuvarande vägkällmodell.

Nord2000:s ljudutbredningsmetod skulle kunna förbättras genom att även inkludera en impedansmodell som kan hantera porösa vägytor och andra marktytor som inte går att modellera på ett bra sätt med Delany & Bazley. En ytterligare förbättring vore att inkludera en korrektion för framdrivningsbullrets påverkan av vägytans impedans.

4 Vägytekorrektioner för porösa vägytor

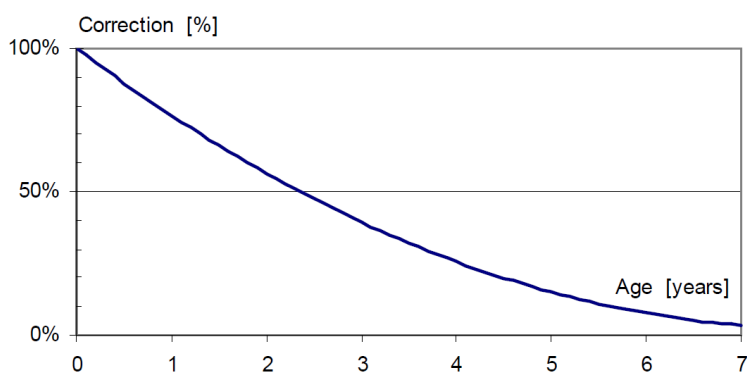
4.1 Mer komplicerat prediktera korrektioner för porösa än för täta vägytor

Vid beräkning av trafikbuller med Nord2000 och andra beräkningsmetoder används vägytekorrektioner för att justera emissionen till en specifik vägbeläggning. Erfarenheten är att korrektionerna stämmer bra för vanliga täta beläggningar medan osäkerheten är större för porösa vägbeläggningar. Utfallet beror av flera parametrar. Recept och appliceringsmetod som påverkar vägytekorrektionen är delvis företagshemlig information som inte redovisas av entreprenörerna. Det finns också osäkerheter kring hur snabbt bullerreduktionen för en viss vägyta kan förväntas minska över tid.

Det finns gott om publicerade vägytekorrektioner för olika porösa vägytor, exempelvis i Nord2000 [11][16], IMAGINE [17], CNOSSOS-EU [18][19], Nord96 [20], och från Trafikverket [21]. Det är dock förenat med stora osäkerheter att använda sådana korrektioner som underlag i svenska bullerutredningar. Svenska försök att lägga bullerdämpande dränasfalter har ofta gett en kortare akustisk livslängd än vad man hoppats på [14]. Användning av dubbdäck sliter hårt på beläggningarna och slitagepartiklar täpper igen porerna vilket leder till försämringen av bullerreduktionen över tid. På grund av dubbdäcken behöver dessutom stenarna i beläggningen vara större än vad som är optimalt ur bullersynpunkt.

Det är alltså framför allt användningen av dubbdäck som framhålls som orsak till att svenska porösa vägytors akustiska livslängd varit relativt begränsad. Den ålderskorrektion hos porösa vägytor som anges i Nord2000 stämmer dåligt för svenska förhållanden (Figur 9); enligt korrektionen ska bullerreduktionen hos en porös vägyta minska gradvis med tiden och försvinner helt på sju år. I jämförelse har det svenska utfallet snarare varit att bullerreduktionen minskar med ca 2 dB per år och att den förväntade akustiska livslängden stannar vid ca tre år [14].

Även i Sverige finns dock lyckade exempel och till vidare rekommenderas att projektering av porösa vägytor i första hand fokuserar på att försöka återskapa dessa. Samtidigt finns ett behov av att försöka fastställa generella tidsberoende vägytekorrektioner respektive impedanskorrektioner för porösa svenska vägbeläggningar.

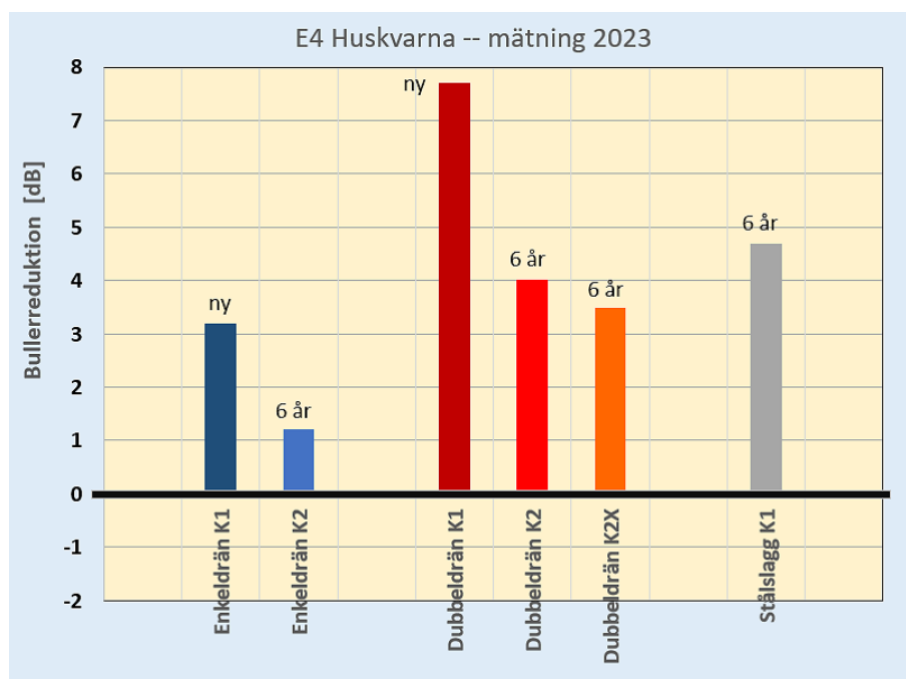


Figur 9. Generell vägytekorrektion för porös vägyta i Nord2000, uttryckt som procent av den ursprungliga bullerreduktionen i dB. Gäller inte vägar där dubbdäck förekommer [16].

4.2 E4 i Huskvarna

Ett svenskt exempel med betydligt längre akustisk livslängd är en bulleråtgärd som utfördes längs en sträcka på E4 i Huskvarna med ÅDT 24 000 fordon/dygn varav 15 % tunga fordon [14]. I det fallet var Svevia entreprenör. De senaste CPX-mätningarna utfördes 2023 vilket var sex år efter föregående omläggning. Teststräckorna med dubbdrän respektive stålslagg hade då en kvarstående bullerreduktion om runt 4 dB relativt ABS 16, se Figur 10.

Detta är alltså markant bättre än de sju års total akustisk livslängd som ålderskorrektionen i Nord2000 predikterar (Figur 9).

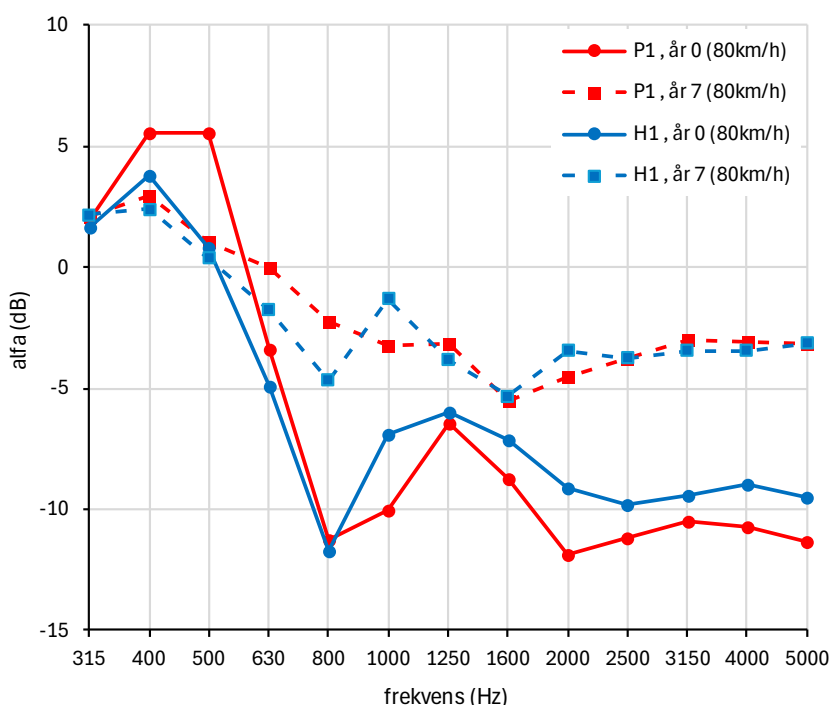


Figur 10. Exempel på bullerreduktion för dränasfalt. Mätningar genomförda 2023 för teststräckor på E4 vid Huskvarna [15]. Resultaten avser nylagd respektive 6 år gammal beläggning. Vägen är en motorväg med två körfält per riktning där K1 betecknar den högra filen och K2 den vänstra filen. Notera att de redovisade bullerreduktionerna relaterar till ABS 16 medan vägytekorrektioner för Nord2000 relaterar till en virtuell vägyta med 50% av vardera ABS 11 och ABT 11.

4.2.1 Vägytekorrektioner

Notera att det är osäkert att använda vägytekorrektioner för att prediktera bulleregenskaper hos porösa vägytor i ett enskilt fall. Resultaten nedan är inte avsedda att användas som generella korrektioner för porösa vägytor.

