Gärdhagen Akustik AB

Beräkning av vägtrafikbuller med CNOSSOS-EU, Nord2000 och Nord96

En underlagsrapport

Del 2 – Skillnader i resultat mellan de tre metoderna, beräkningstekniska aspekter, samt slutsatser och rekommendationer

Andreas Gustafson, Gärdhagen Akustik AB

Anders Genell, VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut

2022-04-13

Godkänd av uppdragsgivare
Inväntar publicering

Sammanfattning del 2

Denna del innehåller en genomgång av utbredningsmodellerna i Nord96 (väg), CNOSSOS-EU och Nord2000 och diskuterar deras respektive osäkerheter. Resultat från ett stort antal beräkningar av ekvivalentnivå från vägtrafik redovisas som högupplösta bullerkonturer och som histogram.

Beräkningarna har gjorts i normalt komplexa, fullskaliga modeller med exempel från tätort och landsbygd, kompletterat med beräkningar i en enkel modell med rak väg och en skärm. Den primära avsikten är att belysa i vilken utsträckning beräkningsmetoderna kan förväntas ge olika resultat i verkliga situationer, samt hur resultaten påverkas av val av underlag för markabsorption och meteorologi. Möjliga orsaker till varför beräkningsmetoderna ger olika resultat analyseras i några fall.

Användandet av schablonvärden istället för väderdata som underlag för refraktion vid strategisk kartläggning leder till att nivåer överskattas med i medeltal ca 2 dB. Schablon istället för mer detaljerat underlag för markabsorption ger i medeltal avvikelser som är >1 dB.

Förhållandet mellan beräkningsmetod, ljudmått och riktvärden diskuteras. I ett avsnitt om osäkerheter undersöks teoretiska avvägningar och approximationer i utbredningsmodellerna, och tidigare genomförda valideringar med uppskattade osäkerheter gås igenom. Beräkningsbördor redovisas och behov av datorkraft kommenteras. Arbetsbörda för den som utför beräkningarna diskuteras.

Utbredningsmodellen i Nord2000 har validerats till 1 dB osäkerhet för avstånd upp till 400 m, respektive 2 dB för 400–1000 m (1σ). Metoden kan förväntas prediktera väl i de flesta normalt komplexa situationer, och är state of the art som andra ingenjörsmetoders resultat kan jämföras mot. Hög men hanterbar beräkningsbörda.

Osäkerheten hos utbredningsmodellen i CNOSSOS-EU uppskattas till ca 2,5 dB (1σ), förutsatt att beräknade fall inte avviker väsentligt från de som metoden validerats för. Emellertid uppvisar beräkningsresultaten delvis stora avvikelser mot Nord2000, vilket tyder på problem med att hantera även normalt komplexa fall. Ej giltig för höjden 1,5 m som används i svenska utredningar. Den förefaller inte kunna prediktera ett korrekt årsmedelvärde eftersom det saknas möjlighet att inkludera mycket gynnsamma ljudutbredningsförhållanden.

Nord96 är den enda metoden som går bra att använda utan dator. En komplett validering saknas, den totala osäkerheten för källmodell och utbredningsmodell är ca 3 dB (1σ) för ekvivalentnivåer i oskärmade lägen. Giltig upp till 300 m.

Godkänd av uppdragsgivare
Invänta publicering

Slutsatser

De skillnadsplottar och -histogram som presenteras i rapporten utgör inga verifieringar i egentlig mening, men den betydligt lägre osäkerheten hos Nord2000 gör att resultaten ändå kan peka på var de andra metoderna fallerar.

Ingen av metoderna räknar dock korrekt till slutna innergårdar, den enda ingenjörsmetoden som kan det är Qside som inte finns i någon kommersiell programvara. Detta är olyckligt då svenska riktvärden i hög utsträckning hänvisar till möjligheten att förlägga bostadsrum mot en sådan ljudavskärmad bostadssida.

Mot bakgrund av att metoderna ger så olika resultat är det svårt att se hur det skulle kunna fungera att låta användaren fritt välja vilken metod som ska användas. Tvärtom bör myndighetsbeslut tas om att använda samma metod generellt vid planarbete och bygglovsärenden, vid dimensionering av infrastruktur och åtgärdsarbete, samt vid bedömning av bullrande verksamheter.

CNOSSOS-EU och Nord2000 bedöms vara snarlika vad gäller tidsåtgång för utföraren. Skillnaden i nedlagd arbetstid till att göra en trafikbullerutredning med Nord96 bör i praktiken bli liten. En förutsättning är dock att det finns produkter (Trafikverket), anvisningar och schabloner för en tydlig och rationell hantering av de parametrar som tillkommit relativt Nord96. Ett gott exempel på sådan handledning är den danska Håndbog Nord2000 [44].

En ersättare till Nord96 behöver ha god noggrannhet eftersom ljudutredningar med felaktiga ljudnivåer kan försämra rättssäkerheten och orsaka stora merkostnader. Om nuvarande bullermått och riktvärden ska behållas behöver en ersättare kunna simulera ljudutbredningen i Nord96. Ersättaren behöver också kunna beräkna ett årsmedelvärde med god noggrannhet ifall inhemska riktvärden i framtiden kommer uttryckas i L_{den} och L_{night}.

Sammanfattningsvis är Nord2000 mer flexibel, mer robust i komplexa situationer, och avsevärt noggrannare än CNOSSOS-EU, utan att fordra mer av användaren än CNOSSOS-EU. Beräkningsbördan är visserligen betydligt högre men ändå fullt hanterbar.

Rekommendation

Nord2000 rekommenderas som ersättare för Nord96 som ny inhemsk beräkningsmetod, att använda generellt för planarbete och bygglovsärenden, vid dimensionering av infrastruktur och åtgärdsarbete, samt vid bedömning av bullrande verksamheter.

För att en övergång inte ska störa pågående projekt behöver övergångsregler formuleras.

Officiella anvisningar för val av parametrar och underlag behöver tas fram för att minimera risken att olika beräkningsutförare räknar fram olika resultat. I första

Godkänd av uppdragsgivare
Invänta publicering

hand Trafikverket, men på sikt även kommuner, rekommenderas att anpassa redovisningen av trafikuppgifter till Nord2000.

Slutligen rekommenderas berörda myndigheter att arbeta för att Qside blir kommersiellt tillgänglig, och anvisa att den används i utredningar. Förslagsvis involveras metodiken i Nord2000.

Godkänd av uppdragsgivare
Inväntar publicering

Innehållsförteckning

Sammanfattning del 2 ..... **2**

Slutsatser *3*

Rekommendation *3*

Introduktion **7**

1 Ljudutbredning relativt riktvärden **8**

1.1 Ljudutbredning hos en ersättare till Nord96 ..... *10*

2 Beräkningsmetodernas osäkerheter **12**

2.1 Riktighet, precision och noggrannhet *13*

2.2 Nord96 ..... *14*

2.2.1 Valideringar av Nord96 15

2.3 NMPB2008 och CNOSSOS-EU *17*

2.3.1 Valideringar av NMPB 2008 19

2.3.1.1 Kommentar 21

2.4 Nord2000 ..... *23*

2.4.1 Validering av Nord2000 26

2.5 Sammanfattning *26*

3 Status hos CNOSSOS-EU i SoundPLAN **27**

4 Beräknade fall **29**

4.1 Översikt beräknade fall *29*

4.2 Studerade områden *29*

4.2.1 Högsbo 29

4.2.2 Lerum 31

4.2.3 Typfall rak väg med skärm 34

4.3 Emission *35*

4.4 Markabsorption/-impedans *35*

4.5 Meteorologi (för refraktion) *35*

4.6 Beräkningsinställningar *36*

5 Resultat **37**

5.1 Underlagets betydelse vid strategisk kartläggning med CNOSSOS-EU *37*

5.1.1 Emissionsdata CNOSSOS-EU – direktiv 2015/996 relativt svenska mätningar 38

5.1.2 Utgångsläge undersökning markabsorption och refraktion 38

5.1.3 Markabsorption enligt schablon i SP Rapport 2010:77, exploateringstal ≤1 (ej stadskärna) 41

Godkänd av uppdragsgivare inväntar publicering

5.1.4 Markabsorption enligt schablon i SP Rapport 2010:77, exploateringstal >1 (stadskärna) 43
5.1.5 Markabsorption, endast mjuk och hård mark 45
5.1.6 Markabsorption, simulering snötäcke 46
5.1.7 Markabsorption, simulering snötäcke på sjöar, årsmedelvärde 48
5.1.8 Refraktion 51
5.1.9 Diskussion om tester markabsorption och refraktion, strategisk beräkning 61
5.1.9.1 Kommentar tester markabsorption 62
5.1.9.2 Kommentar tester refraktion 63
5.1.9.3 Sammanfattande kommentar 65

5.2 Betydelse av underlag för markabsorption vid inhemska beräkningar med Nord96, CNOSSOS-EU och Nord2000 67
5.2.1 Resultat Nord96 68
5.2.2 Resultat CNOSSOS-EU 71
5.2.3 Resultat Nord2000 77
5.2.4 Sammanfattade resultat och diskussion 81

5.3 Övriga jämförelser av beräkningsresultat från Nord96, CNOSSOS-EU och Nord2000 84
5.3.1 Rak väg med och utan bullerskärm 84
5.3.1.1 Resultat 84
5.3.1.1.1 Utan bullerskärm, horisontella bullerkonturer 85
5.3.1.1.2 Med bullerskärm, horisontella bullerkonturer 85
5.3.1.1.3 Vertikala bullerkonturer, fri utbredning utan bullerskärm 86
5.3.1.1.4 Vertikala bullerkonturer, utbredning med bullerskärm 87
5.3.1.1.5 Vertikala bullerkonturer, Nord2000 simulerar refraktion hos CNOSSOS-EU 88
5.3.1.1.6 Plottar och tabeller 89
5.3.2 Högsbo och Lerum, dygnsekvivalenta nivåer 97
5.3.2.1 Resultat, horisontella bullerkonturer och fasadnivåer 97
5.3.2.2 Resultat vertikala bullerkonturer 116
5.3.3 Högsbo och Lerum, L_{den} vid (eventuella framtida) inhemska beräkningar 117
5.3.3.1 Resultat 118
5.3.3.2 Resultat Lerum N, dansk väderstatistik förskjuten 90 grader 126
5.3.4 Sammanfattning av jämförelserna mellan metoderna 130
5.3.4.1 Beräkning av L_{Aeq24h} för ett testfall med rak väg på plan mark, med/utan skärm 130
5.3.4.2 Beräkning av L_{Aeq24h} i Högsbo och Lerum 131
5.3.4.3 Beräkning av L_{den} i Högsbo och Lerum (bara CNOSSOS-EU och Nord2000) 131

6 Beräkningsbörda vägbullerberäkningar 132

6.1 Uppmätta beräkningstider 132

6.2 Behov av datorkraft 137

6.3 Tillgänglighet i beräkningsprogram 139

6.4 Sammanfattning 140

7 Arbetsbörda för beräkningsutföraren 141

Godkänd av uppdragsgivare
Invänta publicering

8 Slutsatser 142
8.1 Sammanfattande diskussion 142
8.2 Plus och minus per metod 143
8.3 Rekommendationer 144
9 Referenser 145
Appendix 2 – Sammanställning över beräknade fall 148

Godkänd av Upphandlingsgivare
Invänta publicering

Introduktion

I denna del av rapporten redovisas analyser av utbredningsmodellerna i Nord96, CNOSSOS-EU och Nord2000, tillsammans med jämförande beräkningsresultat. Avsikten är att belysa vilka skillnader beräkningsmetoderna kan ge i verkliga fall och hur resultatet varierar med olika underlag för markabsorption och refraktion. Rapporten är också tänkt att fungera som underlag vid val av framtida beräkningsmetod för inhemska bullerutredningar.

Beräkningar av ekvivalentnivå har genomförts för fyra verkliga områden med olika egenskaper, kompletterat med beräkningar för en rak väg med och utan bullerskärm.

Förhållandet mellan beräkningsmetod, ljudmått och riktvärden diskuteras. Teoretiska avvägningar i utbredningsmodellerna gås igenom, och tidigare genomförda valideringar med uppskattade osäkerheter diskuteras.

Uppmätta beräkningsbördor redovisas och behov av datorkraft kommenteras. Arbetsbörda för den som utför beräkningarna diskuteras.

1 Ljudutbredning relativt riktvärden

Trafikbullernivåer är i hög grad beroende av variationer hos väder och trafik. Emissionen påverkas av antalet passerande fordon, sammansättningen av fordonstyper och -tillverkare, däcktyper och -slitage, fordonens respektive hastigheter, fordonens skick, körsätt, förekomst av köbildning, våt/torr vägbana, m m. Refraktion, turbulens och atmosfärisk absorption påverkar ljudutbredningen, liksom snötäckt eller torr och porös mark som ger högre markdämpning (och lägre ljudnivåer) än genomvåt eller frusen mark. Variationerna kan ha samband med tid på dygnet, veckodag, årstid, förekomst av vägbyggen eller event, väglag, etc.

Kort sagt är det en utmaning att hitta ett mått som kan ta hänsyn till alla väsentliga variationer, som kan kopplas till upplevelse- och hälsoeffekter, som är tillräckligt stabilt för att fungera som beslutsunderlag, och – inte minst – som går att mäta och beräkna med rimliga insatser.

Väderberoendet har historiskt sett brukat hanteras med förenklingen att mätning och beräkning av immissionsljudnivå avser ett specifikt väderförhållande, som även riktvärden knutits till. I verkligheten kommer vädervariationer medföra att ljudnivån tidvis blir högre eller lägre än det uppmätta/beräknade värdet, men så länge variationerna inte avviker på ett onormalt sätt antas att sambandet till riktvärdet stämmer. Samma sak gäller för trafikvariationer. Men variationer som avviker signifikant från de som riktvärdet togs fram för kan behöva särskild hantering. Exempelvis kan en situation med avsevärt mer nattlig trafik än normalt leda till högre sömnstörning än vad L_{eq24h} predikterar.

Systemet med nuvarande svenska mått och riktvärden för buller från vägtrafik fungerar just så, en bakgrund ges t ex i [1]. Som trafikunderlag används årsmedeldygnstrafik, men i övrigt görs inga anpassningar för att den beräknade ljudnivån ska svara mot ett årsmedelvärde. Lufttemperaturen är 15 °C, vägytan förutsätts vara torr (och även övrig mark, alltså vare sig regn eller snö), inga dubbdäck används, och vädret är det som motsvarar den inbyggda, ej justerbara, ljudutbredningen i Nord96 som motsvarar en måttligt gynnsam ljudutbredning.

Valet av måttligt gynnsam ljudutbredning till beräkningsmetoden hör ihop med att ljudnivåer som beräknas med Nord96 ska ha god överensstämmelse med uppmätta ljudnivåer. Generellt brukar mätmetoder för externbullermätningar föreskriva att mätningarna ska utföras vid väderförhållanden som ger svag till måttligt gynnsam ljudutbredning i riktning från källa till mottagare eftersom det ökar sannolikheten för en god repeterbarhet. Det ger samtidigt värden som är hyggligt representativa för den samlade exponeringen. Likaså undviks att det uppmätta värdet svarar mot ett mindre representativt värstascenario, som skulle kunna bli fallet om mätningen görs under väderförhållanden som ger höggradigt gynnsam ljudutbredning, eller en underskattning med risk för stor spridning i mätvärdena som mätning under ogynnsam ljudutbredning kan leda till.

Godkänd av uppdragsgivare
Inväntar publicering

Mätmetoderna Nordtest NT ACOU 039 och 056 och beräkningsmetoden Nord96 har designats för att uppmätt och beräknad trafikbullernivå ska stämma överens sinsemellan, och dessutom kunna jämföras direkt mot riktvärde.

I samband med ett eventuellt byte av beräkningsmetod behöver man beakta om metoden kan simulera ovanstående förhållanden eller inte. Om metoden inte klarar det kan det visa sig nödvändigt att istället omdefiniera vilka ljudutbredningsförhållanden som riktvärdena ska avse, och som mätningar och beräkningar ska utföras för. Mätmetoderna kommer då att behöva revideras, och det kan även bli nödvändigt att justera riktvärdena.

När END (European Noise Directive [2]) författades bestämdes att ljudnivåerna L_{den} och L_{night} ska beräknas som medelvärden över ett helt år, inklusive vädervariationer m m. L_{den} viktar även buller kväll och natt högre än buller som inträffar dagtid. Förhoppningen är att det ska ge god korrelation med störnings- och hälsoeffekter, och därmed utgöra ett bra underlag för åtgärder. En annan fördel är att måttet är mindre känsligt för att väder- eller trafikvariationer avviker från ett normalfall. Vid bestämning av DALY eller annan beräkning av de officiella europeiska dos-responssambanden anges ljudnivå som L_{den}. En introduktion till L_{den} och L_{night} och varför de valdes ges i Annex V – Indicators for noise i [19].

En begränsning vid strategisk kartläggning är att alla boende tilldelas ljudnivån på 4 m höjd, oavsett vilket våningsplan de bor på, vilket försvagar korrelationen med störnings- och hälsoeffekter. Noggranna effektstudier behöver utgå från ljudnivå vid samtliga våningsplan.

Det finns alltså grundläggande skillnader mellan det svenska L_{Aeq24h} och EU:s L_{den}. Visserligen går det att göra approximativa översättningar baserat på schabloner för trafikens dygnsfördelning, t ex $L_{den} = L_{eq24h} + 3$ dBA, men sådana bör användas med försiktighet eftersom koppling då saknas till verklig trafikfördelning över dygnet och ljudnivåernas beroende av vädervariationer över året.

Mellan L_{AFmax} för vägtrafik och L_{night} är korrelationen särskilt svag, och det förefaller inte som att L_{night} kan fungera som ersättare för L_{AFmax} [20].

När omgivningsbullerdirektivet använder L_{den} och L_{night} blir det samtidigt ett incitament till att börja använda måtten för andra ändamål än den strategiska kartläggningen. Men även om det finns fördelar med en övergång från nuvarande svenska mått till att ljudnivå avser verkliga årsmedelvärden på samma sätt som vid strategisk kartläggning, kan man konstatera att det är en komplex fråga som inte bara påverkar mät- och beräkningsmetoder för bestämning av ljudnivå, utan exempelvis även har betydelse för skattning av kostnader för att åtgärda buller, metoder för analys av samhällskostnader, samt störnings- och hälsostudier. En sådan övergång, om den blir aktuell, behöver därför planeras och genomföras med omsorg.

Godkänd av uppdragsgivare, inväntar publicering

1.1 Ljudutbredning hos en ersättare till Nord96

Som nämnts ovan behöver en ersättare till Nord96 kunna simulera ljudutbredningen i Nord96 om nuvarande bullermått och riktvärden ska vara oförändrade. Detta bedöms främst ha betydelse för lite längre avstånd och i skärmade lägen. Eftersom ljudutredningar med felaktiga ljudnivåer kan försämra rättssäkerhet och orsaka stora kostnader [21] erfordras också god noggrannhet, varför utbredningsmodellen även behöver uppvisa små osäkerheter vid beräkning av diffraktion och markeffekt. Viktigt är också att osäkerheterna inte blir för stora i de mer komplexa, verkliga situationer som beräkningar normalt görs i (som avviker från typfall). Det bör också gå beräkna ett årsmedelvärde med god noggrannhet ifall det i framtiden blir aktuellt att gå över till att ange inhemska riktvärden i L_{den} och L_{night}.

För källmodellen finns uppdaterade svenska emissionsdata till både CNOSSOS-EU och Nord2000 för beräkning av ekvivalentnivå [3][5]. Det finns också förslag på hur maximalnivå kan beräknas i [4] och [6], som även beskriver utvärdering av sjätte högsta maximalnivå som i Sverige är det vanligast förekommande måttet vid jämförelse mot riktvärde för maximalnivå från vägtrafik.

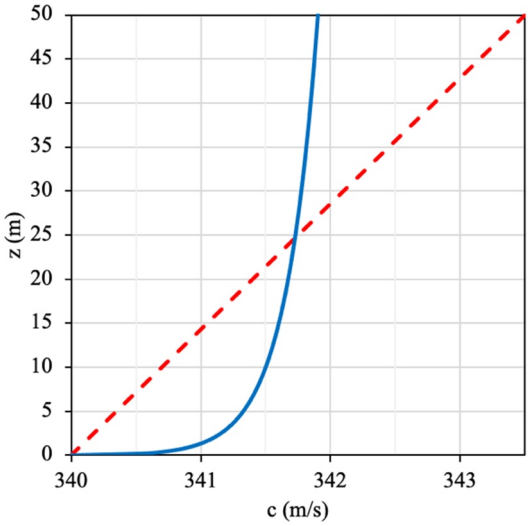
Under utvecklingsarbetet med utbredningsmodellen i Nord96 gjordes vissa empiriska justeringar för att de beräknade resultaten skulle stämma med mätningar [7], vilket så här i efterhand försvårar identifieringen av hur parametrar bör väljas när beräkningen simuleras med andra beräkningsmetoder. För Nord2000 rekommenderas följande värden för att simulera den inbyggda ljudutbredningen i Nord96 [8]:

- $z_0 = 0.025$ m
- $A = 0.25$ (corresponding to a wind speed of 1.5 m/s at 10 m above ground)
- $B = 0$ (corresponding to a temperature gradient of 0 °C /m)
- $t = 15$ °C (giving C = 340 m/s)
- $RH = 70\%$
- $C_w^2 = 0.12\ m^{4/3}s^{-2}$
- $C_t^2 = 0.008\ Ks^{-2}$
- $\sigma_w = 0.5$ m/s
- $\sigma_{dt/dz} = 0$

Figur 1. Parametrar för att simulera ljudutbredningen hos Nord96 med Nord2000 [8].

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

De rekommenderade värdena svarar mot att Nord96 har en logaritmisk ljudhastighetsprofil, där ändringen är som störst närmast marken och sedan avtar succesivt med höjden, se Figur 2. Detta innebär en komplikation eftersom ljudspridningsberäkningarna i både CNOSSOS-EU och Nord2000 görs med linjära ljudhastighetsprofiler som ger enklare (och snabbare) beräkningar.



Figur 2. Ljudhastighetens variation med höjd över marken. Blå heldragen linje är den estimerade logaritmiska ljudhastighetsprofilen hos Nord96 enligt [8]. Röd streckad linje är den linjära ljudhastighetsprofilen för fallet med gynnsam utbredning enligt CNOSSOS-EU.

Nord2000 hanterar vädersituationer som leder till logaritmiska ljudhastighetsprofiler med en metod för att bestämma en ekvivalent linjär ljudhastighetsprofil [9]. Motsvarande går inte att göra i CNOSSOS-EU som är begränsad till att mixa två låsta ljudutbredningsfall med varandra: dels gynnsam ljudutbredning med en konstant ljudhastighetsgradient dc/dz = 0,07 s^{-1} (se Figur 2), dels neutral ljudutbredning (dc/dz = 0 s^{-1}) [10].

I Tabell 1 ges exempel på vad den ekvivalenta linjära ljudhastighetsgradienten blir när Nord96 simuleras i Nord2000 för några värden på källhöjd (h_S) och mottagarhöjd (h_R) som är vanligt förekommande vid beräkning av vägtrafik. Med en källhöjd på 0,05 m som i CNOSSOS-EU blir den ekvivalenta ljudhastighetsgradienten $\Delta c/\Delta z$ för de flesta vanligt förekommande mottagarhöjder större än de 0,07 s^{-1} som gäller för gynnsam ljudutbredning i CNOSSOS-EU.

Som en kompromiss föreslås att parametern occurrence of favourable conditions ansätts till p_f = 100% vid beräkning med CNOSSOS-EU så att beräkningar uteslutande görs med gynnsam ljudutbredning. Trots det kommer refraktionen hos CNOSSOS-EU i de flesta fall att vara mindre än i Nord2000-simuleringen, vilket främst bör ha betydelse för ljudnivåer beräknade över längre avstånd till låga eller måttliga mottagarhöjder och med icke-hård mark.

Godkänd av uppdragsgivare
Inväntar publicering

h_S (m)	h_R (m)	$\Delta c/\Delta z$ (s^{-1})
0,05 eller 0,01	1,5	0,42
0,05 eller 0,01	4	0,21
0,05 eller 0,01	12	0,09
0,3	1,5	0,32
0,3	4	0,17
0,3	12	0,08
0,75	1,5	0,23
0,75	4	0,13
0,75	12	0,06

Tabell 1. Exempel på gradient hos den ekvivalenta linjära ljudhastighetsprofilen, beräknad för Nord96 med metod i Nord2000.

2 Beräkningsmetodernas osäkerheter

Genomgången av osäkerheter nedan avser metodernas utbredningsmodeller, utom redovisningen för Nord96 som också inkluderar emission. För bedömning av en beräkningsmetods totala osäkerhet behöver även källmodellens osäkerhet vägas in. Därtill kommer osäkerheter som beror av indata, utförare och implementering i beräkningsprogramvara, faktorer som inte helt kan uteslutas har haft ett inflytande i samband med de nedan genomförda valideringarna även om särskild omsorg kan antas ha lagts ned för att minimera dessa bidrag i möjligaste mån.

Osäkerheter hos indata beror på kvaliteten hos det underlag som används, men också på hur det hanteras. För att minimera osäkerheter kopplade till utföraren behövs utbildning och erfarenhet, anvisningar, support etc. I Danmark erbjuds också certifiering för beräkningskonsulter, med uppdelning inom olika ämnesområden [11]. Implementering i programvaran kontrolleras mot typfall i den utsträckning sådana finns, och stöd för en kvalitetssäkrad implementering ges i ISO 17534.

Nord96 räknar endast A-vägda nivåer, CNOSSOS-EU gör beräkningarna i oktavbanden 63–8000 Hz, medan beräkningarna i NMPB 2008 och Nord2000 görs i tersbanden 100–5000 Hz respektive 25–10000 Hz [12][13][14][8]. De jämförelser mot mätningar och referensberäkningar som återges nedan redovisar A-vägda nivåer. Vissa av noteringarna om de lösningar som används i NMPB 2008 och Nord2000 återfinns även i [31].

Beräkningsmetoderna har validerats i olika hög grad. Andra grundläggande skillnader är att Nord2000 i högre utsträckning använder exakta teoretiska modeller för skärmning och markeffekt (hur direktljud interagerar med ljud som reflekteras i marken), utbredningsmodellen i Nord96 använder såväl empiriska modeller som förenklade varianter av validerade teoretiska modeller från 1970-talet [32][33] som efterhand justerats empiriskt, medan NMPB 2008 och CNOSSOS-EU är baserade på empiriska och semi-empiriska modeller för skärmning och markeffekt

Godkänd av uppdragsgivare
Ej för publicering

(den senare utgår från en exakt lösning). Nord2000, NMPB 2008 och CNOSSOS-EU tar alla hänsyn till luftabsorption med hjälp av ISO 9613–1, vilket Nord96 inte gör. En kortfattad genomgång av utbredningsmodellernas väsentliga delar samt av genomförda valideringar ges nedan.

Även källorna (antal och placering) som används för att modellera fordonen påverkar noggrannheten, se del 1 avsnitt 1.2.

Nuvarande version av Nord2000 är huvudsakligen från 2006, men inkluderar även senare uppdateringar. Nord96 är den andra revideringen av den modell som publicerades 1979 och CNOSSOS-EU har till stor del baserats på franska NMPB 2008 med rötter tillbaka till ISO 9613–2.

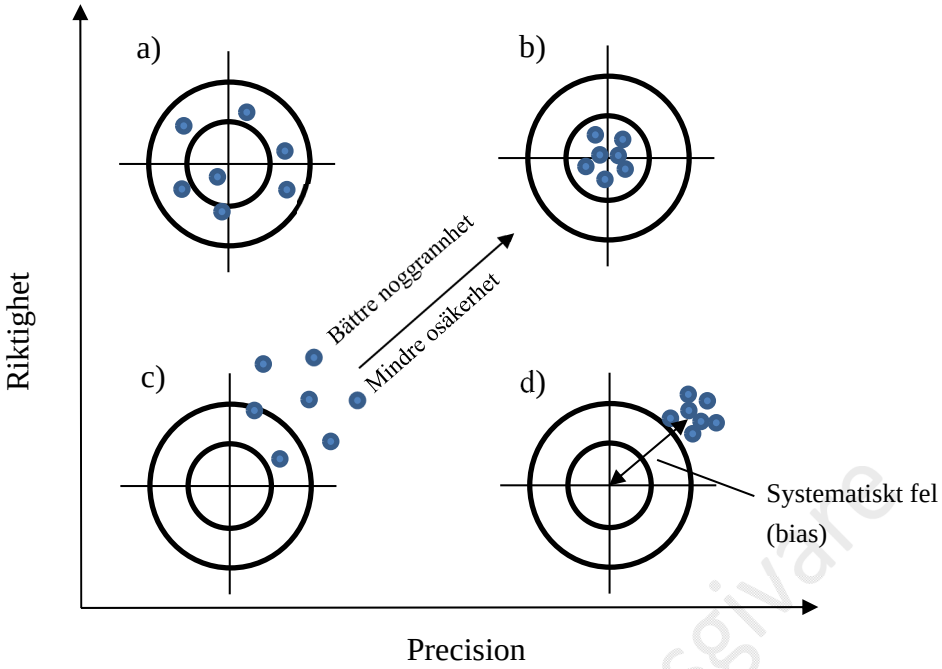
De tre beräkningsmetoderna har det gemensamt att ingen av dem kan beräkna ljudnivåer på slutna innergårdar och motsvarande med tillfredsställande noggrannhet[1]. Tvärtom bör man förutsätta att beräkningarna ger felaktiga värden, vilket är besvärande då flera svenska riktlinjer förlitar sig på möjligheten att förlägga bostadsrum mot en sådan avskärmad bostadssida. Den enda ingenjörsmetod som fungerar för att beräkna trafikbuller till innergårdar, Qside [29], finns i dagsläget inte implementerad i något kommersiellt beräkningsprogram.

2.1 Riktighet, precision och noggrannhet

Det föreligger ibland viss förvirring kring de begrepp som används för att kvantifiera hur väl mätningar eller beräkningar stämmer med ett idealt sant värde, och ordens betydelser har också varierat genom åren. Numera används begreppen *riktighet*, *precision* och *noggrannhet*, definitioner finns i SS-ISO 5725–1. Ett annat vanligt ord är mätosäkerhet, eller i detta sammanhang bara osäkerhet, som är ett motsatsord till noggrannhet. Se Figur 3 för en illustration.

Precision anger hur väl olika mätningar stämmer överens med varandra, men säger ingenting om hur väl resultatet stämmer med det sanna värdet. För att beskriva det senare används ordet riktighet, som beskriver förekomst av systematiska fel (kallas också bias). En kombination av hög precision och hög riktighet ger hög noggrannhet och låg osäkerhet.

[1] Tester har visserligen visat att det går att använda Nord2000 för att bestämma ljudnivå på en sluten innergård [28], men i praktiken är det inte möjligt i annat än mycket små modeller eftersom det kräver att beräkningen inkluderar ett så högt antal reflexer (ca 20 st) att minnesbehov och beräkningstider blir ohanterliga.



Figur 3. Illustration av begreppen riktighet, precision och noggrannhet med hjälp av träffbild vid pilkastning. I a) är precisionen dålig men riktigheten bra, medan d) har god precision men dålig riktighet. I c) är såväl precision som riktighet dålig, medan b) uppvisar bra riktighet och precision. De enskilda resultaten är noggranna i b) och mindre noggranna i a), c) och d. Störst osäkerhet återfinns i c) och lägst i b). Efter [30].

Man ser ibland att osäkerheten anges till xx dB. En sådan siffra kan betyda olika saker i olika sammanhang. Vid beräkning av omgivningsbuller avses ofta den totala standardavvikelsens storlek, d v s 1σ, som vid normalfördelning täcker in ca 68% av alla värden. Den *utvidgade osäkerheten* omfattar en högre andel av värdena, vanligt är att ange dubbla standardavvikelsen, 2σ, som täcker ca 95% av alla värden, eller 3σ som omfattar 99,7% av alla värden. Innebörden är att om osäkerheten anges till 3 dB kan ca en tredjedel av värdena förväntas avvika mer än 3 dB från det sanna värdet, och ett värde av tjugo kan förväntas avvika mer än 6 dB (förutsatt en statistiskt normalfördelad spridning).

2.2 Nord96

Nord96 utgör den andra revideringen av den beräkningsmetod för trafikbuller som först publicerades 1979 och som reviderades en första gång 1989 [15][16]. Uppdateringen 1996 innehöll justerade utgångsvärden och en tydligare beskrivning av val av reflektionsplan än föregångaren (i text och genom att rekommendera att reflektionsplanet identifieras med linjär regression i beräkningsprogram).

1979 hade persondatorer precis börjat göra entré på arbetsplatser men det skulle dröja några år innan de började användas på bred front. Med Nord96 går det, till skillnad från CNOSSOS-EU och Nord2000, bra att göra beräkningar utan programvara, med stöd av nomogram och enkla uttryck.

Godkänd för uppdragsgivare
Invänta granskning

Det kan vara en bidragande orsak till varför markeffekten i Nord96 är relativt grovt beskriven. Vid hård mark antar Nord96 helt enkelt att markkorrektionen är 0 dB. För mjuk mark anger Nord96 en approximativ korrektion: markkorrektionen för beräkningspunkter vars höjd över mark är lägre än 2 m sätts till –6 dB. Korrektionen minskas succesivt med ökande höjd till 0 dB när höjden över mark är minst en tiondel av avståndet till källan. Det saknas en metod för att hantera övergångar mellan mjuk och hård mark, och i fall med mjuk mark uppstår därför en diskontinuitet på upp till 6 dB när reflektionspunkten i marken går från den hårda vägytan till omgivande mark. Skärmning utvärderas med en approximativ formulering för tunna och hårda skärmar. Att källan placeras 0,5 m över vägytan innebär ett avsteg från verkligheten, eftersom en stor del av bullret utgörs av däckbuller som huvudsakligen emitteras nära vägytan.

I SP Rapport 2009:18 till Vägverket [7] skriver Hans Jonasson som utvecklade Nord96 följande:

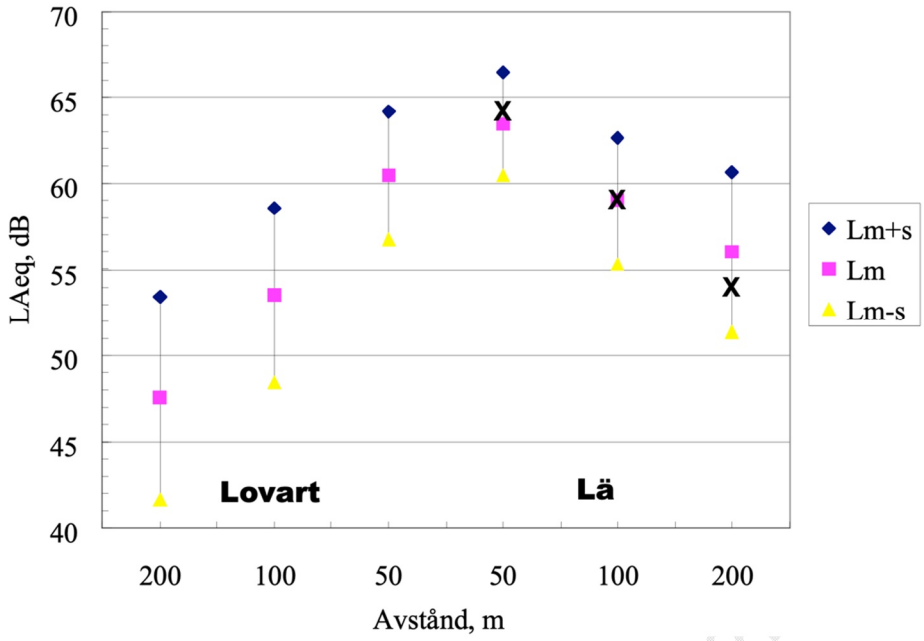
”Ursprungsmodellen togs fram för helt neutrala ljudutbredningsförhållanden, dvs. utan turbulens och med försumbara vind- och temperaturgradienter. Dessutom togs ingen hänsyn till luftdämpningen. Mjuk mark var en gräsmatta vid tekniska högskolan i Lund. Mycket av underlaget togs från en doktorsavhandling, [33]. Sedemera gjordes en del empiriska korrektioner av ljudutbredningsdata som dessförinnan förenklats till att gälla för A-vägt trafikbuller. Övergången till enbart A-vägda ljudtrycksnivåer har bidragit till att minska kopplingen till den fysikaliska verkligheten.”

Giltigheten uppges vara begränsad till avstånd ≤300 m vinkelrätt mot vägen, vid ingen eller måttlig medvind (0–3 m/s) eller motsvarande temperaturgradienter.

2.2.1 Valideringar av Nord96

I Nord96 rapportavsnitt ”Osäkerhet i beräkningsmodellen” hänvisas till en jämförelse med en långtidsmätning av oskärmat vägtrafikbuller från E4:an vid det Meteorologiska observatoriet i Marsta norr om Uppsala. I Figur 4 redovisas de uppmätta ljudnivåer som registrerats under med- respektive motvind med vindhastighet 1,5 ± 1,5 m/s. Mätningen gjordes 1,5 m över mark och vägen var upphöjd 1,1 m över omgivande platt jordbruksmark. Kryssen i figuren avser beräknade värden med den ursprungliga beräkningsmetoden från 1979. Om beräkningen istället hade gjorts med Nord96, som har lägre utgångsvärden, skulle ljudnivåerna blivit ca 1 dB lägre [12].

Godkänd av uppdragsgivare
Invänta publicering



Figur 4. Aritmetiskt medelvärde, L_m, och standardavvikelser, s, för L_{Aeq} vid 90 km/h normaliserat till samma antal fordon (1000 ekvivalenta lätta fordon per timma) på tre avstånd från en större väg med fritt trafikflöde. X indicerar beräknade värden. Alla vindhastigheter var 1,5 ± 1,5 m/s och antalet mätdagar 77. Ljudutbredningen skedde över mjuk mark. Från [7].

1997 gjordes en jämförelse mellan 174 mätta och beräknade värden baserad på insamlade, mestadels väldokumenterade, mätdata från Sverige, Danmark, Norge och Finland. Resultaten bekräftade slutsatsen ovan att Nord96 ger ca 1 dB lägre värden än 1989 års modell. Ljudnivåer beräknade med Nord96 var i medeltal ca 0,3 dB högre än uppmätta värden, standardavvikelsen för skillnaden mellan beräknade och mätta värden var 3,0 dB, och enskilda avvikelser låg mellan +14,7 dB och –7,3 dB. Dock konstaterades att mätunderlaget var alltför begränsat för att det skulle gå att dra detaljerade slutsatser om bl a mätningar på långa avstånd, maximalnivåer och skärmeffekt [17]. Det får ändå betraktas som en relativt god noggrannhet givet att det inkluderar både osäkerhet för källmodell och en viss (okänd) osäkerhet i mätningar.