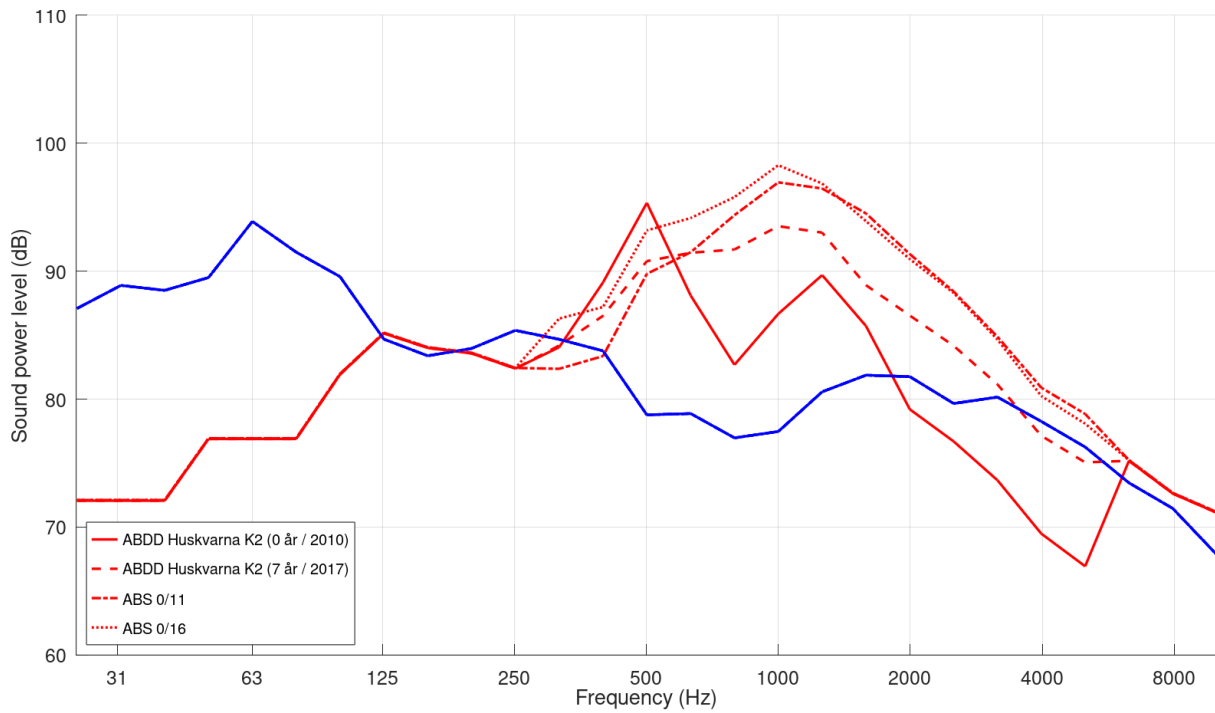
I Figur 11 redovisas vägytekorrektioner för dränasfalt på E4:an i Huskvarna som avser körfält K2 (vänster körfält av två) hos provsträckan med dubbeldrän (övre lager 30mm tjockt med 11 mm maximal stenstorlek, undre lager 50 mm tjockt med 16 mm maximal stenstorlek). Underlaget utgörs av CPX-mätningar med P1-däck (resresenterar personbilar) och H1-däck (representerar tunga fordon) från år 2010 då beläggningen var ny (år 0) respektive från år 2017 då beläggningen var sju år gammal. Mätningarna utfördes enbart i 80 km/h och korrektionerna redovisas därför utan hastighetsberoende. Resultaten avser differensen till Nord2000:s referensvägyta, se [22] för mer information.



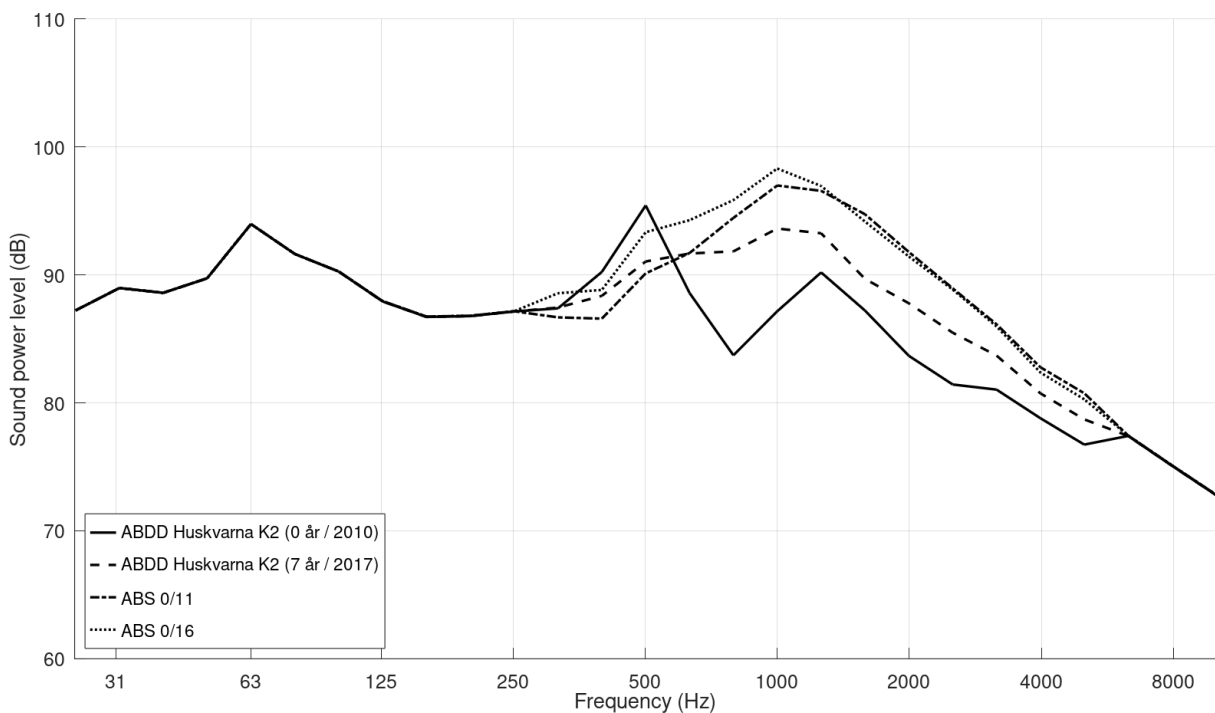
Figur 11. Vägytekorrektioner relativt Nord2000 referensvägyta för dubbeldränasfalt på provsträckan i Huskvarna, körfält K2, 80 km/h [22]. Resultat från CPX-mätningar med P1- och H1-däck från år 2010 då beläggningen var ny (år 0) respektive från år 2017 då beläggningen var sju år gammal.

Ljudeffektnivåer för lätta, medeltunga och tunga fordon som inkluderar korrektionerna i Figur 11 respektive korrektioner för ABS 11 och ABS 16 med källdatamodellen i Nord2000 och med emissionsdata enligt [11][12]. Resultaten redovisas i Figur 12–Figur 17 (där förkortningen ABDD står för dubbeldränasfalt). Hastigheten var 80 km/h, fordonskategori 3 hade fem axlar, torr vägyta, inga dubbdäck, lufttemperatur 15 °C.

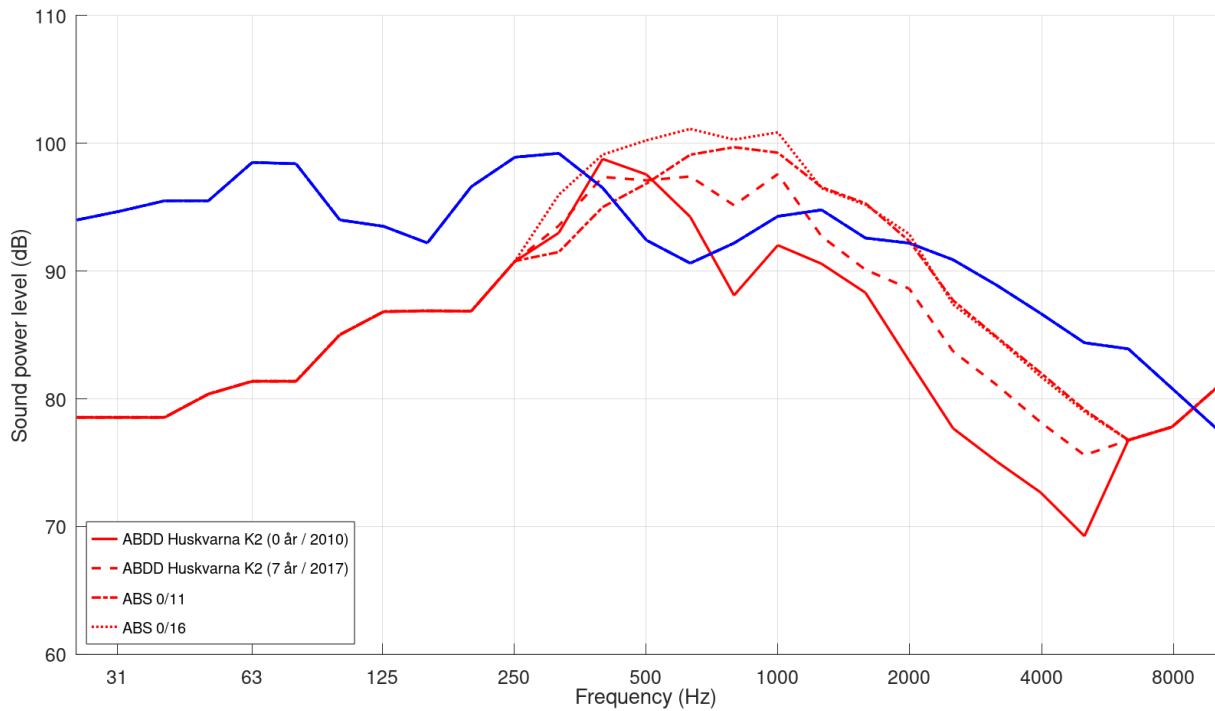
Jämförelsen med den täta beläggningen ABS 11 är intressant i det att den har samma största stenstorlek som dubbeldränasfalt har, 11 mm. ABS 16 inkluderades i jämförelsen eftersom den är en mycket vanligt förekommande beläggning på svenska vägar.