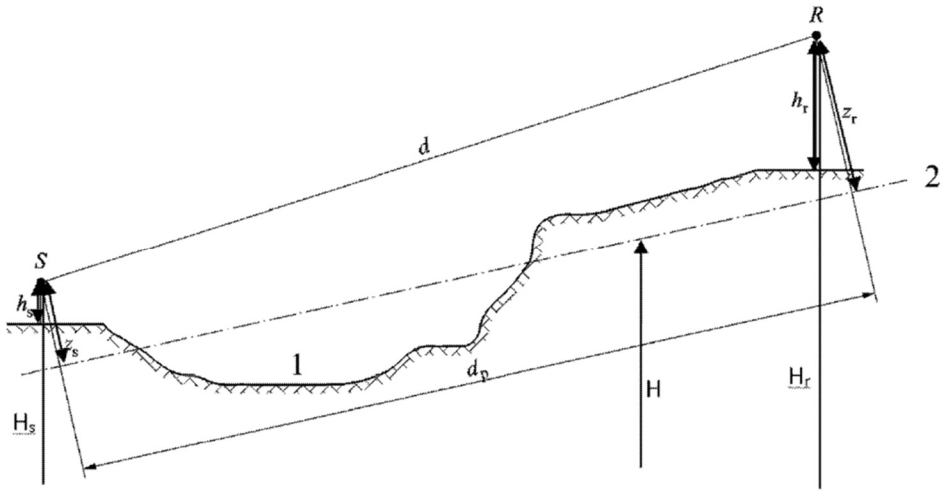
Tidigare jämförelser av Nord96 och Nord2000 har pekat på skillnader mellan metoderna, men metodens osäkerhet har inte studerats specifikt [18][7].

Sammanfattningsvis saknar Nord96 en bedömning om osäkerhet som omfattar hela utbredningsmodellen. Överensstämmelsen är visserligen tydligt redovisad för det fria utbredningsfallet i Figur 4, men resultatet gäller bara detta enda typfall. Vid undersökningen 1997 konstaterades en bias på ringa 0,3 dB med standardavvikelse 3,0 dB för ekvivalentnivåer i oskärmade lägen och med tonvikt på relativt korta avstånd (55% av mätningarna var utförda på avstånd <25 m och endast 20% på avstånd >100 m). För övriga beräkningsfall saknas dock regelrätta valideringar, även om det teoretiska arbete som ligger till grund för beräkningsmetoden verifierades mot mätningar.

2.3 NMPB2008 och CNOSSOS-EU

Utbredningsmodellen i CNOSSOS-EU är till stor del en kopia av den franska metoden NMPB 2008, men några delar har fått utgå. Då det är betydligt enklare att hitta belysande information om NMPB 2008 än om CNOSSOS-EU handlar nedanstående text till största delen om utbredningsmodellen i NMPB 2008. Det är delvis en empirisk metod, och vissa delar utgår från teoretiska modeller.

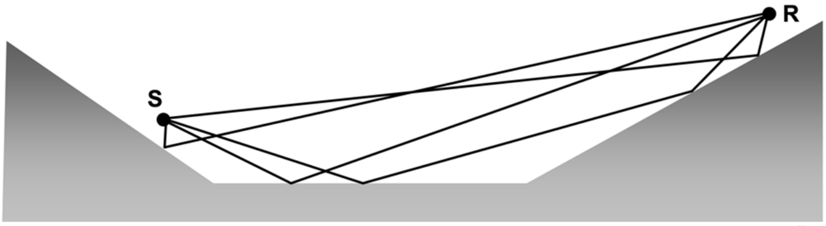
Den första versionen av NMPB som publicerades 1996 använde samma modell för markdämpning som ISO 9613–2, men i samband med revideringen 2008 justerades detta så att gynnsam ljudutbredning använder samma ekvationer som neutral utbredning, och istället kröker marken (omvänt mot ljudstrålarna) i motsvarande grad som refraktionen. Samtidigt uppdaterades modellen för skärmning (diffraktion) i syfte att ta hänsyn till olika spektra, samt att en empirisk korrektion för låga skärmar infördes (det senare saknas i CNOSSOS-EU) [34].



Figur 5. Val av reflektionsplan och ekvivalenta höjder i NMPB 2008 och CNOSSOS-EU vid frånvaro av skärm. Markens profil, hur den än ser ut, ersätts med ett enda reflektionsplan. En liknande metod används av Nord96. I ett fall med en skärm identifieras dock reflektionsplan på vardera sidan om skärmen.

Markeffekten (hur direktljud interagerar med markreflekterat ljud) beräknas med en approximation av samma formulering som används i Nord2000 (Chien och Saroka) som är begränsad till den första interferensen. Approximationen är optimerad för strykande infall och mjuk mark. Effektens högsta värde (lägsta dämpning) är begränsad till mellan 0 dB för mjuk mark upp till +3 dB när all mark är hård. Vid korta avstånd antas reflexen alltid hamna på vägytan även då omgivande mark inte är hård, och övergången till reflex på omgivande mark görs gradvis för att undvika en diskontinuitet. Resten av utbredningsvägen antas helt enkelt ha en och samma markabsorption som sätts till ett viktat medelvärde av de markabsorptionsvärden som passeras, istället för en modellering som inkluderar övergångarna likt den i Nord2000. Endast ett fåtal markabsorptionsfall hanteras.

Områden med hög absorption kan inte hanteras korrekt eftersom det högsta värdet, G=1, motsvarar 300 kPas/m^2, vilket innebär en begränsning. Det kan jämföras med impedansklass D i Nord2000 och Harmonoise som svarar mot 200 kPas/m^2, och då återstår i Nord2000 ytterligare tre klasser med högre absorption som representerar vanligt förekommande marktyper, se del 1 avsnitt 2.1.



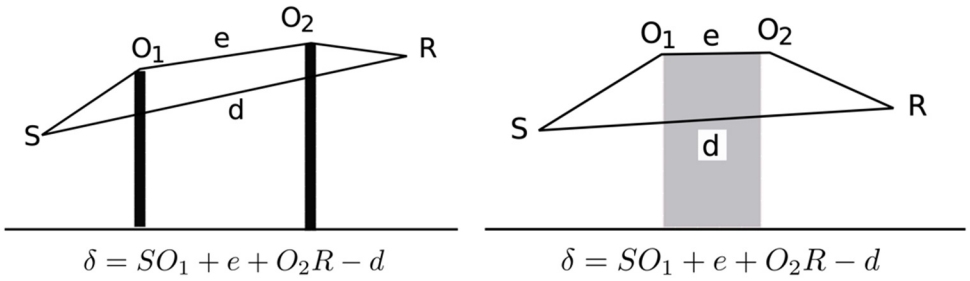
Figur 6. Principiell beskrivning av ljudutbredning tvärs över dalgång för att illustrera att det kan finnas mer än en reflekterad ljudstråle.

NMPB 2008 är, likt Nord96, inte lämpad för att beräkna ljudutbredning tvärs över dalgångar och motsvarande eftersom en sådan terräng kan behöva inkludera mer än ett reflektionsplan för att resultatet ska bli korrekt, se Figur 6. Detta görs inte i NMPB 2008 som istället approximerar dalgången med ett enda reflektionsplan.

Rent generellt kan NMPB 2008 inte ta hänsyn till markeffekter som orsakats av icke-platt terräng, med undantag för ett specialfall när vägen är placerad bredvid (och lägre än) en vägbank. För denna situation finns en särskild hantering av reflexer i vägbanken vid beräkning av ljudnivå i en mottagare placerad över vägbanken. Detta specialfall har dock inte tagits med i CNOSSOS-EU.

Skärmdämpning (diffraktion) beräknas approximativt med Maekawas formulering [35] som baseras på Fresneltalet N (N=2δ /λ, där *gångvägsskillnaden* δ är den ökning av ljudvägens längd som skärmen medför, och λ är våglängden [36]). Approximationen innebär att diffraktionsberäkningen förutsätter att skärmen är tunn och har en hård yta, vilket innebär en begränsning vid beräkning på objekt som bättre beskrivs med kilformade skärmar. Låga skärmar hanteras med en empirisk korrektion, som dock inte finns med i CNOSSOS-EU.

En annan begränsning med Maekawas formulering är att resultatet inte stämmer bra för branta vinklar, motsvarande kort avstånd mellan hög skärm och källa och/eller mottagare – d v s typiskt i de fall då det behövs en skärm med hög insättningsdämpning [37].



Figur 7. Dubbeldiffraktion i NMPB 2008 och CNOSSOS-EU. Till vänster två separata skärmar, till höger en tjock skärm.

Dubbeldiffraktion, se Figur 7, hanteras approximativt genom att beräkna Fresneltalet med en justerad gångvägsskillnad. Tjocka skärmars topp antas vara hård.

Skärmens påverkan på markeffekten hanteras med en spegelkällemetod, likt den i Nord2000. I fallet med dubbeldiffraktion tas dock ingen hänsyn till marken mellan skärmarna.

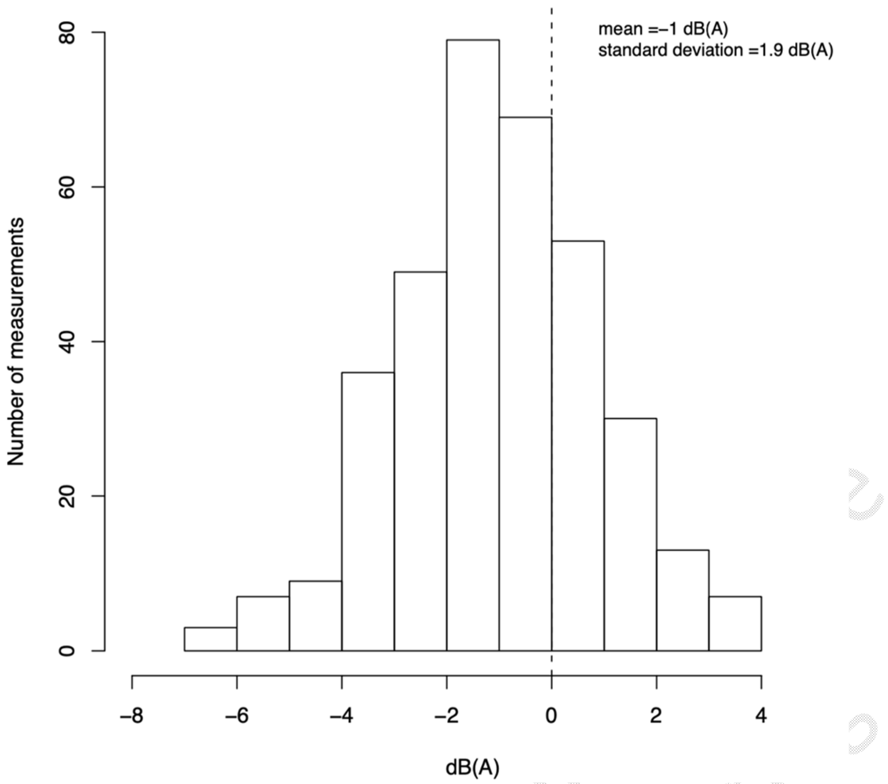
Endast två meteorologiska fall kan hanteras, neutral ljudutbredning och ett förbestämt fall med gynnsam ljudutbredning och konstant linjär ljudhastighetsprofil. Meteorologisk statistik beaktas genom att beräkna ett viktat energimedelvärde av ljudnivåer beräknade med dessa två. Stöd för logaritmiska ljudhastighetsprofiler saknas. Markeffekten hanteras genom att justera käll- och mottagarhöjd för att motsvara refraktionen. Turbulens hanteras med empiriska korrektioner (ej åtkomliga för användaren). Diffraktionen justeras för gynnsam ljudutbredning genom att gångvägsskillnaden δ justeras relativt refraktionen.

Den låga källhöjden, 5 cm över vägytan, bör fungera bra för att återspegla trafiksituationer då en stor del av bullret utgörs av däckbuller, och kan i jämförelse med Nord96 möjligen även bättre prediktera låga skärmars effekt på personbilar. Det kan dock samtidigt innebära att skärmeffekter överskattas i situationer då högre placerade källor, såsom motorljud från tunga fordon, utgör en större del av emissionen. Det senare är exempelvis aktuellt inne i tätorter där de mest omfattande bullerstörningarna uppträder, bl a längs bussgator där busstrafiken står för en stor andel av bullerstörningarna.

2.3.1 Valideringar av NMPB 2008

I samband med uppdateringen 2008 jämfördes utbredningsmodellen i NMPB 2008 mot ljudmätningar vid sex platser med olika geometri, kompletterat med beräkningar utförda med referensberäkningsmetoder, sammanlagt 310 beräkningar. De utvalda platserna är omgivningar till motorvägar och större vägar med enkla och tydliga terräng- och skärmningssituationer. Det sammanlagda resultatet redovisas i Figur 8 där man kan se att metoden för de undersökta fallen som medelvärde ger 1 dB lägre utbredningsdämpning än mätningar och referensberäkningar, och att standardavvikelsen uppgår till 1,9 dB.

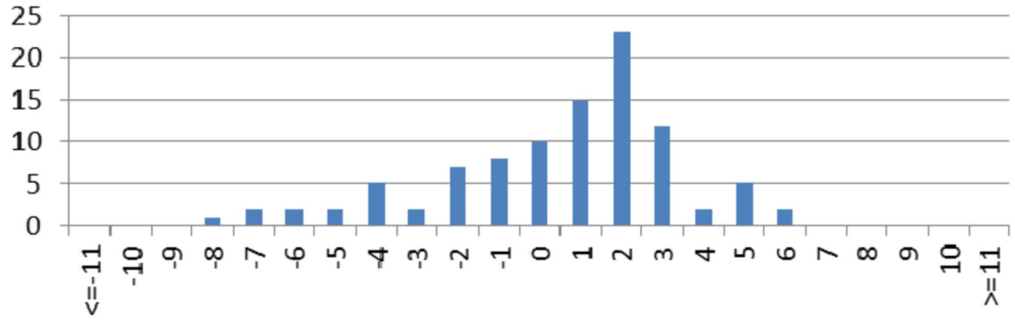
Godkänd av uppdragsgivare
Invänta publicering



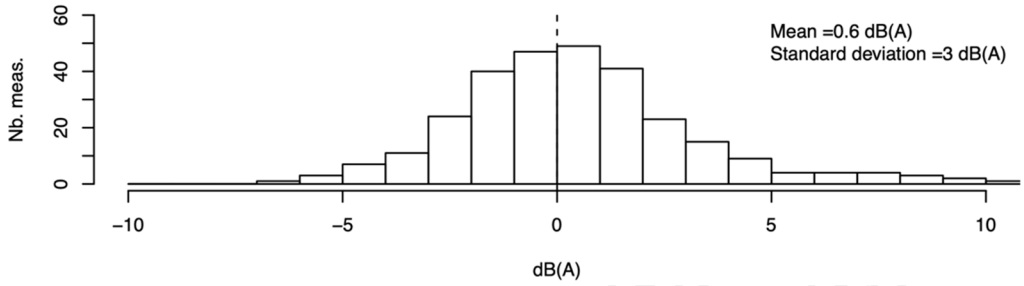
Figur 8. Histogram över skillnader i utbredningsdämpning mellan mätningar/referensberäknings-metoder och värden beräknade med NMPB 2008. Från [14].

2014 gjordes en utvärdering av utbredningsmodellen i NMPB 2008 genom jämförelse av 102 beräkningar mot uppmätta och beräknade ljudnivåer för 18 testfall som samlades in från Österrike, Frankrike (ett urval av testdata från den ursprungliga valideringen av NMPB 2008), Grekland och Italien [38]. Testfallen omfattade fri utbredning, olika markabsorption och meteorologi samt inkludering av byggnader och skärmar. Resultaten redovisas i Figur 9, där beräkningar med NMPB 2008 som medelvärde ger 0,5 dB högre nivå än mätningar, med 2,3 dB standardavvikelse.

I Figur 10 redovisas resultatet från ytterligare en utvärdering av utbredningsmodellen i NMPB 2008 [40]. Jämförelsen är baserad samma urval av testdata från den ursprungliga valideringen av NMPB 2008 som i undersökning [38], kompletterad med testdata från en site i Harmonoiseprojektet, sammanlagt 291 jämförelser. Den här gången beräknade NMPB 2008 som medelvärde 0,6 dB högre värden med standardavvikelse 3 dB.



Figur 9. NMPB 2008, fördelning avvikelser, från [38].



Figur 10. NMPB 2008, fördelning avvikelser, från [40].

2.3.1.1 Kommentar

De tre valideringarna gav alltså lite skiftande resultat. Avvikelsernas medelvärde varierar mellan –1 dB och +0,6 dB, medan standardavvikelserna ligger mellan 1,9 dB och 3 dB. Det är också troligt att utfallet påverkas av vilket underlag som valideringarna görs mot, där testfall som skiljer mycket från det dataunderlag som de empiriska modellerna är anpassade mot kan ge större avvikelser och vice versa. Mer komplicerade situationer ger sannolikt högre avvikelser. Ett problem med empiriska modeller är att de i strikt mening endast är giltiga för det dataunderlag som de baserats på.

De utvalda jämförelserna är antagligen representativa för många verkliga situationer med större trafikled, men lite större bredd i underlaget hade varit önskvärt, såsom exempelvis fler exempel på verkliga skärm- och vallkonfigurationer. Vidare hade det varit intressant att veta utfallet av några andra vanligt förekommande och relevanta situationer som beräkningsmetoden kan förväntas ha problem med, t ex hög skärm nära en väg, undulerande terräng (inte slät) eller ljudutbredning över dalgång. Därtill gärna en situation som jämför hur väl källkonfigurationen med endast en låg källhöjd (5 cm över vägytan) fungerar för tunga fordon i situationer med lägre skärmar.

NMPB 2008 anger giltigheten för modellen till 800 m vinkelrätt avstånd från vägen och med mottagaren placerad minst 2 m över mark[2]. Ingen av valideringarna är dock gjorda för detta avstånd; största mätavstånd i de undersökta fallen varierar mellan 220–550 m.

Resultaten från utvärderingarna anges som medelvärdets avvikelse och en standardavvikelse. I dessa ligger även ett visst bidrag från osäkerheter hos mätningarna, och osäkerheten som enbart beror på NMPB 2008 bör vara något mindre i de utvärderade fallen. Utan tillgång till det underliggande materialet är det svårt att väga samman resultaten från de tre utvärderingarna på ett bra sätt, t ex används några av de testade fallen i mer än en validering, men en uppskattning är att beräkningsosäkerheten hos utbredningsmodellen i NMPB 2008, sammantaget både avvikelse från ett sant medelvärde och standardavvikelse, är i storleksordningen[3] 2,5 dB (1σ) eller möjligen något lägre, förutsatt att de beräknade situationerna inte i väsentlig grad avviker från det som modellen har designats för att klara.

Osäkerheten bör variera mellan testfallen, men en sådan differentiering redovisas bara delvis i de studerade publikationerna, som generellt sett är något mindre uttömmande och transparenta än motsvarande redovisning för Nord2000.

Osäkerheten hos CNOSSOS-EU kan vara något högre än den hos NMPB 2008 eftersom den saknar den särskilda hantering av vägbankar och låga skärmar som finns i NMPB 2008. Därtill tillkommer att metoden endast är giltig för mottagare högre än 2 m över marken (gäller även NMPB 2008), vilket bör bidra till ökad osäkerhet om beräkningsmetoden används till inhemska beräkningar på 1,5 m höjd. En annan skillnad är att CNOSSOS-EU använder oktavband istället för tersband, samt har större frekvensområde än NMPB 2008, 63–8000 Hz jämfört med 100–5000 Hz, där de tillkomna frekvenserna inte ingått i utvecklingsfas eller valideringar av NMPB 2008, men det är oklart vilken betydelse det har för noggrannheten. I ett förarbete till direktivtexten [39] omnämns också att beräkningsmetoden inte omfattar ljudutbredning över vatten (såsom en sjö, bred flod, etc), vilket i och för sig verkar rimligt då metoden inte hanterar multipelrefraktion, men det är oklart varifrån informationen kommer då en så tydlig friskrivning saknas i NMPB 2008. Däremot hanterar NMPB 2008 enbart vind- och temperaturgradienter som varierar monotont med höjden och som inte varierar i horisontalled.

---

[2] Begränsningen till höjder >2 m över mark gäller därmed implicit även för CNOSSOS-EU. Detta omnämns av naturliga skäl inte i direktivtexten som förutsätter att ljudnivåer beräknas på höjden 4 m över marken. Det finns dock omnämnt i beskrivningen av CNOSSOS-EU från 2012 [39].

[3] Skattningen av osäkerheten för utbredningsmodellen i NMPB 2008 beräknades som

$$s_{tot} = \sqrt{\frac{1}{n_1+n_2+n_3}(n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2 + n_3 s_3^2) + s_{bias}^2}\ ,$$

där n_i är antalet mätningar/beräkningar från validering nr *i*, s_i är standardavvikelsen från validering nr *i*, och s_{bias} är standardavvikelsen beräknad från de tre undersökningarnas respektive medelvärden. Beräkningen ger s_{tot} = 2,6 dB vilket med hänsyn till att en uppskattad 1 dB stor mätosäkerhet ingår i värdet har avrundats till en skattad osäkerhet för utbredningsmodellen på 2,5 dB.

Sådana förhållanden kan egentligen bara förutsättas under vissa ideala förhållanden, som bl a exkluderar närhet till stora vattenvolymer.

2.4 Nord2000

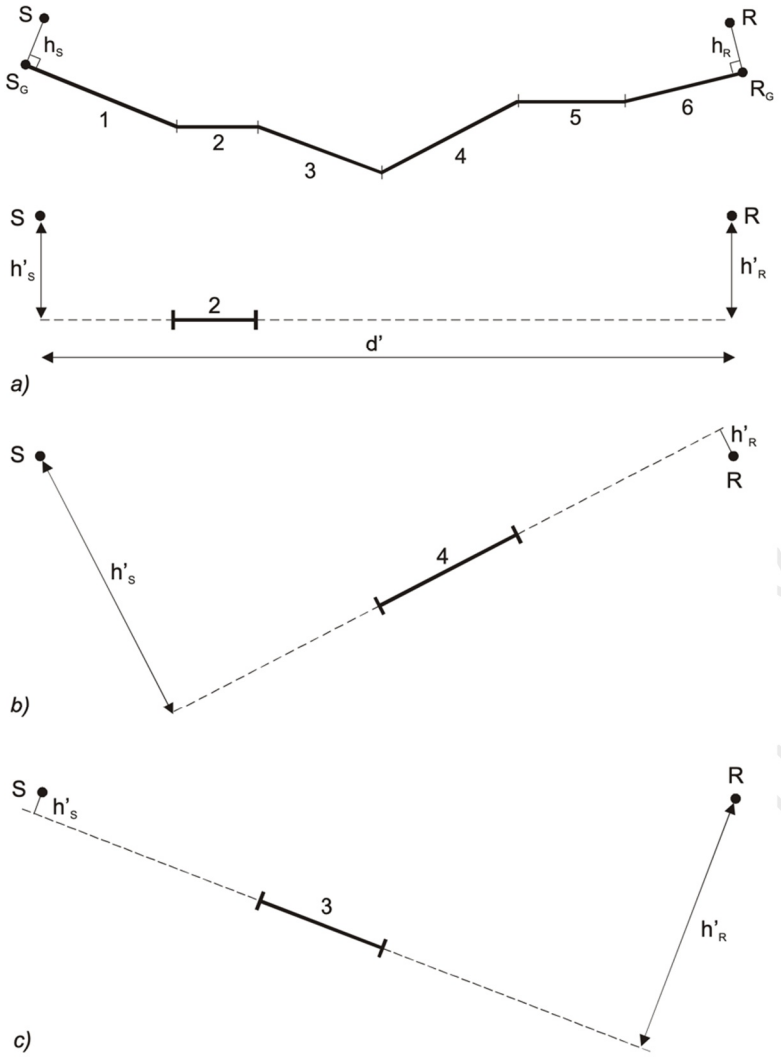
Inför utvecklingen av Nord2000 bestämdes att utbredningsmodellen skulle vara generell och gå att använda till olika typer av omgivningsbuller. Målsättningen var att ljudnivå skulle gå att bestämma med god noggrannhet på avstånd upp till 1000 m, och med acceptabel noggrannhet på avstånd mellan 1000–3000 m. Den skulle inte vara en empirisk metod utan i första hand baseras på teoretiska modeller. Första versionen av Nord2000 publicerades 2001 och en omfattande revidering 2006. Därutöver har några mindre uppdateringar gjorts.

Markeffekten beräknas med en formulering av Chien och Soroka [41] som kan hantera alla verkligt förekommande markimpedansvärden[4]. Markimpedansen beräknas från markens flödesmotstånd med Delaney och Bazleys impedansmodell för absorbenter (som dock inte omfattar vissa specialfall som exempelvis tvålagers vägbeläggningar eller mycket låga frekvenser). Vid övergångar mellan olika markimpedanser beräknas varje impedans separat och den sammanlagda effekten bestäms med Fresnelzonsvägning, vilket gör det praktiskt möjligt att hantera alla kombinationer av markimpedans.

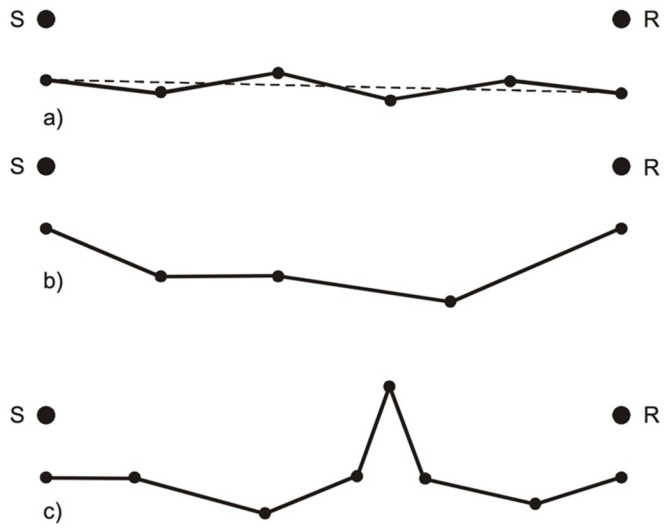
För att lösa problemet med val av reflektionsplan, som har direkt påverkan på markeffekten, används inte ett enda plan som i andra ingenjörsmetoder (t ex Nord96 och CNOSSOS-EU). Istället avsöks varierande terräng med hjälp av en segmenteringsmetod som kan hantera alla typer av terräng. En algoritm utvärderar terrängen och identifierar flera reflektionsplan som beräknas separat enligt ovan innan de vägs ihop. Exempel på segmentering redovisas i Figur 11–Figur 12.

Godkänd av uppdragsgivare
Invänta publicering

[4] Helt korrekt för rent resistiva impedanser.

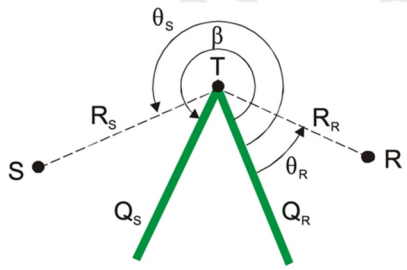


Figur 11. Exempel på hantering av reflektionsplan i Nord2000: segmentering av dalgångsformad icke-platt terräng (överst), samt bestämning av käll- och mottagarhöjder h'S och h'R för tre olika typer av segment. Från [41].



Figur 12. Exempel på terrängsegmentering: a) måttligt icke-platt terräng, b) dalgångsformad terräng, c) terräng med en skärm. Från [41].

Diffraktion (skärmning) beräknas enligt en lösning för diffraktion över kilar (Hadden och Pierce) som modifierats för att även kunna inkludera absorption/impedans på skärmens ytor. Skärmens påverkan på markeffekten hanteras med en spegelkällemetod. Även multipeldiffraktion hanteras men är begränsad till antingen två skärmar med var sin skärmtopp eller en (tjock) skärm med två kanter. Vid förekomst av mer än två skärmar i ljudets utbredningsväg kommer diffraktionen endast utvärderas för de två mest signifikanta, medan övriga skärmar enbart bidrar med reflektion.



Figur 13. Parametrar för diffraktion hos en kilformad skärm med ändlig ytimpedans. Från [41].

Nord2000 kan hantera alla meteorologiska förhållanden med konstant vertikal ljudhastighetsprofil, s k linjära ljudhastighetsprofiler, vilket simuleras med att ljudbanorna ges en cirkulär krökning. Logaritmiska ljudhastighetsprofiler hanteras med en metod som översätter till ekvivalenta linjära profiler. Refraktionen modifierar ljudstrålarnas höjd, längder och infallsvinklar innan diffraktion och markeffekt utvärderas. En särskild metod tar hand om fall då en mottagare nås av multipla ljudstrålar vid starkt nedåtriktad refraktion. Hänsyn tas till att skärmars insättningsdämpning minskar vid förekomst av turbulens. Inkluderad är även den i verkligheten förekommande spektrala utjämning som beror av att turbulens,

varierande refraktion och ytråhet minskar koherensen mellan direkt och markreflekterat ljud.

En heuristisk metod med Fresnelzoner används för att undvika diskontinuiteter.

En följd av att källmodellen i Nord2000 utgår från flera realistiska höjder är att noggrannheten ökar vid beräkning av skärmeffekt. Emissionen fördelas över två, eller ibland tre, bullerkällor på höjderna 0,01 m, 0,3 m, 0,75 m eller 3,5 m, där merparten av däck-/vägbanebullret emitteras från den lägsta bullerkällan medan motorljud huvudsakligen emitteras från de högre källorna.

Sammantaget kan utbredningsmodellen i Nord2000 förväntas prediktera väl i de allra flesta situationer, och får tillsammans med Harmonoise anses utgöra state of the art av ingenjörsmetoderna. Nord2000 har dock ett substantiellt försprång till Harmonoise efter praktisk användning under lång tid i framförallt Danmark, vilket har drivit på utvecklingen av metoden och bidragit till att bygga upp en erfarenhetsbas hos brukare.

2.4.1 Validering av Nord2000

En valideringsrapport över utbredningsmodellen publicerades 2006 [42], med redovisning av använda geometrier och andra ingångsdata, samt alla enskilda A-vägda differenser för de 544 testfallen, och för 134 av dem även tersbandsvärden. Valideringen avser modellen inklusive de ändringar som redovisas i de reviderade Nord2000-rapporterna från 2006.

Utvärderingen har gjorts med punkt-till-punktberäkningar, kompletterat med några beräkningar av L_{den} med linjekällor, som jämförts mot mätningar och resultat från beräkningsmetoder med högre noggrannhet. Testfallen har god omfattning och inkluderar utbredning över olika avstånd och på olika höjder, från mycket korta (3,5–4,5 m) upp till 1000 m, utbredning över platt, icke-platt respektive komplex terräng inklusive skärmning, vägbank, utvärdering av tunna/tjocka skärmar med olika höjder, dubbelskärm, ljudutbredning med/utan refraktion.

De utvärderade testfallen ger en standardavvikelse för enskilda resultat som uppgår till ca 1 dB (1σ) på avstånd upp till 400 m. För testfallen över 400 m (avstånd 500–1000 m), för vilka verifieringen enbart har kunnat göras för platt mark, uppgår standardavvikelsen för enskilda resultat till ca 2 dB (1σ).

I rapporten anges att valideringen är giltig för måttligt komplex terräng, såsom terräng med skärmar och icke-platt terräng med måttliga vindhastigheter (5 m/s). Högre osäkerheter kan förväntas vid mycket komplex terräng eller vid höga vindhastigheter.

2.5 Sammanfattning

Nord96 har en enkel modell för markeffekt som enbart skiljer mellan mjuk och hård mark, och som har diskontinuitetsproblem. Skärmmodellen baseras på

Godkänd av uppdragsgivare
Ej för publicering

approximativ formulering som fungerar bra för flacka infallsvinklar, men sämre för branta vinklar (hög skärm nära källa/mottagare). Komplett validering inklusive skärmning och maximalnivåer saknas. Osäkerhet inklusive källmodell är i storleksordningen 3 dB (1σ) eller något lägre för ekvivalentnivåer i oskärmade lägen och med tonvikt på relativt korta avstånd[5].

CNOSSOS-EU använder en approximativ formulering för markeffekt. Likt Nord96 utvärderas markeffekten med ett reflektionsplan, vilket i strikt mening endast fungerar för slät terräng, men inte vid exempelvis dalgångsformad terräng. Hanterar ett fåtal markabsorptionsvärden. Modellen för skärmning är baserad på samma approximativa formulering med tillhörande begränsningar som Nord96. Begränsad hänsyn tas till refraktion genom två fasta refraktionsfall. Baserat på tre valideringar av snarlika NMPB 2008 bedöms utbredningsmodellens osäkerhet till ca 2,5 dB (1σ) eller något högre, förutsatt att beräknad situation inte i väsentlig grad avviker från de validerade fallen. Detta motsvarar alltså att 95% av beräkningspunkterna kan förväntas hamna inom ±5 dB från korrekt värde. Validering över 550 m saknas. Metoden uppges vara giltig för höjder >2 m över mark och högst 800 m vinkelrätt avstånd från väg. Uppgift saknas om differentiering av osäkerhet för olika avstånd etc.

Nord2000 beräknar markeffekt med en exakt formulering och hanterar all vanligt förekommande markabsorption. Använder vid behov flera reflektionsplan för att utvärdera markeffekt. Diffraktion (skärmning) beräknas med en exakt lösning som utvidgats till att även inkludera absorption på skärmens ytor. En heuristisk modell med Fresnelzoner används för att undvika diskontinuiteter. Utbredningsmodellens osäkerhet har validerats till 1 dB för avstånd upp till 400 m respektive 2 dB för 400–1000 m (1σ). State of the art bland ingenjörsmetoder.

Ingen av metoderna klarar dock att räkna rätt till slutna innergårdar, vilket är besvärande då flera svenska riktlinjer förlitar sig på möjligheten att förlägga bostadsrum mot en sådan avskärmad bostadssida. Den enda ingenjörsmetod som löser det är Qside som i dagsläget inte är tillgänglig i någon kommersiell programvara.

Godkänd av uppdragsgivare
Invänta publicering

3 Status hos CNOSSOS-EU i SoundPLAN

Efter att direktiv 2015/996 hade publicerats initierade tyska Umwelt Bundesamt (UBA) ett arbete med att översätta CNOSSOS-EU till tyska och utveckla testfall för väg- och spårkällmodellerna samt utbredningsmodellen [22]. Arbetet utfördes av ett antal personer, däribland representanter för de tyska utvecklarna av Cadna, Immi, Lima och SoundPLAN. De framtagna testfallen användes sedan för att kvalitetssäkra denna ”tyska version” av CNOSSOS-EU enligt ISO 17534–4, ett

[5] Uppskattad osäkerhet härrör enbart från den validering som gjordes året efter att Nord96 publicerades. I beräkningsmetoden anges att giltigheten är begränsad till avstånd upp till 300 m från vägen, dock anges ingen osäkerhet för detta [12].

arbete som leddes av Wolfgang Probst vid Datakustik GmbH som utvecklar Cadna [23].

Vid sidan av det tyska arbetet publicerade därefter holländska RIVM en rapport som listar identifierade buggar och felaktiga skrivningar etc i direktivtexten, och ger förslag på hur de bör åtgärdas [24]. Innehållet i rapporten påverkar dock inte det arbete som gjorts i Tyskland eftersom man där redan åtgärdat de identifierade buggarna på samma sätt som var föreslaget i RIVM:s rapport.

SoundPLAN:s implementering av CNOSSOS-EU, som använts vid beräkningarna i denna rapport, uppfyller alla UBA- och ISO-testfall [25].

Utöver ovanstående identifierade buggar och andra felaktigheter har Dirk van Maerke vid franska CSTB tagit fram ett förslag på hur ljudutbredningsberäkningarna kan förbättras [26], vilket tillsammans med RIVM:s rapport har framlagts som ett officiellt EU-förslag till korrigeringar av CNOSSOS-EU. Detta är i skrivande stund ännu inte beslutat och ej heller implementerat i SoundPLAN. Även andra förslag till ändringar har diskuterats. Det kan inte uteslutas att beräkningsresultat framtagna med en kommande uppdaterad version av CNOSSOS-EU i någon grad kommer skilja från resultat beräknade med den version som använts i detta projekt. (EDIT: Europeiska kommissionen publicerade korrigeringar 2020-12-21 [27]. Ändringarna bedöms inte påverka resultaten som presenteras i denna rapport.)

Vad gäller officiella svenska anpassningar av CNOSSOS-EU, som exempelvis särskilda svenska emissionsdata, kan man räkna med att återförsäljaren för Norden och Baltikum, SoundPLAN Nord ApS (soundplan.dk), ombesörjer att de läggs in i SoundPLAN och distribueras via SoundPLAN:s uppdateringar, på samma sätt som det fungerat med nuvarande svenska beräkningsmetoder. Återförsäljaren söker inte aktivt efter sådana uppgifter, utan vanligen är det de svenska användarna som uppmärksammar att det kommit uppdateringar som de sedan vidarebefordrar till återförsäljaren. Det beskrivna förfarandet bör rimligen även gälla för andra program som är etablerade på svenska marknaden (främst CadnaA).

Copyrighted support software
Invantal Publications

4 Beräknade fall

Avsikten med de jämförande beräkningarna är att belysa i vilken utsträckning de tre beräkningsmodellerna kan förväntas ge olika resultat, samt vilken betydelse som valet av underlag för markabsorption/-impedans och väderlek har. Undersökningarna har utförts i modeller över två verkliga områden, Högsbo i Göteborg samt Lerum strax öster om Göteborg, kompletterat med en enkel modell med rak väg på platt mark, med och utan bullerskärm. Inverkan av markabsorption/-impedans undersöktes genom att använda några olika vanligt förekommande indata.

För Högsbo och Lerum beräknades L_{eq24h} och L_{den} som frifältsnormerade fasadnivåer och horisontella bullerkonturer (rasterberäkning[6]). I fallet med rak väg på platt mark beräknades L_{eq24h} som horisontella och vertikala bullerkonturer. Alla beräkningar har utförts med programvaran SoundPLAN version 8.1.