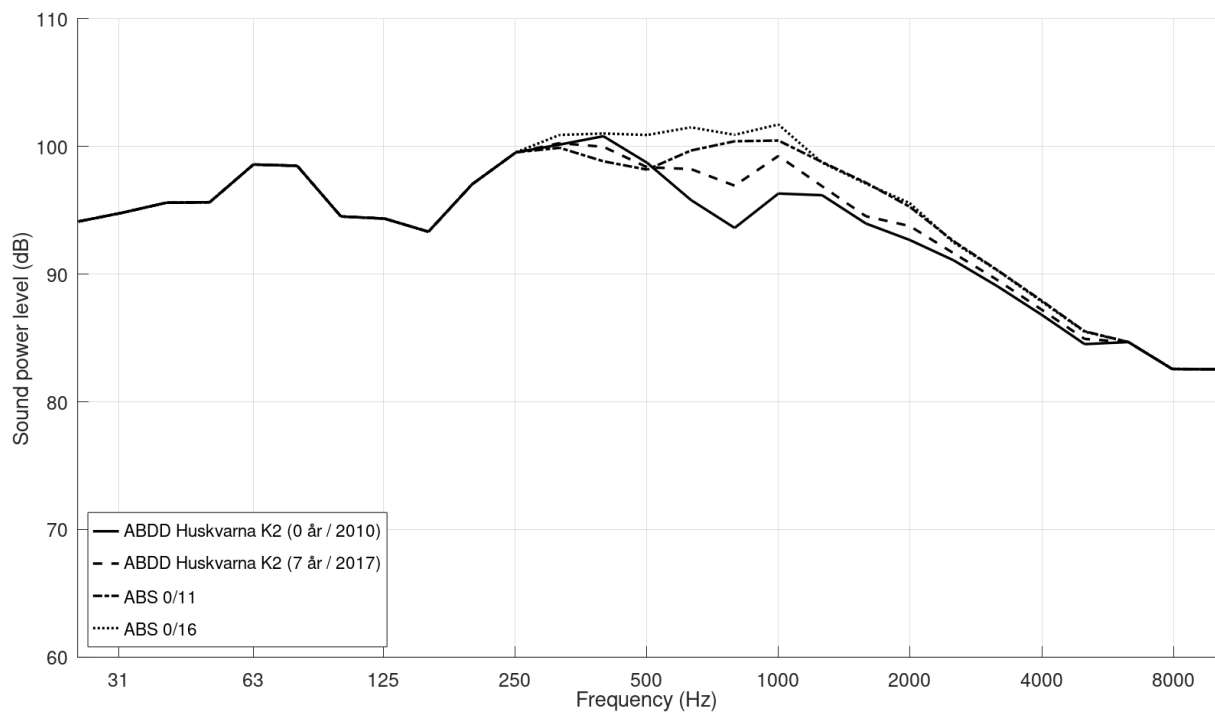
Figur 12. Fordonskategori 1, 80 km/h. Ljudeffektnivå i tersband för rullbuller (röda linjer) samt framdrivningsbuller (blå linje). A-vägd ljudeffektnivåer för rullbuller: ABDD 0 år – 96,9 dBA, ABDD 7 år – 99,9 dBA, ABS 11 – 103,2 dBA, ABS 16 – 103,9 dBA. A-vägd ljudeffektnivå framdrivningsbuller 91,4 dBA.



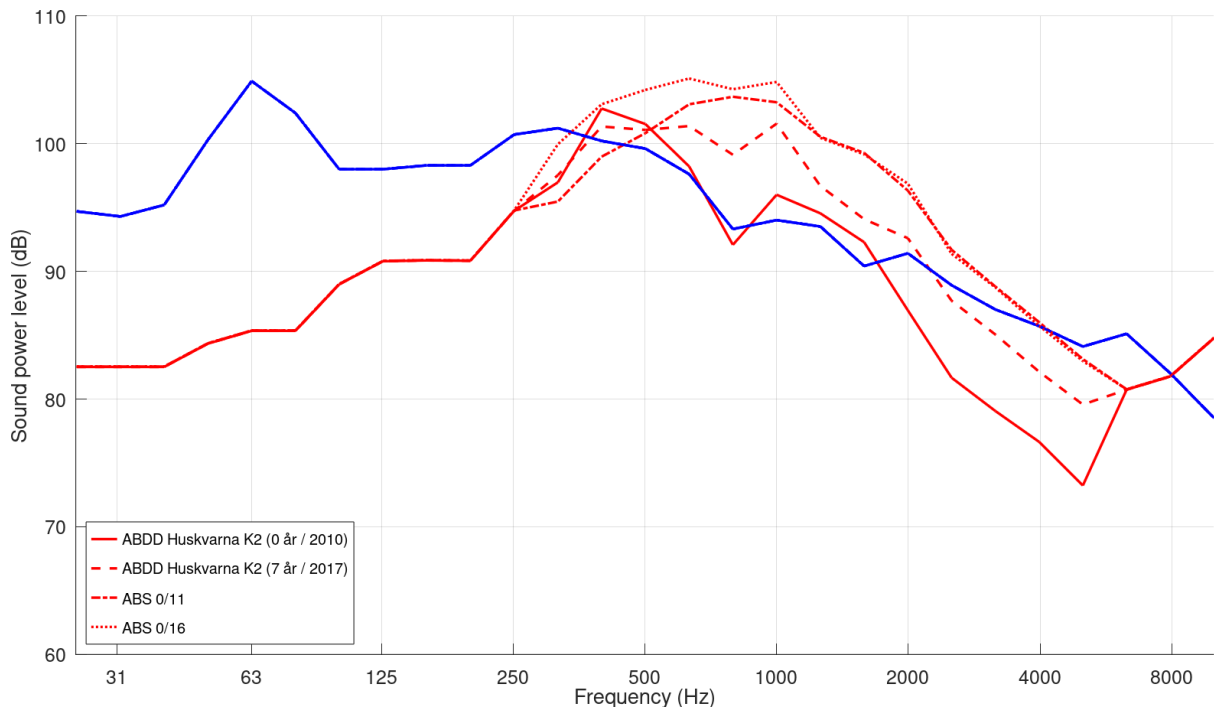
Figur 13. Fordonskategori 1, 80 km/h. Sammanlagd ljudeffektnivå i tersband för rull- och framdrivningsbuller. A-vägd ljudeffektnivåer: ABDD 0 år – 98,0 dBA, ABDD 7 år – 100,5 dBA, ABS 11 – 103,5 dBA, ABS 16 – 104,2 dBA.



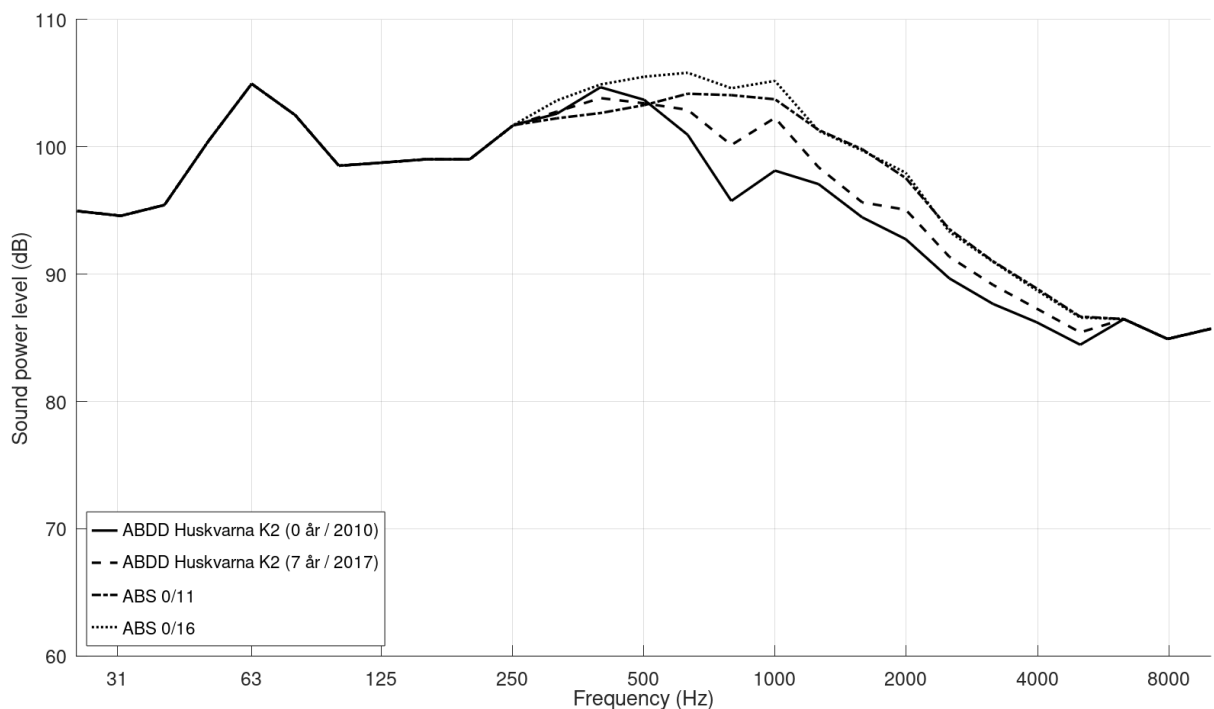
Figur 14. Fordonskategori 2, 80 km/h. Ljudeffektnivå i tersband för rullbullen (röda linjer) samt framdrivningsbullen (blå linje). A-vägda ljudeffektnivåer för rullbullen: ABDD 0 år – 101,0 dBA, ABDD 7 år – 103,4 dBA, ABS 11 – 105,9 dBA, ABS 16 – 107,1 dBA. A-vägd ljudeffektnivå framdrivningsbullen 103,5 dBA.



Figur 15. Fordonskategori 2, 80 km/h. Sammanlagd ljudeffektnivå i tersband för rull- och framdrivningsbullen. A-vägda ljudeffektnivåer: ABDD 0 år – 105,4 dBA, ABDD 7 år – 106,5 dBA, ABS 11 – 107,9 dBA, ABS 16 – 108,7 dBA.



Figur 16. Fordonskategori 3 (fem axlar), 80 km/h. Ljudeffektnivå i tersband för rullbuller (röda linjer) samt framdrivningsbuller (blå linje). A-vägda ljudeffektnivåer för rullbuller: ABDD 0 år – 104,9 dBA, ABDD 7 år – 107,4 dBA, ABS 11 – 109,9 dBA, ABS 16 – 111,1 dBA. A-vägd ljudeffektnivå framdrivningsbuller 104,8 dBA.



Figur 17. Fordonskategori 3 (fem axlar), 80 km/h. Sammanlagd ljudeffektnivå i tersband för rull- och framdrivningsbuller. A-vägda ljudeffektnivåer: ABDD 0 år – 107,9 dBA, ABDD 7 år – 109,3 dBA, ABS 11 – 111,0 dBA, ABS 16 – 112,0 dBA.

4.2.2 Exempel utbredningsberäkning

Ljudeffektnivåerna i Figur 12–Figur 17 användes för att bestämma ekvivalent ljudnivå med Nord2000 för ett fall med rak väg med geometri enligt Figur 3. Ljudnivåer i beräkningspunkt nr 1 beräknades för

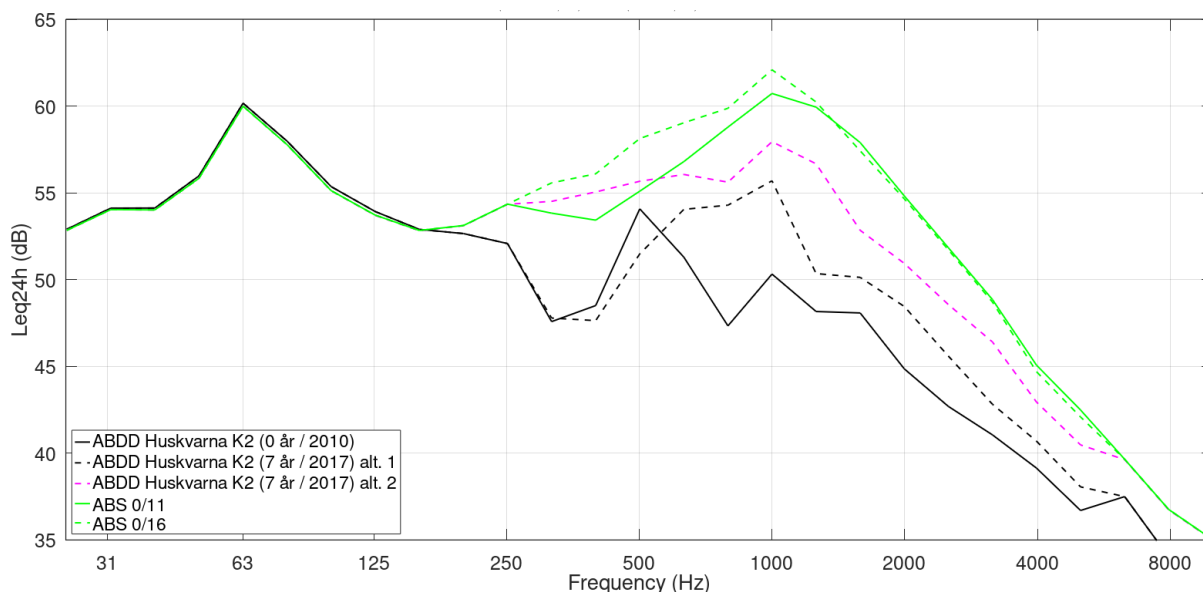
ett trafikflöde med ÅDT = 5000 fordon/dygn varav 5% fordonskategori 2 och 5% fordonskategori. Omgivande mark hade markimpedans klass D. Väderinställningar valdes enligt referensväder i [10].

Den nylagda och den sju år gamla porösa vägytans impedans modellerades med Hamet et al, där indata valdes som Harmonoise schablonparametrar för dränasfalt ($\sigma = 5 \text{ kPas/m}^2$, $\Omega = 0,2$, $q^2 = 5$) förutom tjockleken som sattes till $L = 0,08 \text{ m}$ vilket motsvarar tjockleken hos dubbeldrénasfalten i Huskvarna⁵. Dessa parametrar motsvarar en fullt fungerande dränasfalt utan igentäppta porer.

För att undersöka hur mycket ljudimmissionen påverkas av att porerna täpps igen modellerades impedansen hos den sju år gamla porösa vägytan även med impedansklass G och Delany & Bazleys impedansmodell. Den sjuåriga vägytans två olika impedansalternativ omnämns nedan som alternativ 1 för Hamet et al och alternativ 2 för Delany & Bazley. Ingen kompensation har gjorts för att de porösa vägytornas korrekationer även inkluderar utbredningsdämpning (jämför avsnitt 3.2), vilket gör att beräknade ekvivalentnivåer för dessa alternativ är något för låga.

Vägytekorrekationer för ABS 11 och ABS 16 hämtades från [22], och deras impedanser modellerades som impedansklass G med Delany & Bazleys impedansmodell.

Beräknade ljudnivåer redovisas i Figur 18. Med nylagd dubbeldrän blir den A-vägda ekvivalenta ljudnivån 8,5 dB lägre än med ABS 11 och 9,3 dB lägre än med ABS 16. Förutsatt att den sjuåriga porösa vägytan har samma impedans som när den var nylagd (alternativ 1) blir ekvivalentnivån 5,7 dB lägre än med ABS 11 och 6,5 dB lägre än med ABS 16. Med impedans motsvarande igentäppta porer (alternativ 2) blir ekvivalentnivån 2,7 dB lägre än med ABS 11 och 3,5 dB lägre än med ABS 16. Skillnaderna hade blivit något mindre om beräkningarna inte hade ignorerat att de porösa vägytornas vägytekorrekationer innebär en överskattning av emissionsdämpningen.



Figur 18. Vägkälla 80 km/h, dygnsekvivalent nivå i beräkningspunkt nr 1 för olika vägytor.

Ljudnivå för den äldre drénasfalten har beräknats med två olika impedanser hos vägytan: i alternativ 1 motsvarar impedansen en nylagd porös vägyta, medan alternativ 2 använder impedansklass G.

A-vägda dygnsekvivalenta nivåer: ABDD 0 år – 58,6 dBA, ABDD 7 år alternativ 1 – 61,4 dBA, ABDD 7 år alternativ 2 – 64,4 dBA, ABS 11 – 67,1 dBA, ABS 16 – 67,9 dBA.

⁵ Dubbeldränbeläggningen i Huskvarna består dock av två olika lager, ett övre 30 mm tjockt lager med 11 mm maximal stenstorlek och ett undre 50 mm tjockt lager med 16 mm maximal stenstorlek. Därmed blir modelleringen egentligen mer komplicerad eftersom det sannolikt blir olika impedans i de olika lagren. Det saknas också uppgift om hur väl schablonvärdena från Harmonoise stämmer med verkligheten i detta fall.

5 Sammanfattning

Nord2000 kan likt de flesta andra beräkningsmetoder för trafikbuller inte hantera markeffekten för porösa vägytor helt korrekt. När en porös vägyta ska inkluderas i en ljudutbredningsberäkning med Nord2000 rekommenderas att vägytan modelleras med impedansklass F. En förutsättning är att vägytan underhålls så att dess ljudabsorberande funktion upprätthålls över tid. I annat fall bör bullerberäkningar utföras med impedansklass G för den porösa vägytan. Rekommendationen gäller när Nord2000 används enligt [10].

Det går inte att utan vidare tillämpa publicerade vägytekorrektioner för porösa vägbeläggningar på svenska vägar. Resultatet påverkas av såväl beläggningsens ålder, trafiksituation, utförande som underhåll. Här finns ett behov av att ta fram tidsberoende (relativt vägytans ålder i år) vägytekorrektion respektive impedanskorrektion för dränbeläggningar.

Utbredningsmodellen i Nord2000 skulle kunna förbättras genom att lägga till en impedansmodell som kan hantera marktytor som inte Delany & Bazley modellerar korrekt, exempelvis porösa vägytor. Även vägkällmodellen i Nord2000 skulle kunna förbättras genom att inkludera en korrektion för hur framdrivningsbullret påverkas av vägytans impedans.

Svenska försök att lägga bullerdämpande dränasfalter har gett varierande resultat, och inte sällan har den akustiska livslängden blivit kortare än önskat. Tills vidare rekommenderas att projektering av porösa vägytor i första hand fokuserar på att försöka återskapa goda svenska exempel. Ett fall som har fungerat bra är Trafikverkets åtgärder på E4 vid Huskvarna.