4.1 Översikt beräknade fall

En sammanställning över beräknade fall finns i Appendix 2, rapporten redovisar resultat från ett urval av dem. Vissa av de funktioner som finns i CNOSSOS-EU och Nord2000 har inte ingått i studien, t ex effekten av dubbdäck, korsningar med trafikljus och rondeller.

4.2 Studerade områden

4.2.1 Högsbo

Bostadsområdet Högsbo i Göteborg bedömdes vara ett lämpligt exempel eftersom det innehåller olika typer av byggnader, vägar, och bullerskärmar samt varierande terräng, se Figur 14. Belma Krslak på Miljöförvaltningen i Göteborg bidrog med ett utsnitt ur stadens SoundPLAN-modell. Modellen är ursprungligen framtagen för beräkningar i enlighet med EU:s omgivningsbullerdirektiv, och vägobjekten innehöll uppmätta trafikdata, fördelade över dag, kväll och natt. Den beräknade ytan är ca 30 Ha och hela modellen är ca 150 Ha. Genom det beräknade området passerar bl a Högsboleden som är en högtrafikerad genomfartsgata med ÅDT ca 20 000.

I SoundPLAN har varje beräkningsmetod sin egen attributuppsättning för de väg- och trafikdata som utgör indata till emissionsmodellen. Den erhållna SoundPLAN-modellen levererades med trafikdata för Nord96 medan attributen för CNOSSOS-EU och Nord2000 saknade innehåll. Informationen från Nord96 exporterades och sammanställdes i en dBase-fil med referenser till SoundPLAN-modellens vägobjekt. Trafikdata bearbetades i dBase-filen för att passa

[6] Beräkning av bullerkonturer omnämns ibland som rasterberäkning eftersom ljudnivåerna beräknas i punkter som placerats i ett rutnät med konstant avstånd mellan beräkningspunkterna. Bullerkonturerna skapas i efterhand med en grafisk algoritm som anpassar kurvorna till ljudnivåerna i rasterpunkterna.

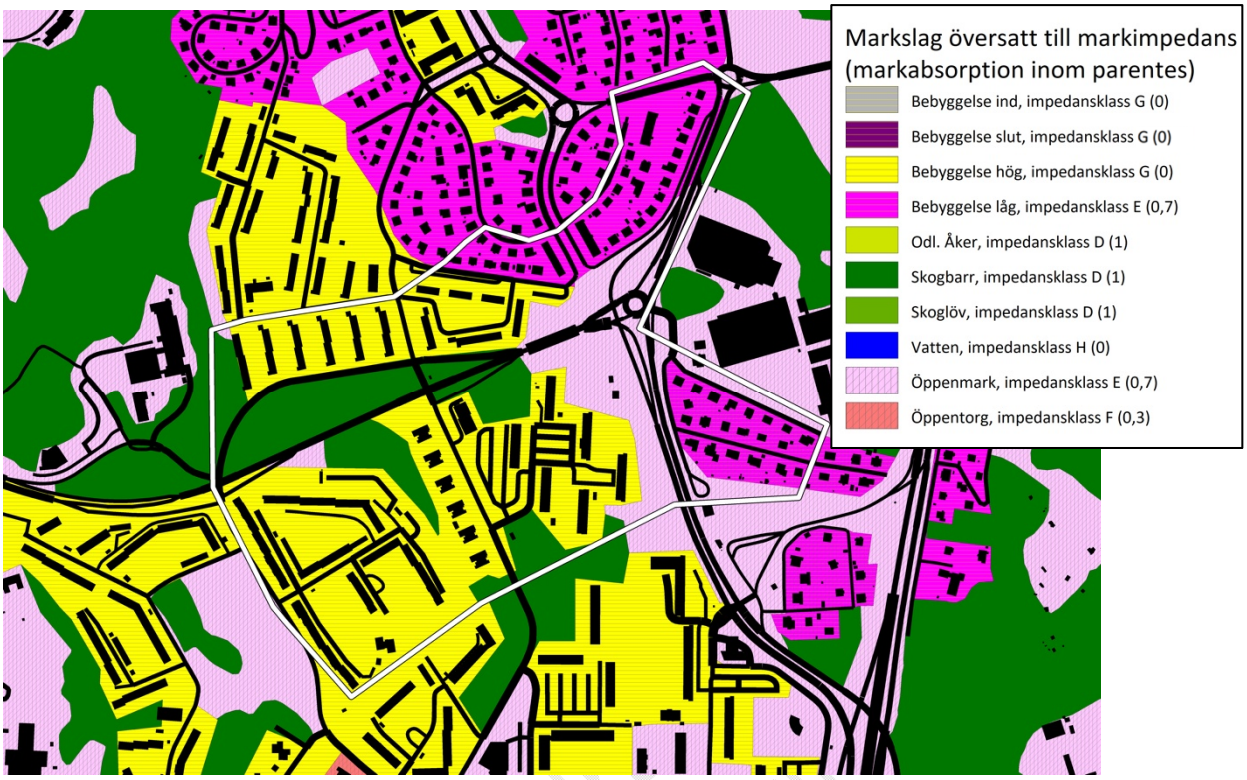
Godkänd av uppdragsgivare
Invänta publicering

CNOSSOS-EU och Nord2000, varvid bl a tunga fordon fördelades lika på fordonskategori 2 och 3. Slutligen lästes trafikdata tillbaka till SoundPLAN.

Markabsorption och -impedans baserades bl a på Fastighetskartan, vars områden översatts till ett absorptions-/impedansvärde enligt den metod som presenteras i del 1 avsnitt 2.1.1.3. Resultatet från mappningen redovisas i Figur 15.

Figur 14. Del av SoundPLAN-modellen över Högsbo i Göteborg. Ljudnivåer har beräknats inom det 30 Ha stora grönmarkerade området.

Godkänd
Inväntar



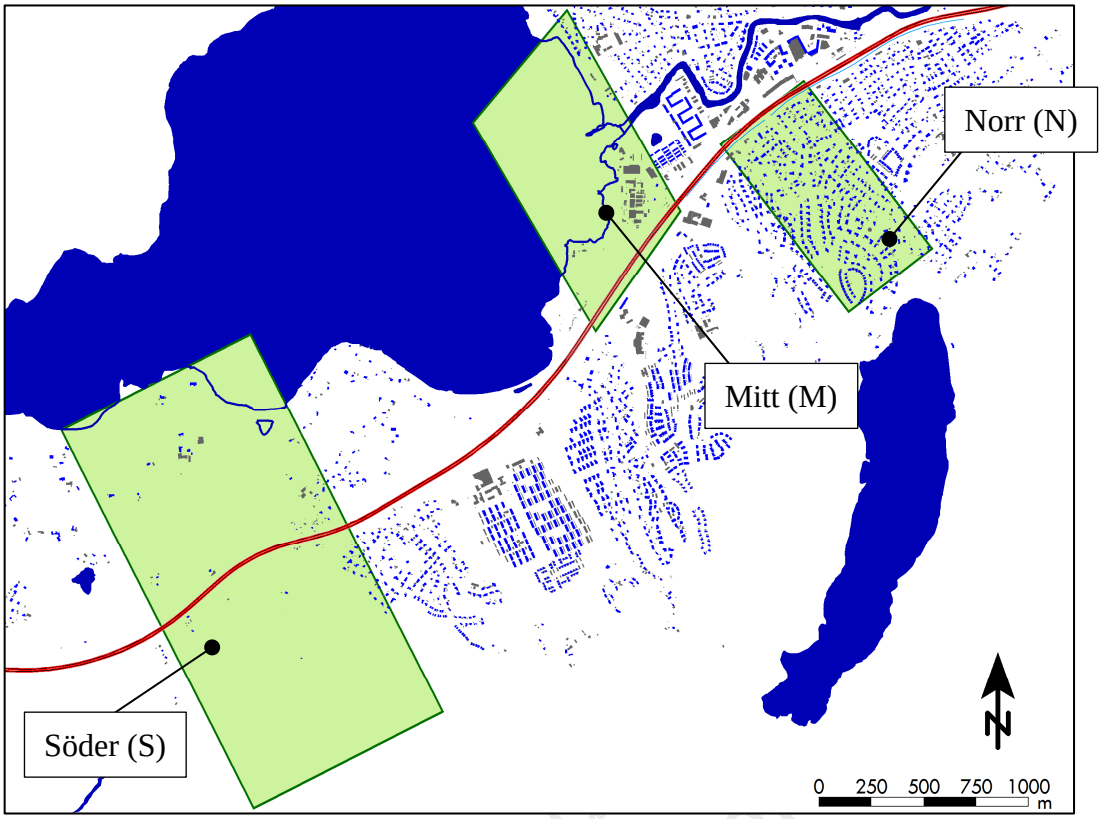
Figur 15. Högsbo, identifiering av markimpedans och markabsorption med hjälp av Fastighets-kartans markslag.

4.2.2 Lerum

Tre områden utmed E20 i Lerum kompletterar Högsbomodellen med ljudutbredning över lite längre avstånd, se Figur 16. Det första området (söder, betecknat S) är ca 200 Ha stort och utgör ett exempel på glesbygd med lite varierad terräng. Det andra ca 70 Ha stora området (mitten, betecknat M) är ett huvudsakligen platt område som innehåller ljudutbredning över en sjö. Det tredje området (norr, betecknat N) som omfattar ca 50 Ha är ett villaområde som breder ut sig på en höjd, och som skyddas av en bullerskärm utmed E20. Hela modellen omfattar ca 3 300 Ha.

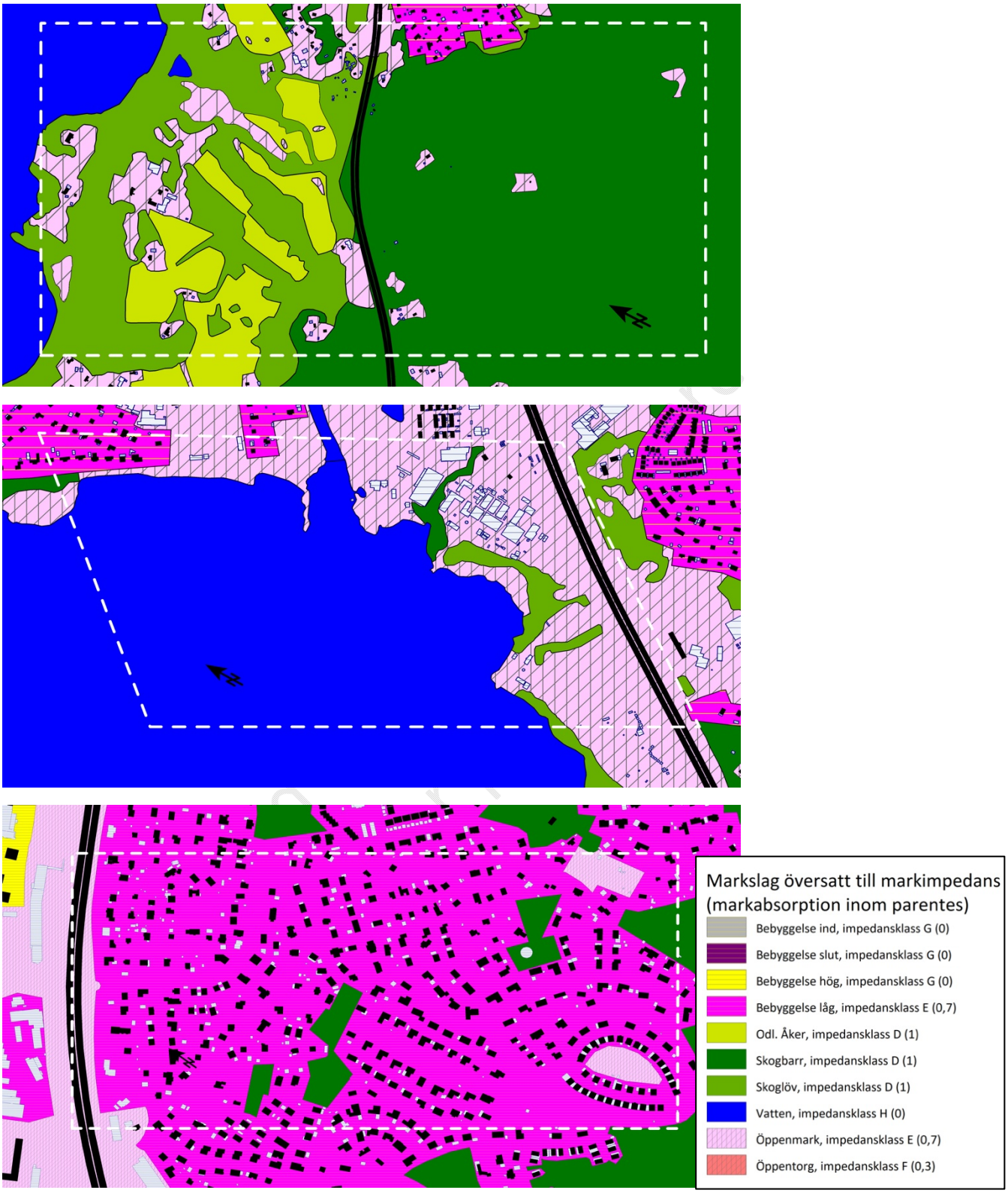
En kontinuerlig terrängmodell (DGM) beräknades med markmodellen från Laserdata. Byggnadsobjekt från Fastighetskarta höjdsattes med ytmodellen från Laserdata. På samma sätt som i Högsbo användes bl a Fastighetskartan för att definiera markabsorption och -impedans. Mappningen redovisas i Figur 17.

I syfte att förenkla modellen användes enbart E20 som bullerkälla i de tre Lerumområdena. Uppgifter om ÅDT (ca 37 000) och andel tunga fordon hämtades från NVDB. Fördelning av tunga fordon till fordonskategori 2 och 3 i CNOSSOS-EU och Nord2000 gjordes med en metod baserad på trafikuppgifter i NVDB som presenteras i del 1, avsnitt 1.1.3.2.



Figur 16. Tre beräknade områden utmed E20 i Lerum. Det södra området representerar glesbygd, mittenområdet innehåller ljudutbredning över vatten, och det norra området är ett villaområde som skyddas av en bullerskärm utmed E20.

Godkänd av uppdr
Inväntar publicer

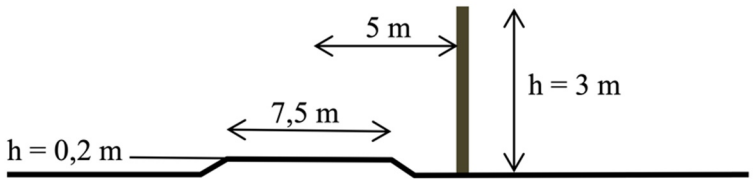


Figur 17. Lerum, identifiering av markimpedans och markabsorption med hjälp av Fastighetskartans markslag. Uppifrån: Lerum S, Lerum M och Lerum N.

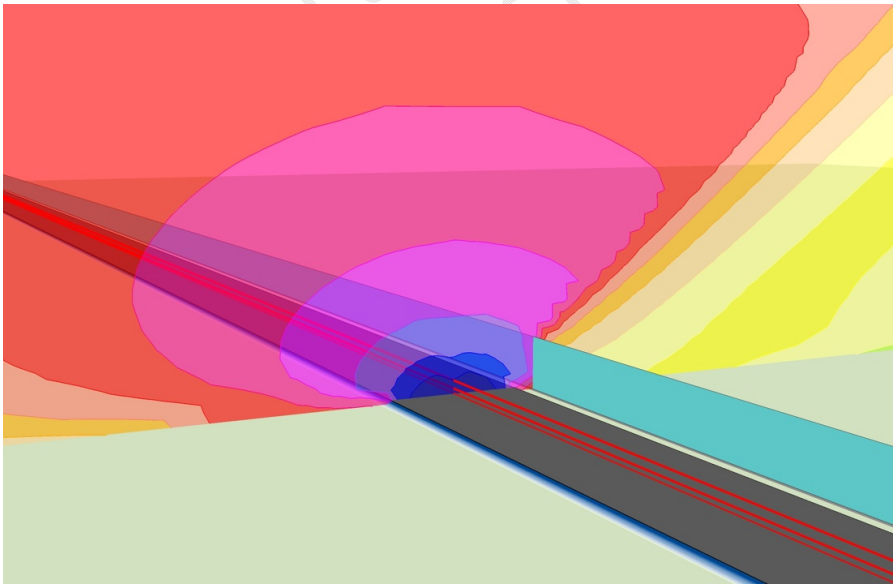
4.2.3 Typfall rak väg med skärm

Geometri för fallet med rak väg och skärm på platt mark redovisas i Figur 18 och Figur 19. Vägen är 7,5 m bred och upphöjd 0,2 m, med en linjekälla i vägmitt. Bullerskärmen är 3 m hög och placerad 5 m från vägmitt, se Figur 18. Ljudnivåer beräknades med mjuk (G=1 respektive impedansklass D) och hård mark (G=0, impedansklass G).

ÅDT var 1000 fordon/dygn med dygnsfördelning enligt trafikfall D i [43], varav 10% tunga fordon (Nord96), respektive 5% i vardera fordonskategori 2 och 3 (CNOSSOS-EU och Nord2000). Fordonskategori 3 hade 4 axlar vid beräkning med Nord2000. Hastigheten var 70 km/h. Vägytan var torr SMA 16 med temperatur 15 °C, och inga fordon hade dubbdäck. Emissionerna hos CNOSSOS-EU och Nord2000 korrigerades i enlighet med [3].



Figur 18. Geometri för testfallen med rak väg och bullerskärm (ej skalenligt). Vägen som är 7,5 m bred är upphöjd 0,2 m över omgivande platt mark, och har en linjekälla placerad vid vägmitt. Den 3 m höga bullerskärmen är placerad 5 m från vägmitt. Väg- och skärmlängd var 10 km vid beräkning av vanliga (horisontella) bullerkonturer, respektive 500 m vid beräkning av vertikala bullerkonturer. Beräkningarna gjordes vid halva väglängden.



Figur 19. Rak väg med skärm, här med ett exempel på vertikala bullerkonturer beräknade med Nord2000. Eftersom dessa beräkningar gjordes utan reflexer påverkades ljudutbredningen på vägens oskärmade sida inte av bullerskärmen.

4.3 Emission

Vid beräkningarna har emissionen hos Nord96 varit den inbyggda, vilket motsvarar en vägyta med SMA 16.

Till beräkningarna med Nord2000 och CNOSSOS-EU har de svenska emissionskorrektioner som mättes upp 2015 använts [3]. För CNOSSOS-EU motsvarar de svenska korrektionerna vägyta SMA 16. Korrektionerna för Nord2000 gäller istället referensvägytan, varför en vägytekorrektion +1,55 dB adderades för att motsvara SMA16.

För CNOSSOS-EU utfördes även testberäkningar med den ursprungliga emissionen, så som den är definierad i direktivtexten (avsnitt 5.1.1). De här beräkningarna gjordes med CNOSSOS-EU:s referensvägyta eftersom de vägytekorrektioner som finns med i direktivet inte omfattar SMA 16. Referensvägytan ger lägre nivåer än SMA 16.