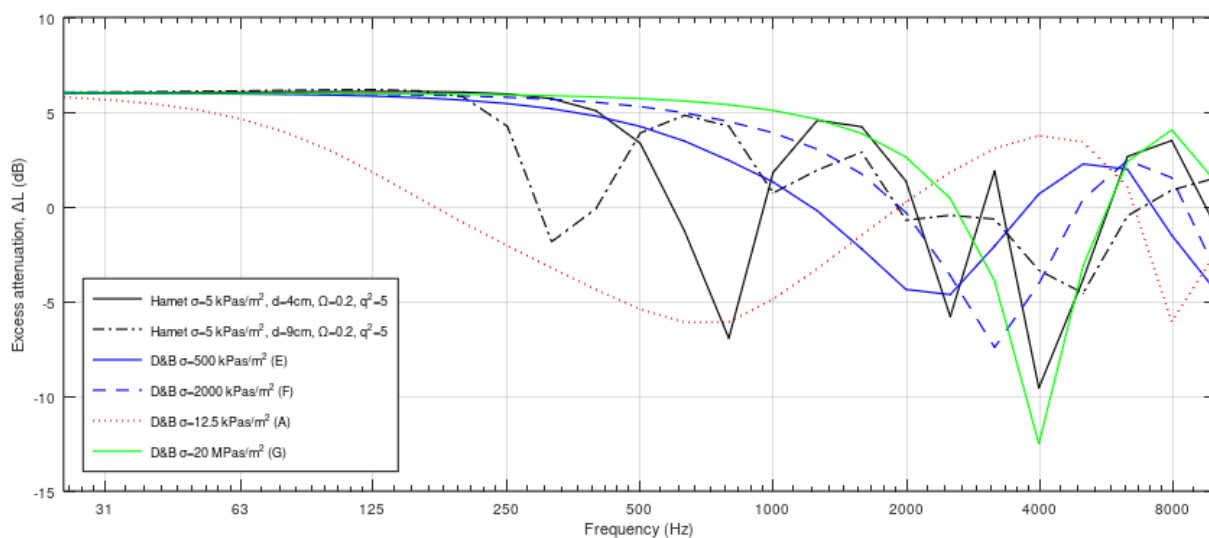
6 Referenser

- [1] L.A. Rasmussen, J. Lykkemark, T.R. Andersen, J. Vollertsen, *Permeable pavements: A possible sink for tyre wear particles and other microplastics?* Science of the Total Environment, 2023.
- [2] B. Plovsing, Nord2000. *Comprehensive outdoor sound propagation model. Part 1: Propagation in an atmosphere without significant refraction.* AV 1849/00, DELTA, revised 2006.
- [3] M. E. Delany, E. N. Bazley, *Acoustical properties of fibrous absorbent materials*, Applied Acoustics, 1970.
- [4] J. F. Hamet et al, *Porous road pavements: Acoustical characterization and propagation effects*, The Journal of the Acoustical Society of America 1997.
- [5] Ground surfaces: *Determination of the acoustic impedance* (NT ACOU 104), Nordtest 1999.
- [6] H. G. Jonasson, S. Storeheier, *Revision of NT ACOU 104 for the measurement of the acoustic impedance of ground*, Nordic Innovation Centre (NICE), project number 04146, 2006.
- [7] E. Salomons, D. Heimann, *Description of the Reference model*, Deliverable 16, HAR29TR-041118-TNO10.doc, Harmonoise 2004-12-22.
- [8] R. Nota, R. Barelds, D. van Maercke, H. van Leeuwen, *Harmonoise WP 3 Engineering method for road traffic and railway noise after validation and fine-tuning*, Technical Report HAR32TR-040922-DGMR10, Deliverable 18, Harmonoise 2004-12-22.
- [9] K. Attenborough et al, *Technical report on "Applicable ground models"*, HSNNA_41_TRP_2010_05_23_OP10.doc, Deliverable 4.1, HOSANNA, Work package 4 Ground treatments, 2010-06-10.
- [10] A. Gustafson, A. Genell, M. Ögren, *NORD2000 – Användarhandledning för beräkning av buller från väg- och spårtrafik för svenskt bruk*, Kunskapscentrum om Buller, 2024.
- [11] H. G. Jonasson, *Acoustic Source Modelling of Nordic Road Vehicles*, SP Rapport 2006:12, 2006.
- [12] K. Larsson, H. G. Jonasson, *Uppdaterade beräkningsmodeller för vägtrafikbuller*, SP Rapport 2015:72, 2015.
- [13] U. Sandberg, *Possibilities to Replace Outdoor Coast-by Tyre/Road Noise Measurements with Laboratory Drum Measurements*, Background document for Milestone Decision by SILENCE SP C, SILENCE_C.4.MS8_080506_VTI.doc, SILENCE, 2006.
- [14] U. Sandberg, P. Mioduszewski, T. Vieira, *Acoustic lifecycle study of the double-layer porous asphalt on E4 in Huskvarna, Sweden*, Internoise 2018.
- [15] Personlig kommunikation med Ulf Sandberg, VTI, Linköping, 2023.
- [16] J. Kragh et al, *User's Guide Nord2000 Road*, AV 1171/06, DELTA, 2006.
- [17] B. Peeters, G. van Blokland, *The noise emission model for European road traffic*, IMA55TR-060821-MP10, Deliverable 11, IMAGINE, 2007.
- [18] *Commission Directive (EU) 2015/996 of 19 May 2015 establishing common noise assessment methods according to Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council.*
- [19] *Kommissionens delegerade direktiv (EU) .../... av den 21.12.2020 om ändring, för anpassning till den vetenskapliga och tekniska utvecklingen, av bilaga II till Europaparlamentets och rådets direktiv 2002/40/EG i fråga om gemensamma bedömningsmetoder för buller*, C(2020) 9101 final, Bryssel, 2020-12-21.
- [20] *Vägtrafikbuller – Nordisk beräkningsmodell*, reviderad 1996. Rapport 4653. Naturvårdsverkets förlag, 1996.
- [21] P. Andersson, *Råd för val av beläggning med hänsyn till miljö*, Publikation 2009:124, Trafikverket 2009.
- [22] A. Genell, A. Gustafson, *Korrekationer för vägbeläggningar – Uppdaterade korrekationer för olika svenska vägbeläggningar för användning i Nord2000*, Kunskapscentrum om buller, 2024.

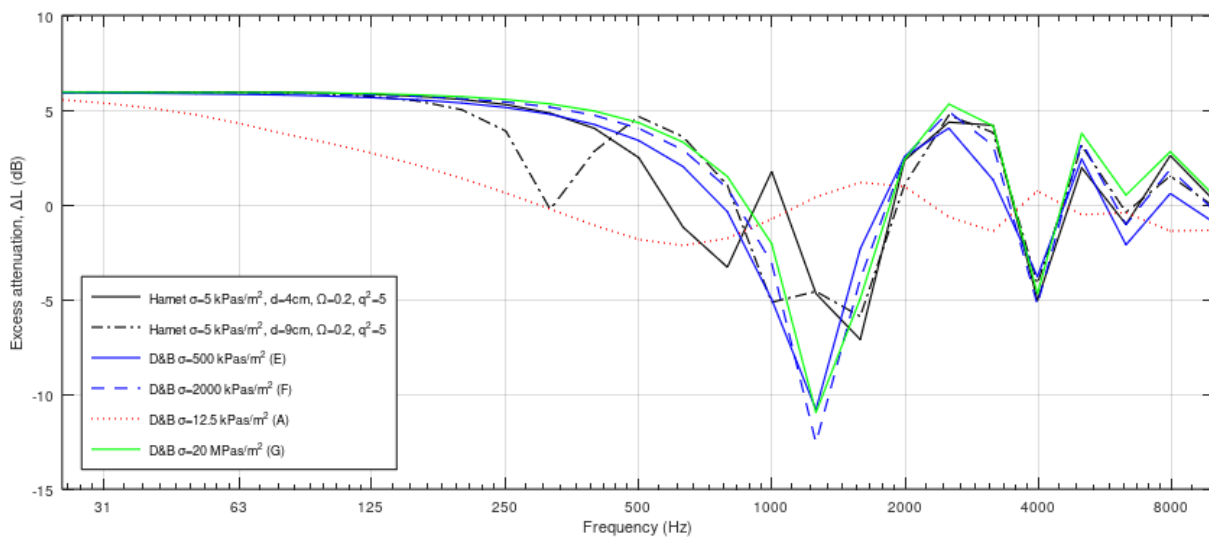
Bilagor

Bilaga 1. Fler beräkningsresultat

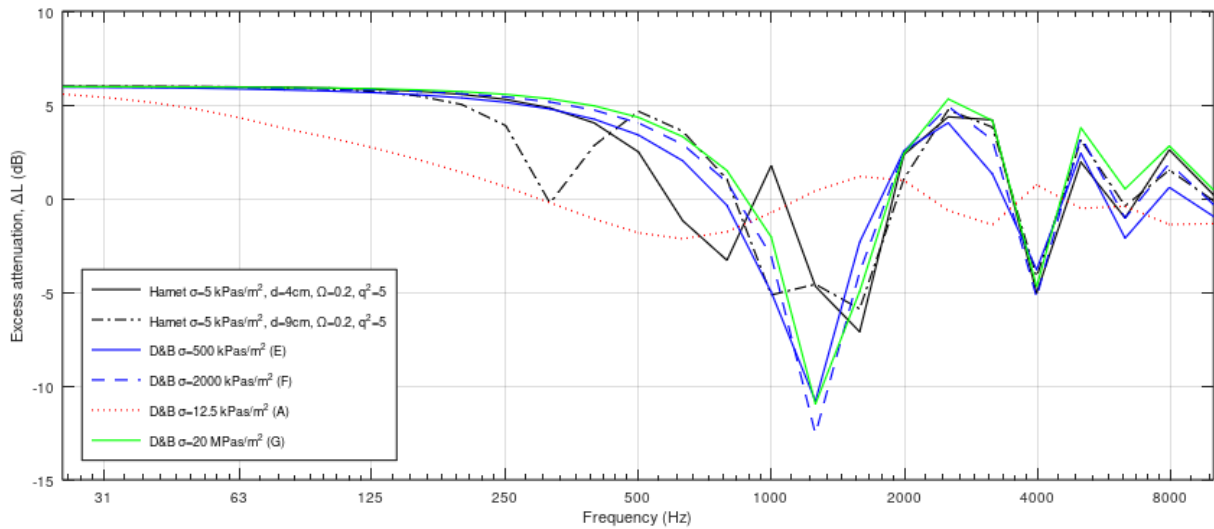
B1.1. Beräkningar med en punktkälla



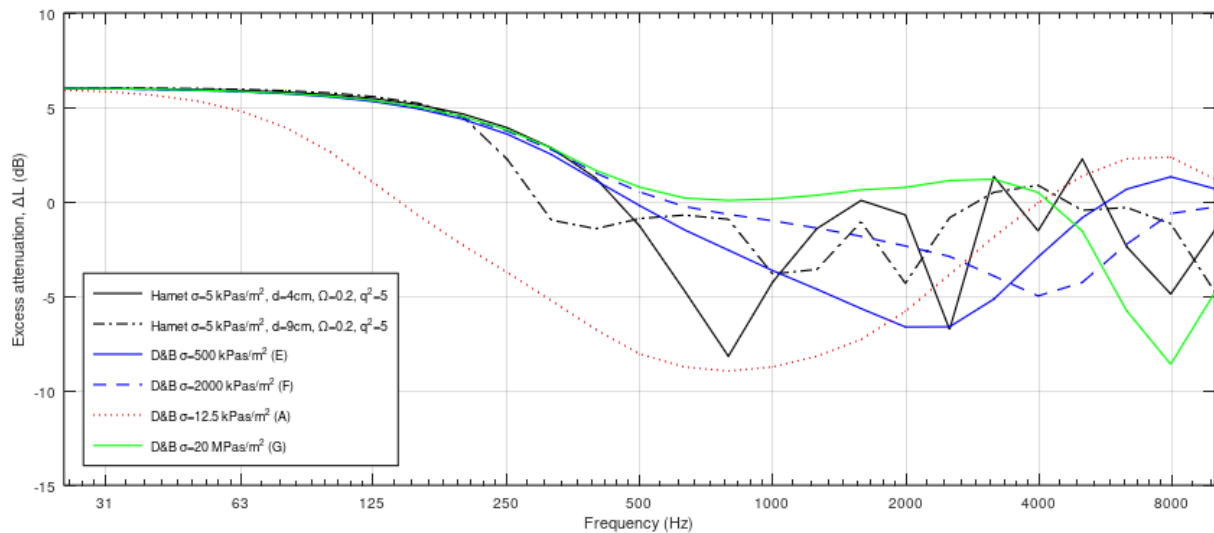
Figur 19. Punktkälla, ljuddämpning till beräkningspunkt nr 1 relativt frifältsutbredning³ för olika modellering av vägytans impedans. Avstånd källa–mottagare 10 m, källhöjd 0,1 m, mottagarhöjd 2 m. Angränsande mark har impedansklass G (20 MPas/m²).



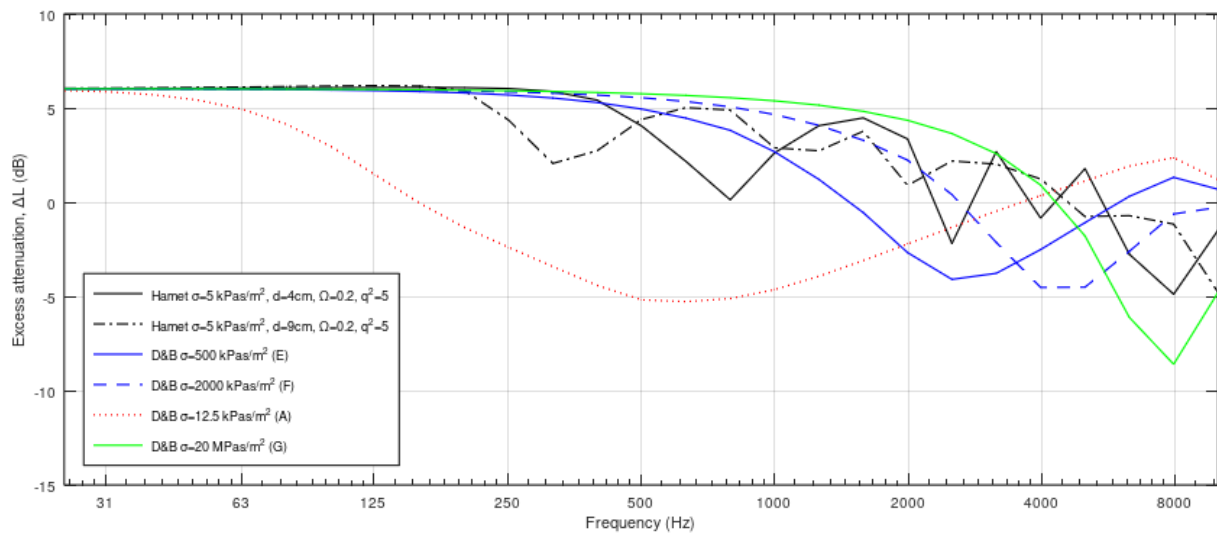
Figur 20. Punktkälla, ljuddämpning till beräkningspunkt nr 2 relativt frifältsutbredning³ för olika modellering av vägytans impedans. Avstånd källa–mottagare 10 m, källhöjd 0,1 m, mottagarhöjd 8 m. Angränsande mark har impedansklass D (200 kPas/m²).



Figur 21. Punktkälla, ljuddämpning till beräkningspunkt nr 2 relativt frifältsutbredning³ för olika modellering av vägytans impedans. Avstånd källa–mottagare 10 m, källhöjd 0,1 m, mottagarhöjd 8 m. Angränsande mark har impedansklass G (20 MPas/m²).

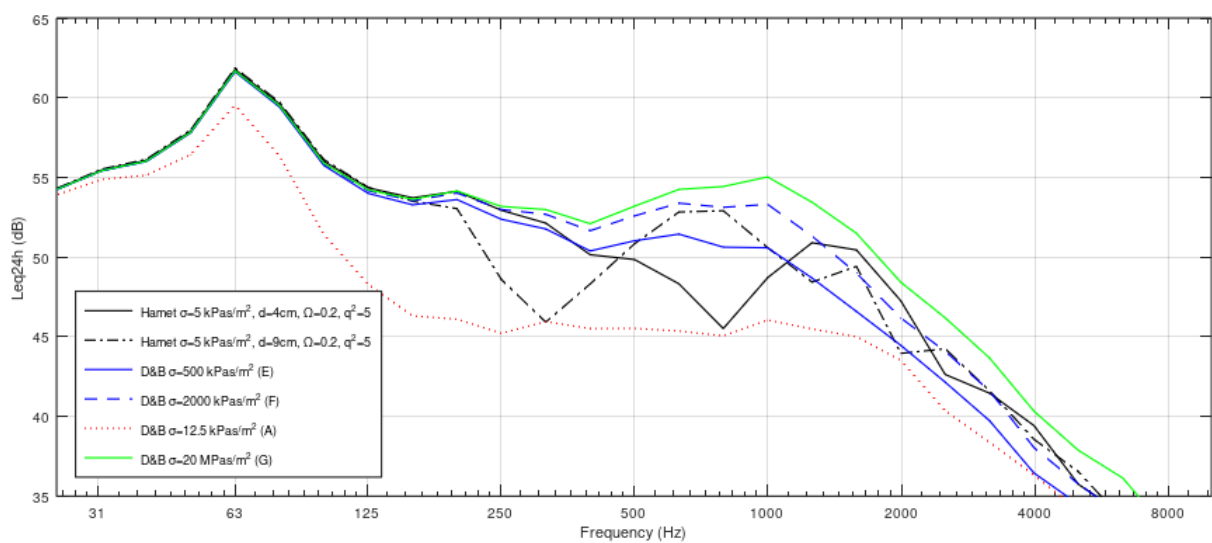


Figur 22. Punktkälla, ljuddämpning till beräkningspunkt nr 3 relativt frifältsutbredning³ för olika modellering av vägytans impedans. Avstånd källa–mottagare 25 m, källhöjd 0,1 m, mottagarhöjd 2 m. Angränsande mark har impedansklass D (200 kPas/m²).

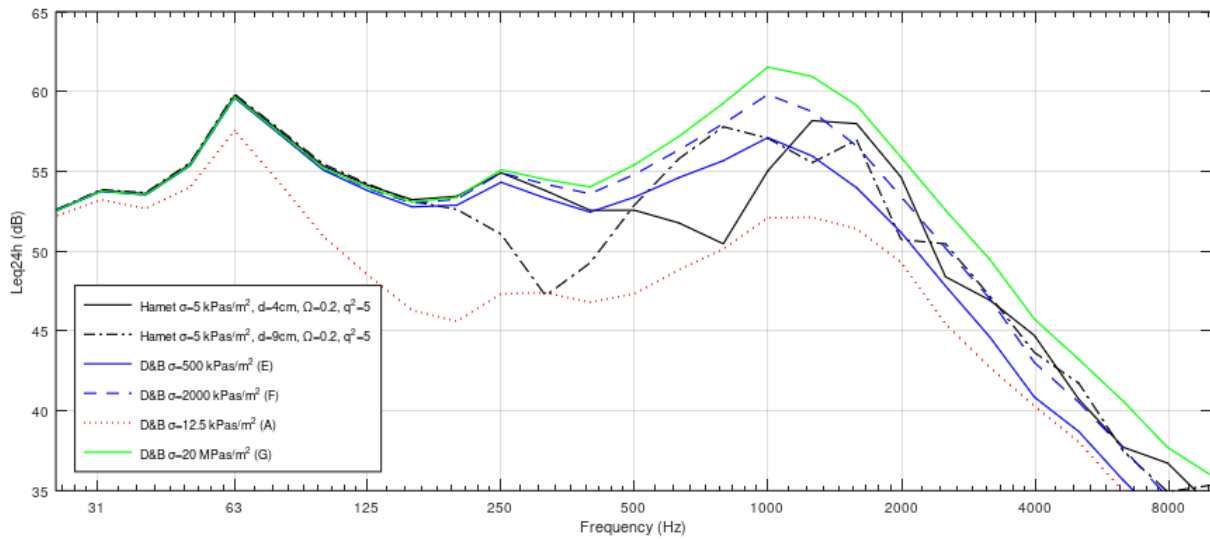


Figur 23. Punktkälla, ljuddämpning till beräkningspunkt nr 3 relativt frifältsutbredning³ för olika modellering av vägytans impedans. Avstånd källa-mottagare 25 m, källhöjd 0,1 m, mottagarhöjd 2 m. Angränsande mark har impedansklass G (20 MPas/m²).

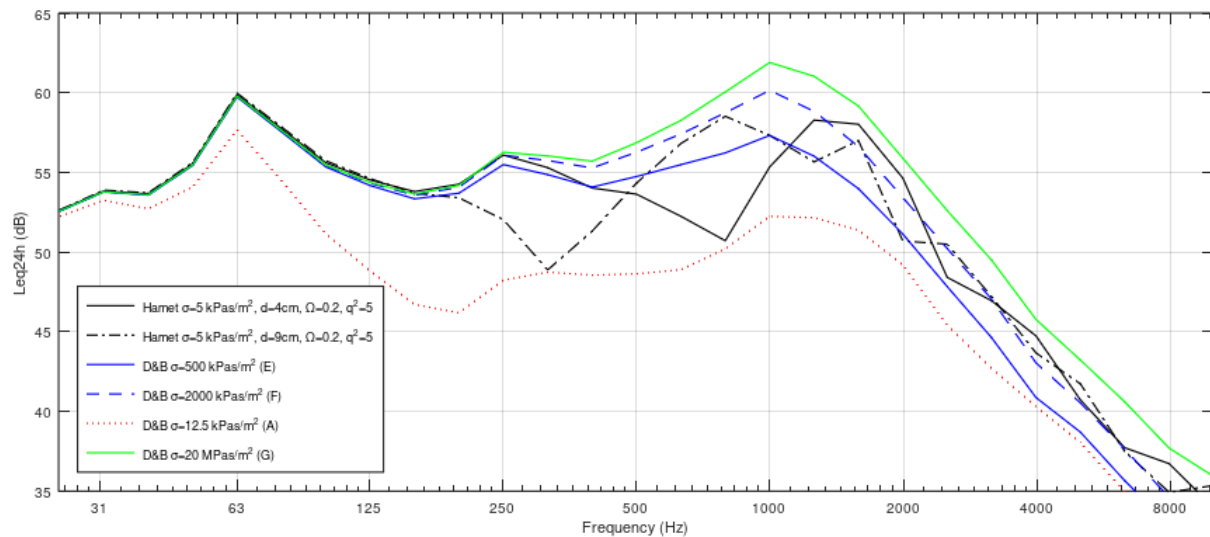
B1.2. Beräkningar med en vägkälla



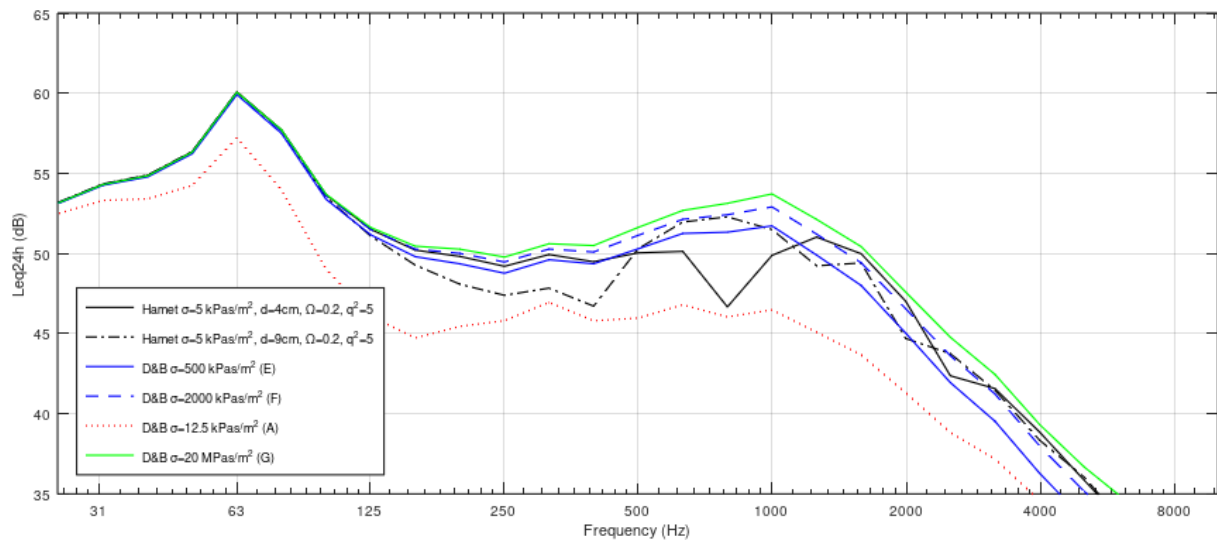
Figur 24. Vägkälla 50 km/h, dygnsekvivalent nivå i beräkningspunkt nr 1 för olika modellering av vägytans impedans. Avstånd källa-mottagare 10 m, höjd mottagare 2 m. Angränsande mark har impedansklass G (20 MPas/m²).