4.4 Markabsorption/-impedans

De olika underlag för definition av markabsorption eller markimpedans som prövats är:

- Fastighetskarta översatt till markabsorption och markimpedans enligt metod i del 1.
- Vattenytor akustiskt hårda (G=0, impedansklass H), i övrigt mjuk mark (G=0 respektive impedansklass D), avser motsvara schablonhantering utanför stadskärnor enligt kartläggningsanvisningar [43].
- Enbart hård mark (G=0 respektive impedansklass G), avser motsvara schablonhantering av stadskärnor enligt kartläggningsanvisningar.
- Simulering snö (G=0 respektive impedansklass A).
- Fastighetskarta översatt till markabsorption och markimpedans, men med begränsningen att värdena avrundades till hård respektive mjuk mark (G=0 respektive 1, samt impedansklass G respektive D, samt impedansklass H för vatten). Detta simulerar bestämning av markabsorption med okulär bedömning av ortofoton.
- Enbart mjuk mark (G=1 och impedansklass D), endast i fallen med rak väg.

4.5 Meteorologi (för refraktion)

Följande meteorologiska underlag har prövats:

För Nord96 har beräkningar endast utförts med den inbyggda, lätt gynnsamma, ljudutbredning som inte går att justera[7].

[7] I SoundPLAN ges viss möjlighet att korrigera för refraktion i enlighet med ISO 9613–2 eftersom en sådan funktion efterfrågades i samband med den första omgången av den strategiska bullerkartläggningen. Det är dock en separat funktion som inte ingår i Nord96.

Flertalet av beräkningarna med CNOSSOS-EU har utförts med den schablon som utgår från att gynnsam ljudutbredning förekommer 50% av tiden på dagen, 75% på kvällen och 100% på natten, d v s med *occurrence of favourable conditions* p_f = 50/75/100% för dag/kväll/natt (se del 1 avsnitt 3.1). Siffrorna avser ett årsmedeldygn och förutsätter samma fördelning i alla väderstreck.

Dessa har kompletterats med p_f-värden baserade på verklig meteorologisk statistik för två franska städer, Nantes som ligger nära västkusten, och Montélimar som är beläget väster om franska Alperna, se del 1 avsnitt 3.1.

Beräkningar har också gjorts med enbart neutral (p_f = 0%) respektive enbart gynnsam ljudutbredning (p_f = 100%).

För merparten av beräkningarna med Nord2000 användes dels parametrar för att simulera den refraktion som finns inbyggd i Nord96, samt dels den danska officiella väderstatistiken baserad på fyra utbredningsklasser som fick representera verklig väderstatistik. Separata beräkningar har bl a också gjorts för var och en av de fyra danska utbredningsklasserna.

4.6 Beräkningsinställningar

Använda beräkningsinställningar för bullerkonturer (grid noise map) och fasadnivåer redovisas i Tabell 2. Dock beräknades horisontella och vertikala bullerkonturer utan reflexer för fallet med rak väg och skärm, och där användes grid space=0,2 m för de vertikala bullerkonturerna.

Eftersom avsikten har varit att hinna studera relativt många varianter valdes inställningarna för avsökningsalgoritmen så att beräkningstiderna inte blev alltför långa. Dessutom begränsades antalet fasadpunkter till en per fasad. Samma beräkningsinställningar har använts genom hela utredningen.

	Grid noise map	*Facade noise map*
Reflection order	2	3
Maximum search radius	2000 m	3000 m
Maximum reflection distance receiver	50 m	200 m
Maximum reflection distance source	50 m	50 m
Allowed tolerance	0,5 dB	0,1 dB (Högsbo) 0,4 dB (Lerum)
Allowed tolerance holds for total result	yes	yes
Create ground effect areas from road surfaces	yes	yes
Grid space	5 m	one receiver in center of facade

Tabell 2. Beräkningsinställningar i SoundPLAN version 8.1.

Godkänd av uppdragsgivare
Använd för publicering

Ekvivalenta ljudnivåer beräknades som L_{Aeq24h}, L_{den}, L_{day}, $L_{evening}$, och L_{night}. Horisontella bullerkonturer har beräknats på höjderna 1,5 m eller 4 m över mark och fasadnivåer har beräknats på höjden 4 m över mark alternativt per våningsplan.

5 Resultat

Ljudnivåer har beräknats som bullerkonturer och fasadnivåer. Jämförelserna av olika underlag för strategiska beräkningar i avsnitt 5.1 har baserats på L_{den} på 4 m höjd. Övriga jämförelser i avsnitt 5.2–5.3 avser inhemska beräkningar och är främst baserade på beräkningar av L_{Aeq24h} per våningsplan respektive bullerkonturer på 1,5 m höjd. Dock redovisas i avsnitt 5.3.3 även jämförelser mellan hur CNOSSOS-EU och Nord2000 beräknar L_{den} som bullerkonturer på 1,5 m höjd respektive fasadnivåer per våningsplan, för att belysa hur skillnaderna skulle se ut om inhemska utredningar baserades på L_{den} istället för L_{eq24h}.

Jämförelser mellan två beräkningsresultat redovisas som fördelningar, tillsammans med medelvärde, standardavvikelse, samt max- och minvärde. Resultat från jämförelse mellan två beräknade bullerkonturkartor redovisas också som skillnadsplottar.

5.1 Underlagets betydelse vid strategisk kartläggning med CNOSSOS-EU

Betydelsen av val av underlag för markabsorption och refraktion undersöktes genom att beräkna L_{den} 4 m över mark i Högsbo- och Lerum-modellerna med några olika underlag. Därtill har svenska emissionsdata jämförts med direktivtextens ursprungliga data i två olika fall.

Följande underlag för markabsorptionen prövades:

- Fastighetskartan,
- Fastighetskartan med begränsning enligt avsnitt 4.4 för att simulera okulär identifiering av markabsorptionen,
- en schablon hämtad från kartläggningsanvisningar i [43] där mark i stadskärnor (approximeras som områden där exploateringstalet e>1) antas vara hård (med undantag för parkområden) och övrig mark generellt ansätts som mjuk bortsett från vatten och vägytor,
- samt även ett test av inverkan från snötäckt mark då hela modellen antogs ha mjuk markabsorption.

Påverkan av indata för refraktion undersöktes med jämförelser mellan ljudnivåer beräknade med schablonvärden för p_f, respektive med verklig väderstatistik hämtade från två franska städer.

Godkänd av uppdragsgivare
Invantar publicering

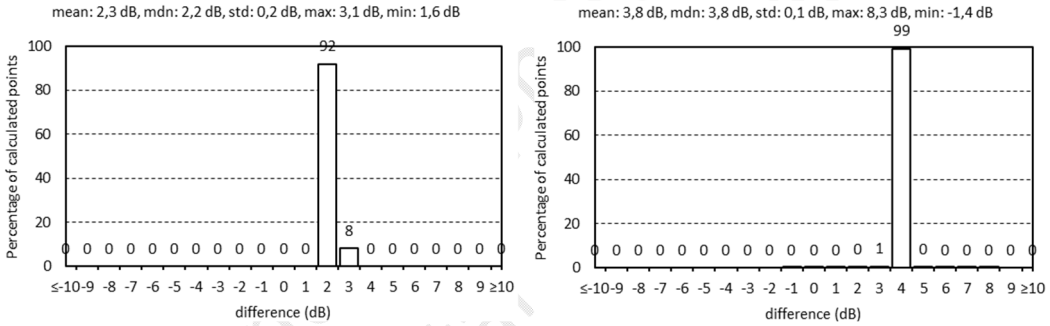
5.1.1 Emissionsdata CNOSSOS-EU – direktiv 2015/996 relativt svenska mätningar

De emissionsdata som redovisas i CNOSSOS-EU [13] ger generellt lägre beräknade ljudnivåer än de svenska mätningarna från 2015, och även hastighetsberoendet avviker.

I Figur 20 redovisas två jämförelser från beräkningar av L_{den} på 4 m höjd. Fördelningarna visar skillnad i ljudnivå beräknad med svenska emissioner och vägyta SMA 16, minus de ursprungliga emissionerna och referensvägyta (en 50/50 mix av DAC 11 och SMA 11 som ger lägre ljudnivå än SMA 16).

Den vänstra fördelningen avser resultat från Högsbomodellen där de huvudsakliga bullerbidragen kommer från vägar med hastighetsbegränsning 50 km/h. I den högra fördelningen från det södra området i Lerum härrör bullret från E20 med hastighetsbegränsning 100 km/h (för fordonskategori 2 och 3 sattes hastigheten till 80 km/h).

Skillnaderna är +2,3 dB för Högsbo respektive +3,8 dB för Lerum (högre ljudnivå med svenska emissioner och SMA 16).



Figur 20. Fördelning av skillnader mellan två beräkningar av L_{den} på 4 m höjd med CNOSSOS-EU – en beräkning med korrektion för svenska fordon och SMA 16 enligt [3], minus en beräkning med emissionsdata och referensvägyta enligt direktiv 2015/996.
Till vänster: Högsbo, till höger Lerum.

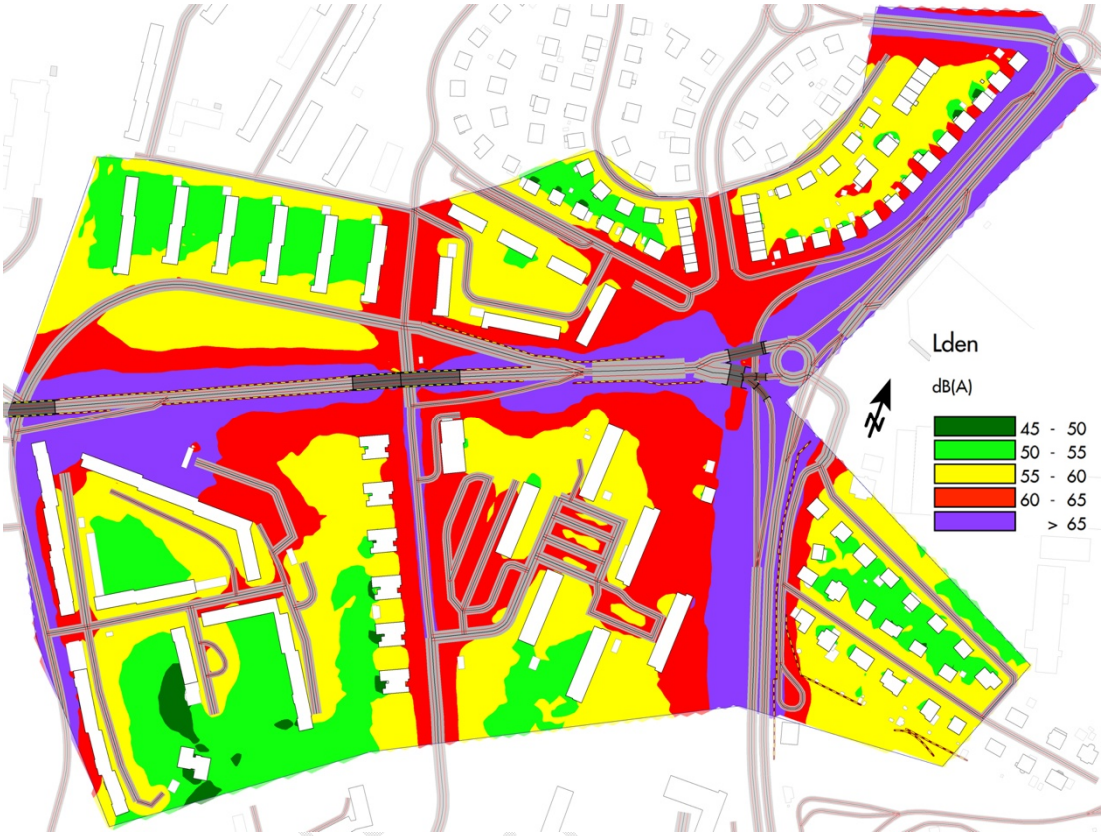
5.1.2 Utgångsläge undersökning markabsorption och refraktion

Beräkningarna har gjorts med svenska emissionsdata och vägyta SMA 16 enligt [3].

Som referens valdes markabsorption som definierats med Fastighetskartan enligt den metod som redogörs för i del 1 avsnitt 2.1.1.3, vilket jämte att bestämma markabsorptionen med hjälp av Nationella Marktäckedata i den här jämförelsen antas vara det noggrannaste tillvägagångssättet. Vid jämförelsen i avsnitt 5.1.8 av olika indata för refraktion i Högsbomodellen prövades dock istället två olika schabloner för markabsorption som referens, där den ena motsvarar mark i stadskärna (e>1) och den andra mark utanför stadskärna (e≤1).

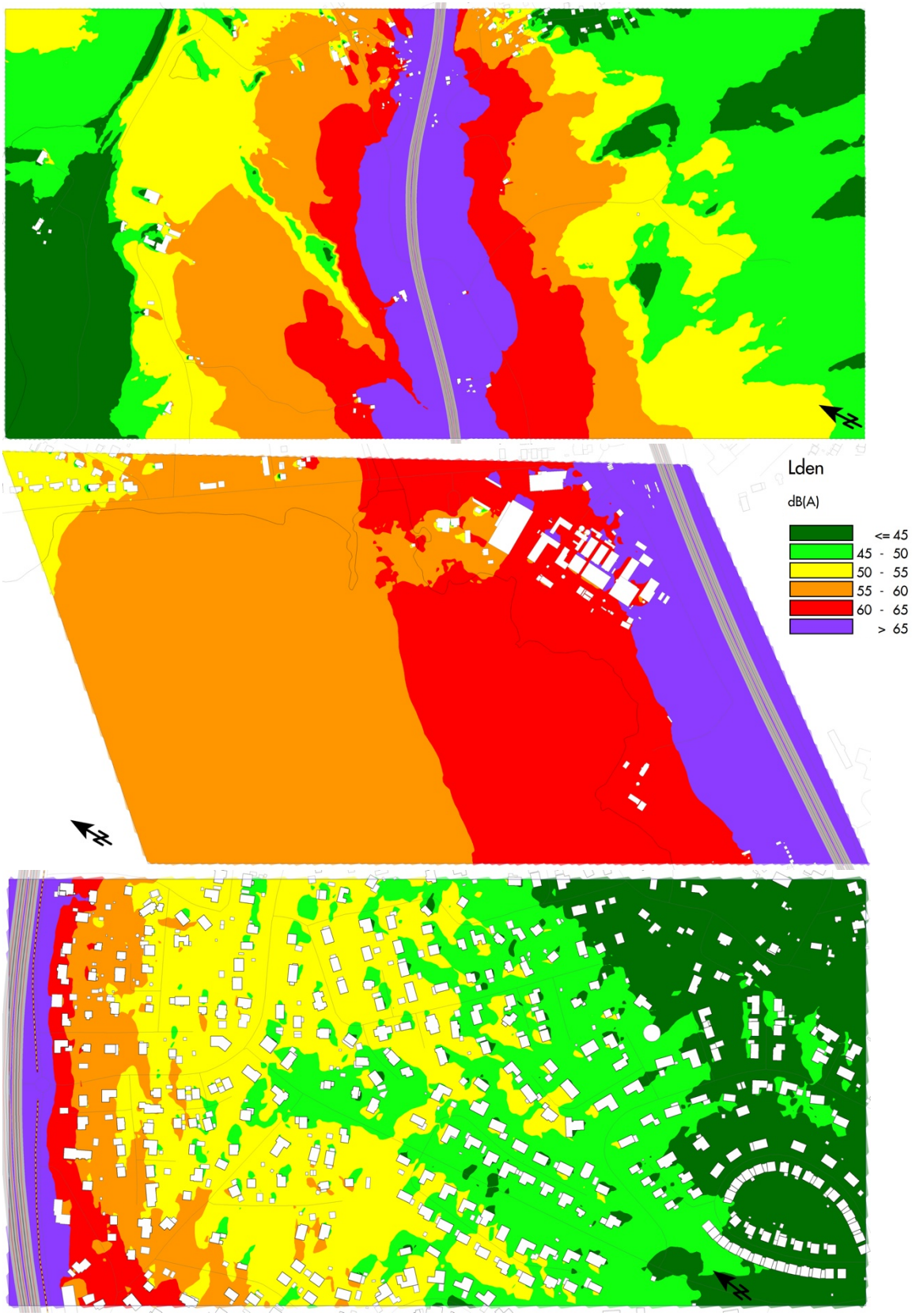
Schablonvärdena p_f = 50/75/100% dag/kväll/natt valdes som referensfall för beräkning av refraktion eftersom det är det alternativ som finns tillgängligt för svensk strategisk kartläggning i dagsläget.

Ljudnivåer beräknade med detta underlag redovisas i Figur 21 och Figur 22.



Figur 21. Högsbo, L_{den} 4 m över mark beräknad med CNOSSOS-EU. Markabsorption modellerad med fastighetskarta enligt metod i del 1, refraktion beräknad med schablon pf = 50/75/100%.

Godkänd
Inväntar

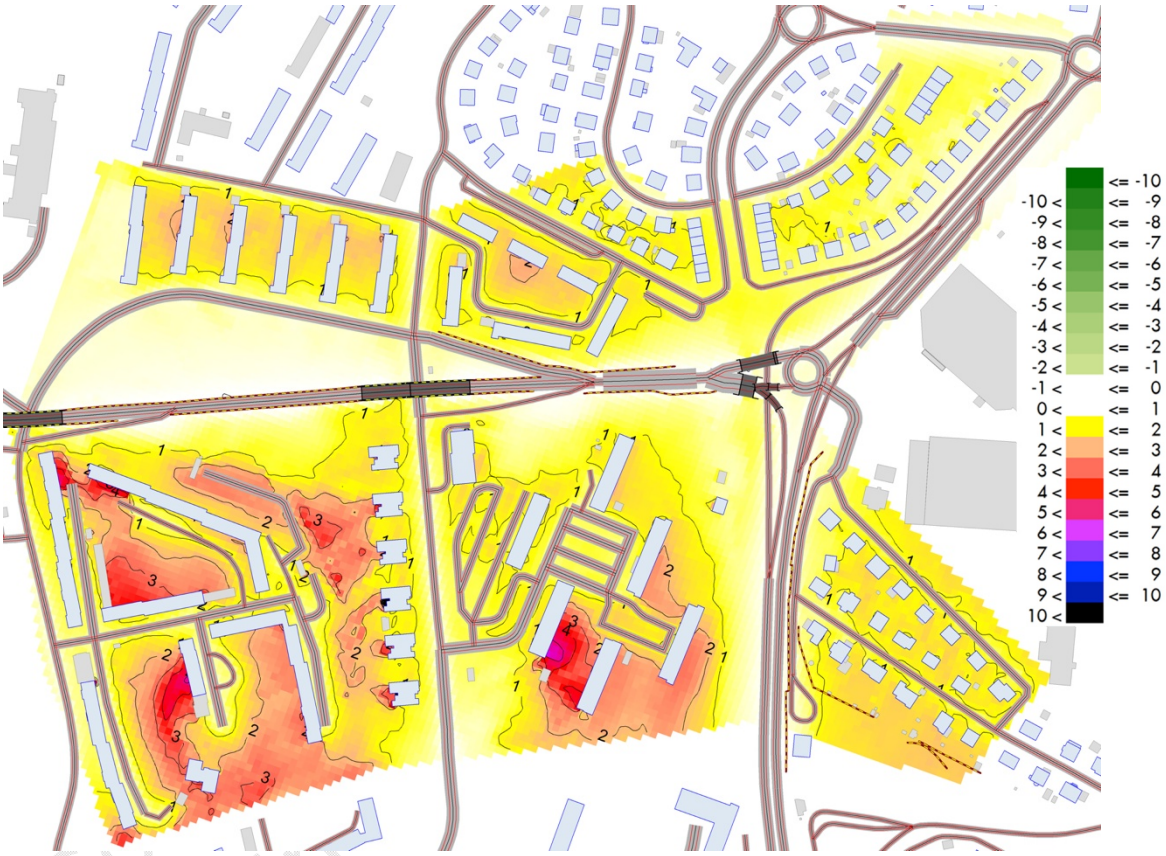


Figur 22. Lerum N, Lerum M och Lerum S (uppifrån räknat), L_{den} 4 m över mark beräknad med CNOSSOS-EU. Markabsorption modellerad med fastighetskarta enligt metod i del 1, refraktion beräknad med schablon pf = 50/75/100%.