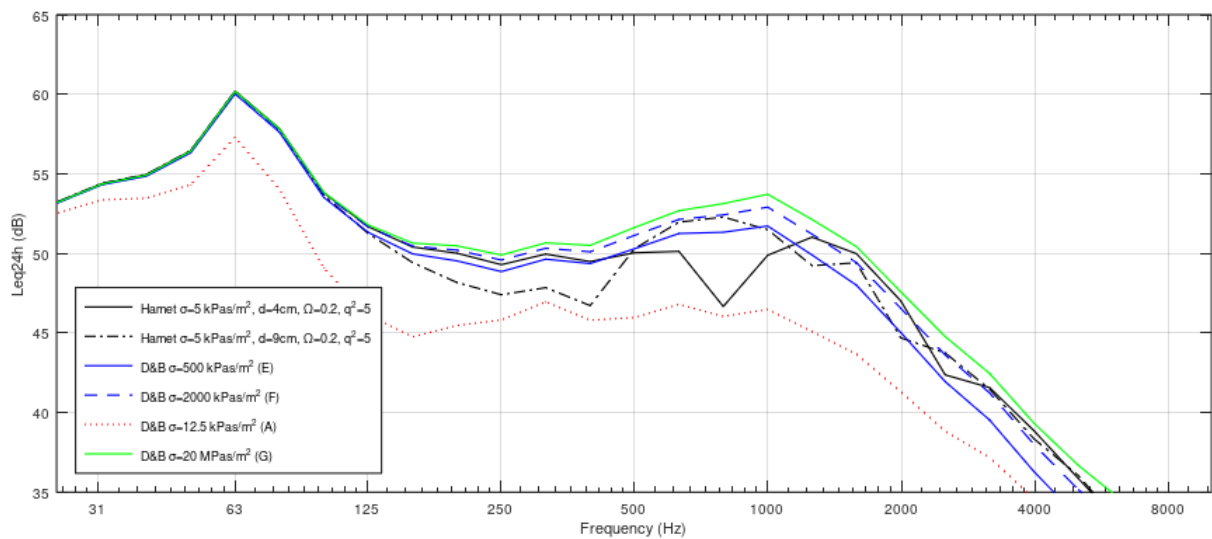
Figur 25. Vägkälla 90 km/h, dygnsekvivalent nivå i beräkningspunkt nr 1 för olika modellering av vägytans impedans. Avstånd källa-mottagare 10 m, höjd mottagare 2 m. Angränsande mark har impedansklass D (200 kPas/m²).



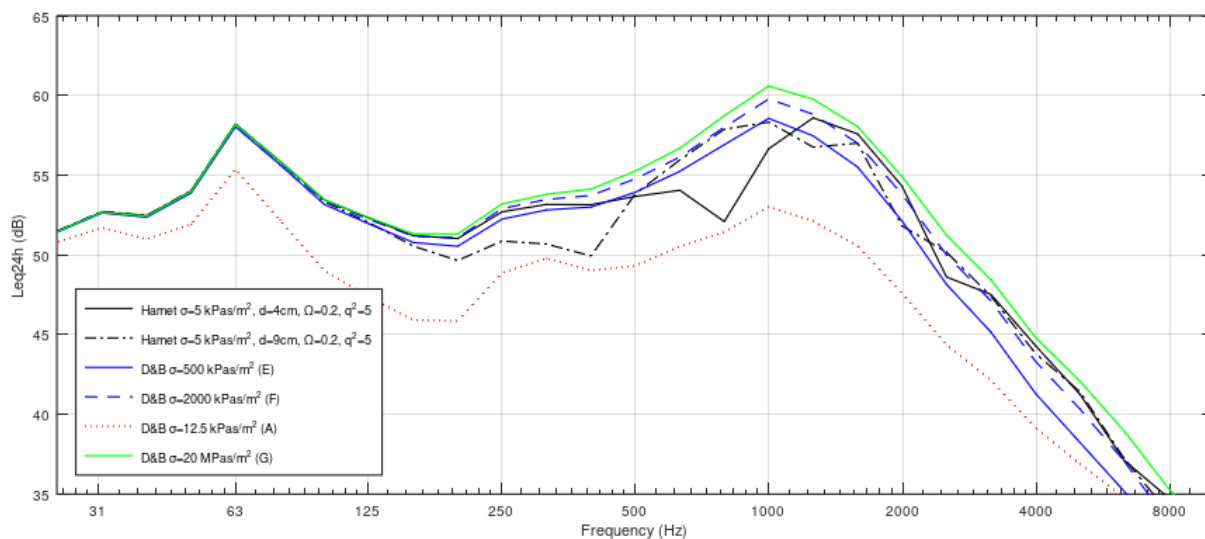
Figur 26. Vägkälla 90 km/h, dygnsekvivalent nivå i beräkningspunkt nr 1 för olika modellering av vägytans impedans. Avstånd källa-mottagare 10 m, höjd mottagare 2 m. Angränsande mark har impedansklass G (20 MPas/m²).



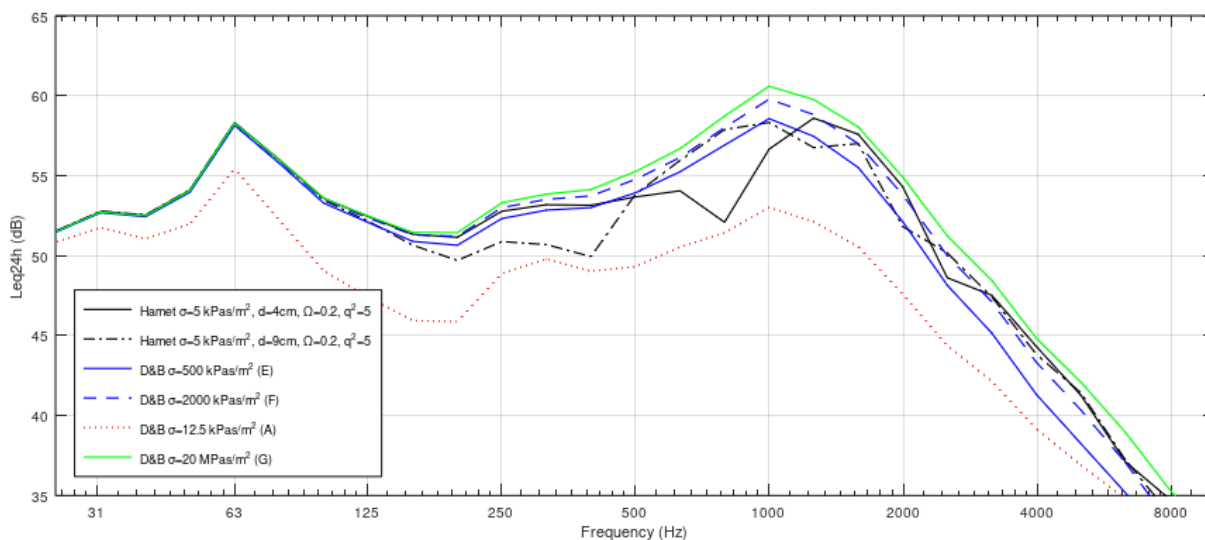
Figur 27. Vägkälla 50 km/h, dygnsekvivalent nivå i beräkningspunkt nr 2 för olika modellering av vägytans impedans. Avstånd källa-mottagare 10 m, höjd mottagare 8 m. Angränsande mark har impedansklass D (200 kPas/m²).



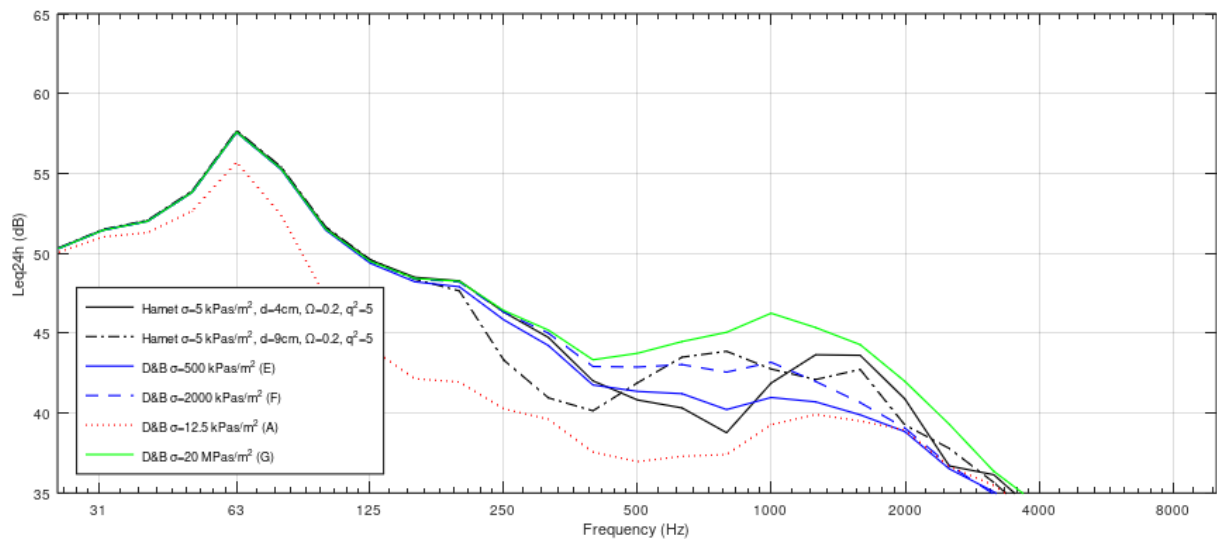
Figur 28. Vägkälla 50 km/h, dygnsekvivalent nivå i beräkningspunkt nr 2 för olika modellering av vägytans impedans. Avstånd källa-mottagare 10 m, höjd mottagare 8 m. Angränsande mark har impedansklass G (20 MPas/m²).