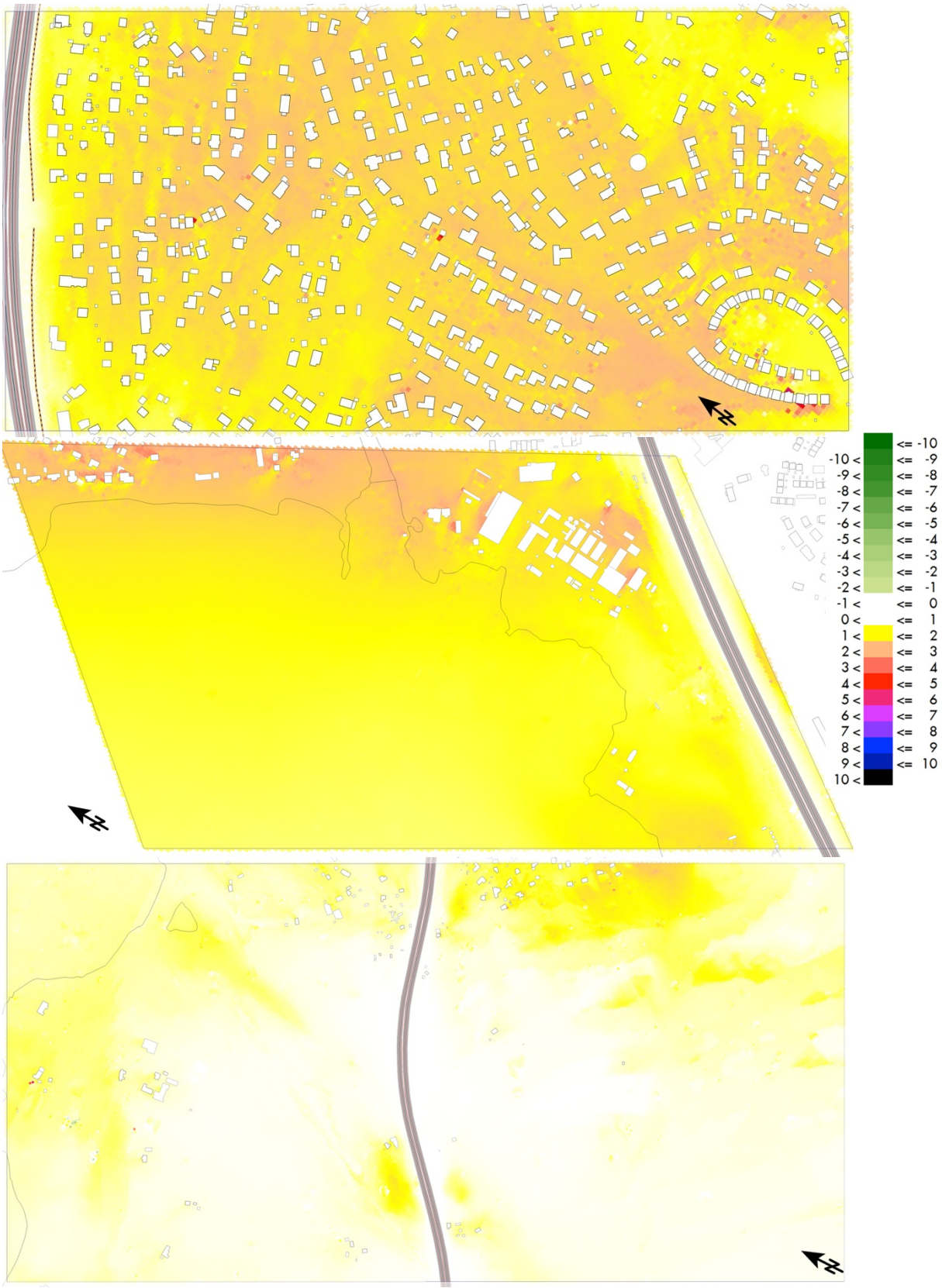
5.1.3 Markabsorption enligt schablon i SP Rapport 2010:77, exploateringstal ≤1 (ej stadskärna)

Här har markabsorptionen bestämts med hjälp av en schablon i [43] där mark utanför stadskärnor (definierat som områden med exploateringstal ≤1) generellt antas vara mjuk (G=1) med undantag för vatten som definieras som hård (G=0).

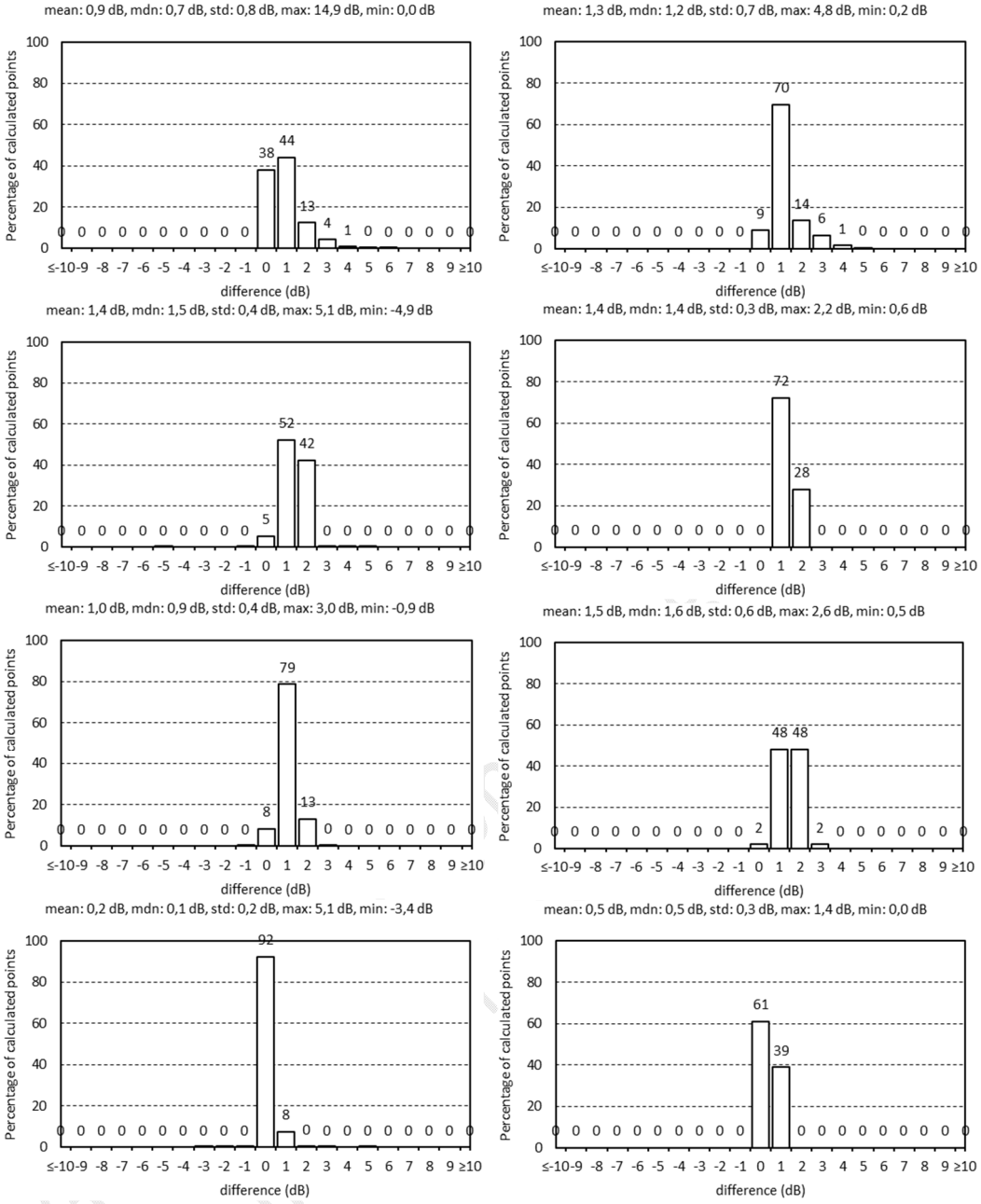
Plottar som redovisar erhållna skillnader relativt referensfallet, beräknat som bullerkonturer för de olika områdena, redovisas i Figur 23 och Figur 24. En sammanställning över hur skillnaderna fördelas för de olika fallen, för bullerkonturer och fasadnivåer, redovisas i Figur 25.



Figur 23. Högsbo, skillnader mellan ljudnivåer (L_{den}, h=4 m) beräknade med markabsorption definierad från Fastighetskarta, minus en beräkning där marken generellt antas vara mjuk med undantag för vatten.



Figur 24. Lerum N, M, S (uppifrån räknat), skillnader mellan ljudnivåer (L_{den}, h=4 m) beräknade med markabsorption som definierats med hjälp av Fastighetskarta, minus ljudnivåer beräknade med markabsorption som generellt antas vara mjuk med undantag för vatten som antas vara hård.



Figur 25. Fördelning nivåskillnader mellan en beräkning med markabsorption definierad från fastighetskarta, minus en beräkning med generellt mjuk mark (G=1) plus vatten (G=0).
Uppifrån: Högsbo, Lerum N, Lerum M, Lerum S.
Till vänster rasterberäkning, till höger fasadnivåberäkning.

5.1.4 Markabsorption enligt schablon i SP Rapport 2010:77, exploateringstal >1 (stadskärna)

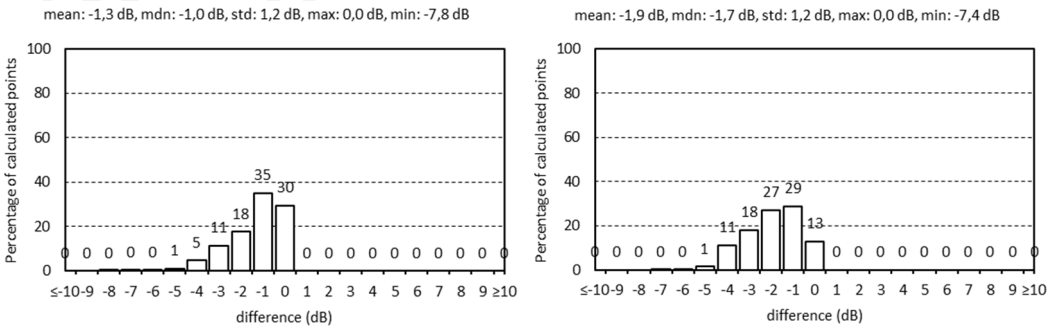
Denna undersökning begränsades till beräkningar i Högsbo-modellen.

Som en förenkling sattes hela modellen som hård mark (G=0). Detta är egentligen inte helt korrekt eftersom ytor som kan räknas som parkområde, och som enligt schablonen ska ha mjuk markabsorption (G=1), förekommer i modellens yttre

delar (utanför det beräknade området). Det bedömdes dock ha försumbar inverkan på denna studie.

Skillnaden relativt referensfallet beräknat som bullerkonturer redovisas i Figur 26. Fördelningen av skillnaderna för bullerkonturer och fasadnivåer redovisas i Figur 27.

Figur 26. Högsbo, skillnader mellan ljudnivåer (L_{den}, h=4 m) beräknade med markabsorption som definierats med hjälp av Fastighetskarta, minus ljudnivåer beräknade med hård mark överallt.



Figur 27. Högsbo, fördelning nivåskillnader mellan en beräkning med markabsorption definierad från fastighetskarta, minus en beräkning med enbart hård mark (G=0).
Till vänster rasterberäkning, till höger fasadnivåberäkning.

5.1.5 Markabsorption, endast mjuk och hård mark

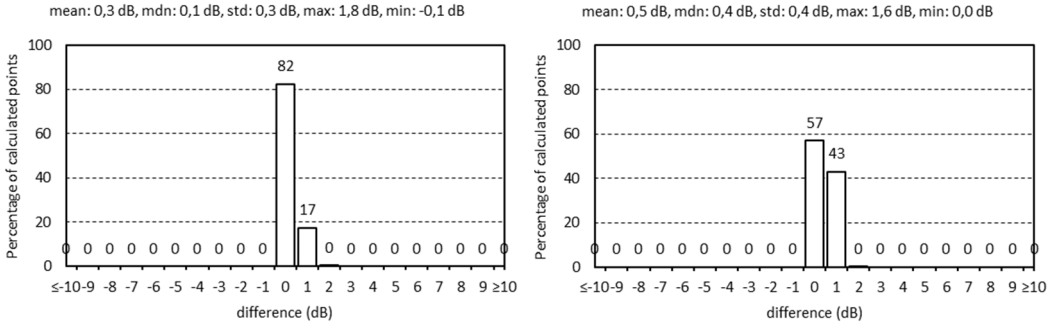
Ett annat markabsorptionstest var att utgå från Fastighetskartan som underlag, men inte använda värdena G=0,3 och G=0,7, utan avrunda dem till G=0 respektive G=1. Detta kan ses som en simulering av när markabsorptionen definieras med manuell bedömning av ortofoton.

Undersökningen gjordes endast i Högsbo-modellen och i Lerum N.

För Högsbo redovisas skillnaden relativt referensfallet i Figur 28, och fördelningen av skillnaderna för bullerkonturer och fasadnivåer i Figur 29. Motsvarande jämförelse för Lerum N utgörs av den övre bilden i Figur 30 respektive de övre fördelningarna i Figur 31.

En jämförelse med Figur 15 och Figur 17, som redovisar hur Fastighetskartan översatts till markabsorption, kan öka förståelsen för de uppkomna skillnaderna. I den västra delen av Högsboområdet förekommer exempelvis nästan enbart markområden som översätts till G=0 respektive G=1, vilket ger små nivåskillnader i Figur 28. De östra delarna med villabebyggelse och öppna markytor översätts istället med G=0,7, vilket leder till större nivåskillnader då G avrundas till 1.

Figur 28. Högsbo, skillnader mellan ljudnivåer (L_{den}, h=4 m) beräknade med markabsorption som definierats med hjälp av Fastighetskarta, minus ljudnivåer beräknade med markabsorption som beräknats med Fastighetskarta fast begränsad till värdena G= 0 (hård mark) och G=1 (mjuk mark). Det senare kan ses som en approximation av en manuell bedömning av markabsorptionen utifrån ortofoton.



Figur 29. Högsbo, fördelning nivåskillnader mellan en beräkning med markabsorption definierad från fastighetskarta, minus en beräkning med markabsorption definierad från fastighetskarta men begränsad till värdena G=0 och G=1.
Till vänster rasterberäkning, till höger fasadnivåberäkning.

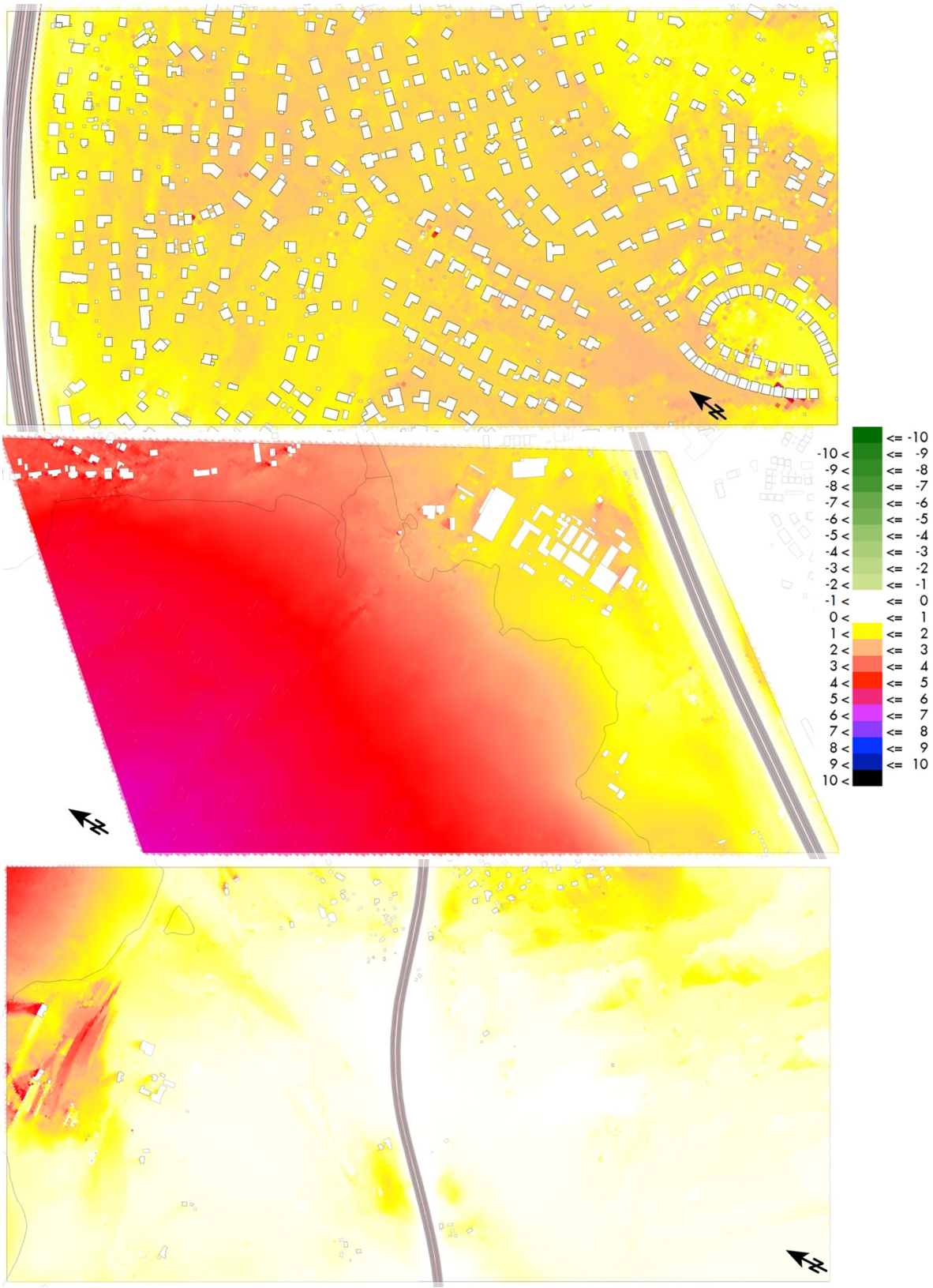
5.1.6 Markabsorption, simulering snötäcke

Denna undersökning gjordes enbart i Lerum-modellen.