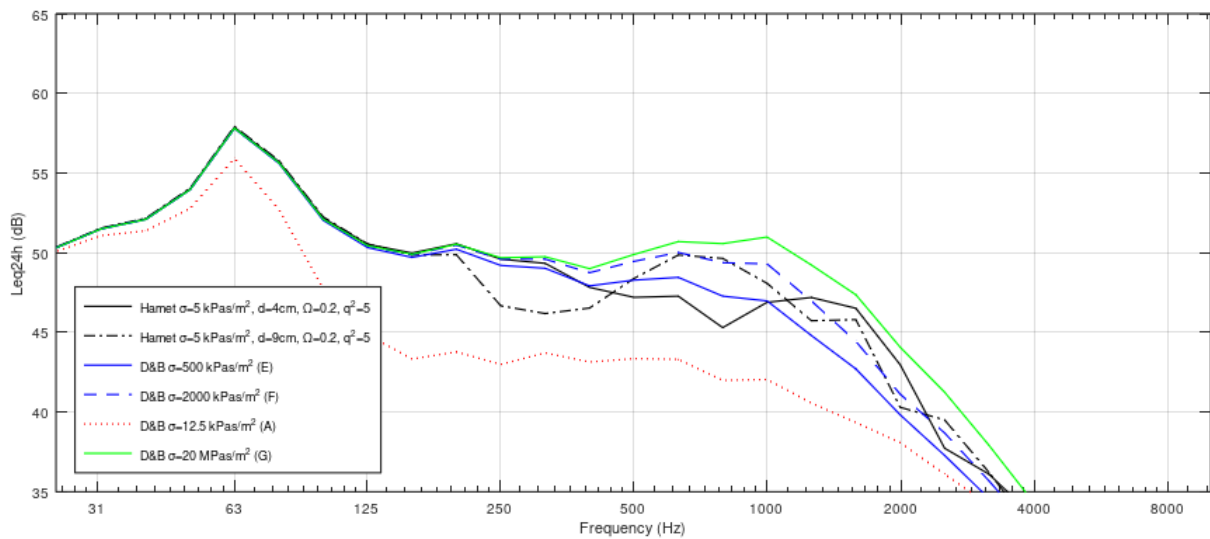
Figur 29. Vägkälla 90 km/h, dygnsekvivalent nivå i beräkningspunkt nr 2 för olika modellering av vägytans impedans. Avstånd källa-mottagare 10 m, höjd mottagare 8 m. Angränsande mark har impedansklass D (200 kPas/m²).



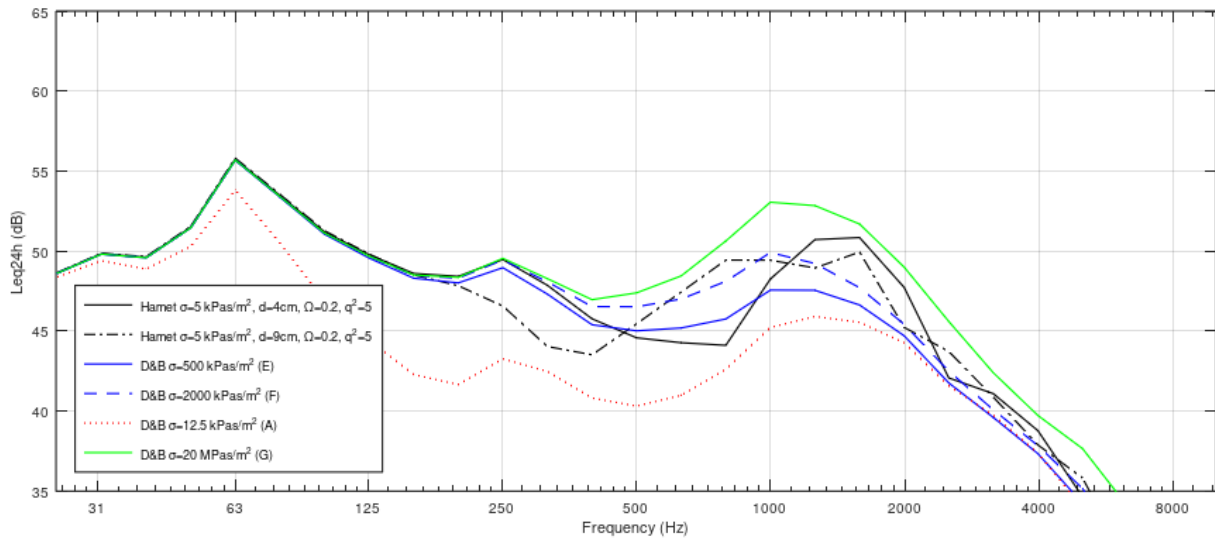
Figur 30. Vägkälla 90 km/h, dygnsekvivalent nivå i beräkningspunkt nr 2 för olika modellering av vägytans impedans. Avstånd källa-mottagare 10 m, höjd mottagare 8 m. Angränsande mark har impedansklass G (20 MPas/m²).



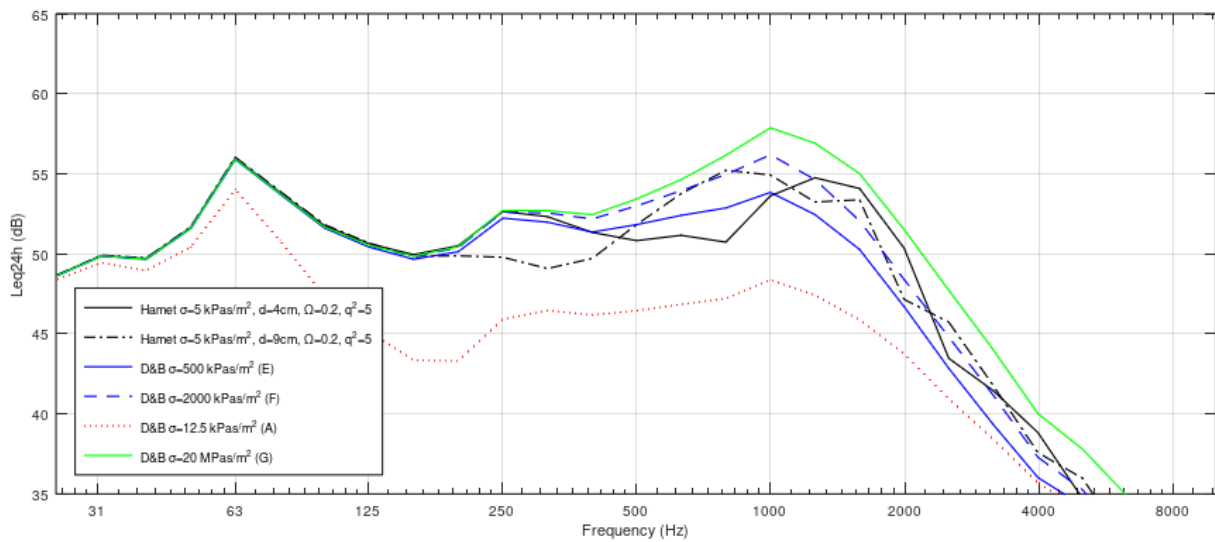
Figur 31. Vägkälla 50 km/h, dygnsekvivalent nivå i beräkningspunkt nr 3 för olika modellering av vägytans impedans. Avstånd källa-mottagare 25 m, höjd mottagare 2 m. Angränsande mark har impedansklass D (200 kPas/m²).



Figur 32. Vägkälla 50 km/h, dygnsekvivalent nivå i beräkningspunkt nr 3 för olika modellering av vägytans impedans. Avstånd källa-mottagare 25 m, höjd mottagare 2 m. Angränsande mark har impedansklass G (20 MPas/m²).



Figur 33. Vägkälla 90 km/h, dygnsekvivalent nivå i beräkningspunkt nr 3 för olika modellering av vägytans impedans. Avstånd källa-mottagare 25 m, höjd mottagare 2 m. Angränsande mark har impedansklass D (200 kPas/m²).



Figur 34. Vägkälla 90 km/h, dygnsekvivalent nivå i beräkningspunkt nr 3 för olika modellering av vägytans impedans. Avstånd källa-mottagare 25 m, höjd mottagare 2 m. Angränsande mark har impedansklass G (20 MPas/m²).

Beräkningspunkt	Hastighet (km/h)	Omgivande mark	Vägyta alternativ	L_{Aeq24} (dBA)	L_{Aeq24} mv alt 1-2 (dBA)	Diff till mv alt 1-2 (dB)
1	50	D	1	58,4	58,6	
			2	58,7		
			3	58,1		
			4	60,0		
			5	54,4		
			6	61,6		
	G	1	58,8	59,0		
		2	59,2			
		3	58,6			
		4	60,6			
		5	54,6			
		6	62,1			
90	D	D	1	64,7	64,7	
			2	64,6		
			3	63,8		
			4	66,1		
			5	59,7		
			6	68,0		
	G	1	64,9	65,0		
		2	65,0			
		3	64,1			
		4	66,5			
		5	59,9			
		6	68,3			
2	50	D	1	58,7	58,9	
			2	59,0		
			3	58,8		
			4	59,9		
			5	54,4		
			6	60,7		
	G	1	58,7	58,9		
		2	59,0			
		3	58,8			
		4	59,9			
		5	54,4			
		6	60,7			
90	D	D	1	65,0	65,1	
			2	65,2		
			3	64,9		
			4	66,2		
			5	59,9		
			6	67,0		
	G	1	65,0	65,1		
		2	65,2			
		3	64,9			
		4	66,2			
		5	59,9			
		6	67,0			
3	50	D	1	51,9	51,9	
			2	51,9		
			3	50,7		
			4	51,8		
			5	48,9		
			6	54,0		
	G	1	55,7	56,0		
		2	56,2			
		3	55,1			
		4	56,7			
		5	50,8			
		6	58,2			
90	D	D	1	57,7	57,6	
			2	57,5		
			3	55,8		
			4	57,2		
			5	53,9		
			6	60,1		
	G	1	61,7	61,8		
		2	61,9			
		3	60,6			
		4	62,5			
		5	55,8			
		6	64,3			

Tabell 2. Sammanställning beräknade dygnsekvivalenta ljudnivåer för de olika beräkningsfallen med vägkälla.

Kolumnen näst längst till höger redovisar medelvärdet av vägyta 1 och 2 för respektive fall. Kolumnen längst till höger redovisar differensen mellan L_{Aeq24h} för vägyta 3–6 och medelvärdet av vägyta 1 och 2, för respektive fall.

Medelvärde och standardavvikelse per vägyta, för samtliga differenser i kolumnen längst till höger är:

Vägyta 3: $mv=-0,7$ dB, $s=0,5$ dB. Vägyta 4: $mv=+0,9$ dB, $s=0,6$ dB. Vägyta 5: $mv=-4,6$ dB, $s=0,8$ dB. Vägyta 6: $mv=+2,5$ dB, $s=0,6$ dB.