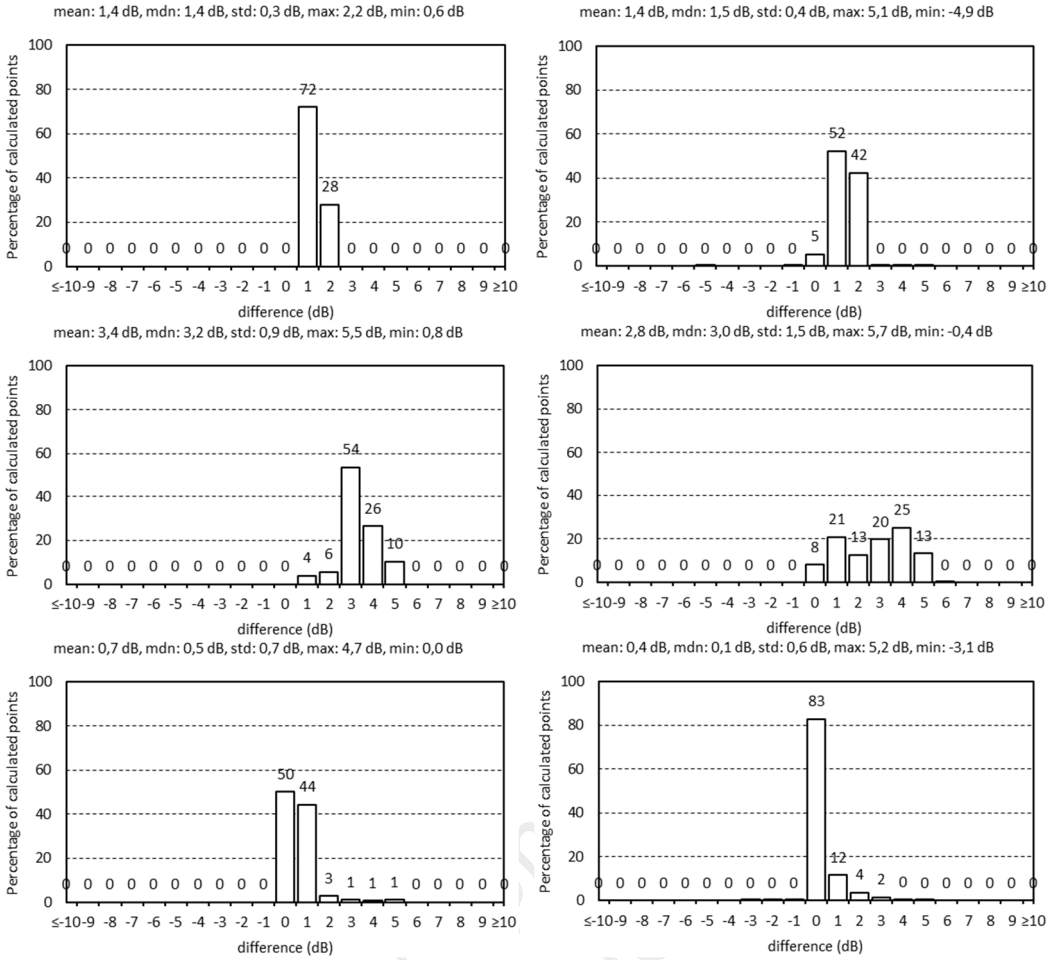
Hela modellen ansattes som mjuk mark (G=1), inklusive vattenytor som förutsattes vara isbelagda. (CNOSSOS-EU saknar verktyg för att simulera den särskilt höga markabsorption som snö ger, se avsnitt 2.3.)

Skillnader relativt referensfallet beräknat som bullerkonturer redovisas i Figur 30. Fördelningen av skillnaderna för bullerkonturer och fasadnivåer redovisas i Figur 31.

Godkänd av uppdragsgivare
Inväntar publicering



Figur 30. Lerum N, M, S (uppifrån räknat), skillnader mellan ljudnivåer (L_{den}, h=4 m) beräknade med markabsorption som definierats med hjälp av Fastighetskarta, minus ljudnivåer beräknade med markabsorption som generellt antas vara mjuk (simulering snötäcke).



Figur 31. Fördelning nivåskillnader mellan en beräkning med markabsorption definierad från fastighetskarta, minus en beräkning med enbart mjuk mark (även på vattenytor) för att simulera snötäcke (G=1).
Uppifrån: Lerum N, Lerum M, Lerum S.
Till vänster rasterberäkning, till höger fasadnivåberäkning.

5.1.7 Markabsorption, simulering snötäcke på sjöar, årsmedelvärde

När ett snötäcke simuleras med mjuk mark över hela modellen (G=1) blir avvikelsen relativt barmark särskilt stor för Lerum M, vilket beror på en kombination av att den stora vattenytan skiftar från hård till mjuk markabsorption samt att sjön innebär ljudutbredning över relativt långa avstånd utan skärmande objekt, se Figur 30 och Figur 31. Motsvarande avvikelser för Lerum S är små eftersom marken även vid barmark till stor del är klassad som mjuk (G=1), vilket bör vara en rimlig approximation för ytor utanför tätorter generellt. I villaområdet Lerum N blir det något större skillnader mellan barmark och snötäckt mark beroende på att markabsorptionen i barmarksfallet här till stor del har värdet G=0,7.

Även i stadskärnor och annan stadsmiljö där markytan vid barmark till stor del är akustiskt hård, innebär snötäckt mark en stor ändring av markabsorptionen. Här är dock avstånden mellan huvudsaklig källa och mottagare ofta inte särskilt långa,

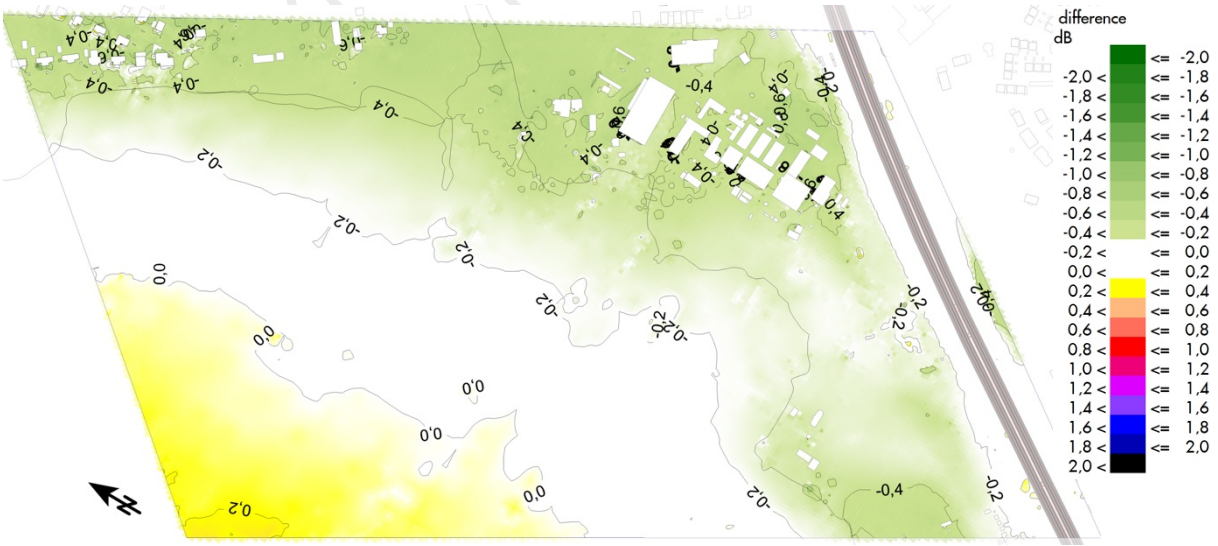
varför ett snötäcke antagligen är av mindre betydelse än vid ljudutbredning över sjöar som i Lerum M och motsvarande.

Ett årsmedelvärde som inkluderar effekten av ett snötäcke kan beräknas som energimedelvärdet av två separata beräkningar, för barmark respektive snötäcke, där respektive fall viktas efter hur stor andel av året som det representerar. Detta framstår dock som en alltför omständlig och kostnadsdrivande metod för strategisk kartläggning.

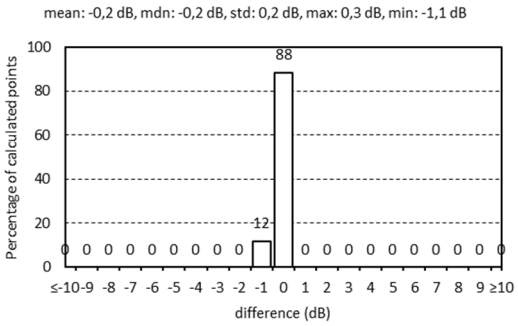
Istället föreslås att effekten av snötäcke inkluderas, som en första ordningens approximation, genom att vattenytor, men inga andra ytor, ges markabsorptionen G=0,3 i områden där sjöar kan förväntas vara istäckta och snöbelagda en ej försumbar del av året. Uppgifter om snötäckets utsträckning och varaktighet samt om isläggning och islossning på sjöar redovisas i Figur 34 och Figur 35 för perioden 1961–1990. Enligt figurerna kan sjöar i Svealand och Norrland förväntas vara snötäckta ca fyra månader eller mer per år. Med tanke på att uppgifterna är relativt gamla och att vi går mot varmare klimat, föreslås att korrektionen enbart görs i Norrland men inte i Svealand och Götaland.

Ett exempel på resultat av en sådan korrektion redovisas i Figur 32 och Figur 33. Jämförelsen i figurerna är gjord mellan ljudnivåer beräknade på två sätt:

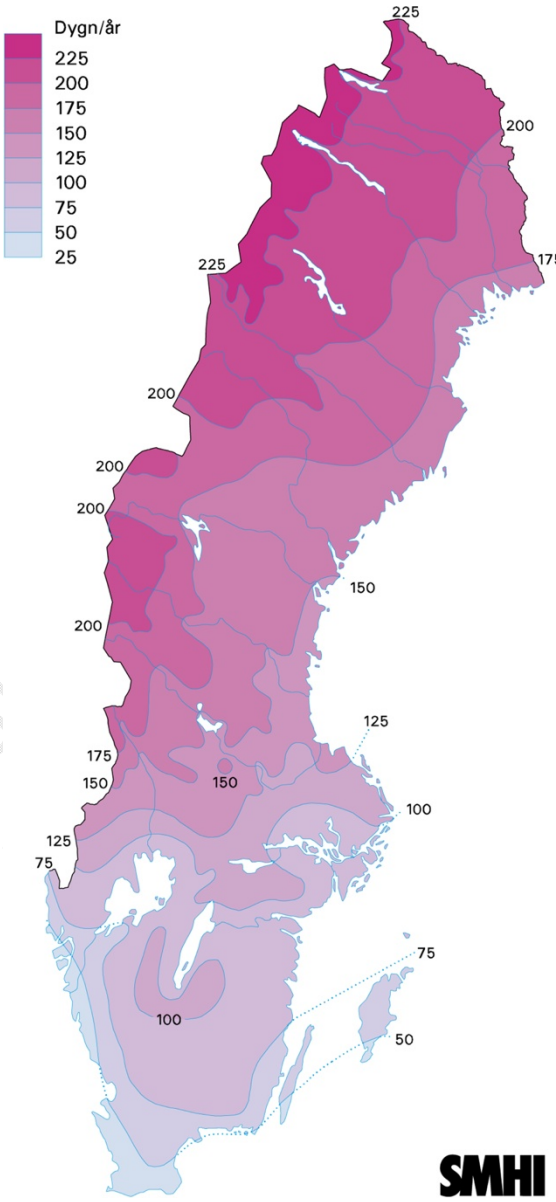
- ljudnivåer beräknade som ett årsmedelvärde med barmark under åtta månader, representerat av markabsorption definierad med Fastighetskartan, och fyra månader snötäcke då markabsorptionen för hela modellen sattes till G=1,
- minus ljudnivåer beräknade med markabsorption definierad med Fastighetskartan, utom för vattenytor där markabsorptionen sattes till G=0,3.



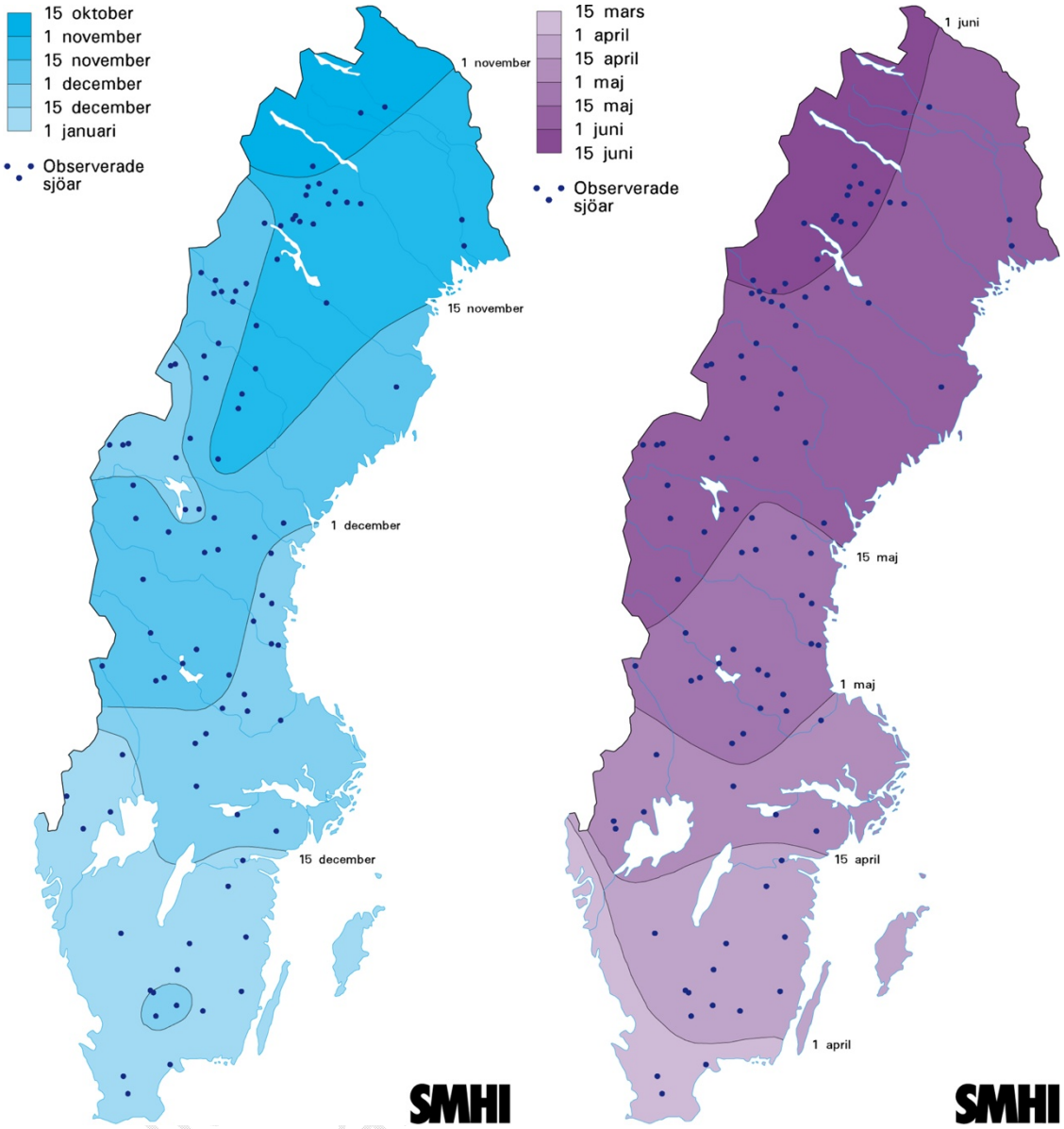
Figur 32. Lerum M, skillnader mellan ljudnivåer (L_{den}, h=4 m) beräknade som ett årsmedelvärde bestående av fyra månader med snötäcke över hela modellen (G=1) och resten av året med markabsorption definierad med Fastighetskarta, minus ljudnivåer beräknade med markabsorption för sjön satt till G=0,3 (istället för som brukligt G=0).



Figur 33. Fördelning av nivåskillnaderna i Figur 32.



Figur 34. Snötäckets utbredning och varaktighet. Klimatkarta som illustrerar medelvärdet för antal dygn med snötäcke per år för den av WMO definierade normalperioden 1961–1990. Från smhi.se.



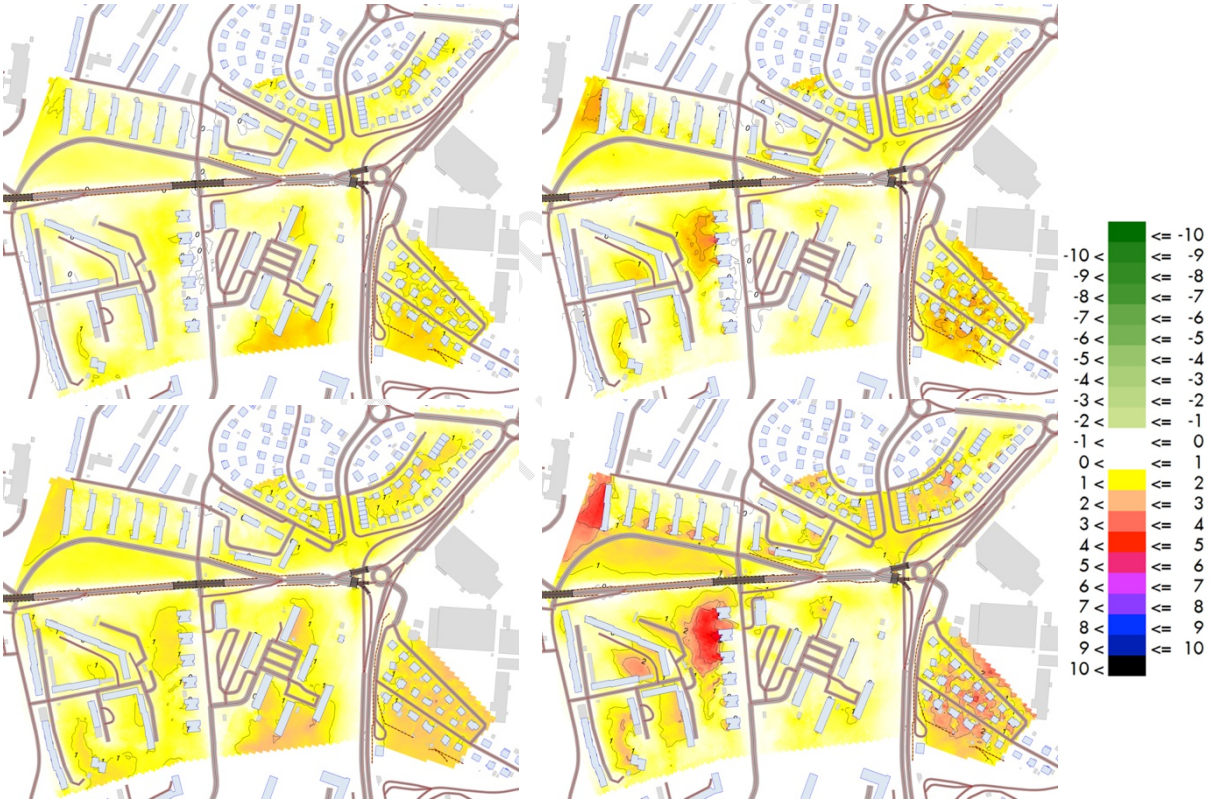
Figur 35. Klimatkartor som illustrerar isläggning och islossning för medelstora sjöar 10–100 km² för den av WMO definierade normalperioden 1961–1990. Normal isläggning (t v) och islossning (t h). För mindre sjöar är tiden med istäckt sjö något längre. Från smhi.se.

5.1.8 Refraktion

Vid beräkning med CNOSSOS-EU vägs refraktionen in med viktningsfaktorn p_f som anger procentuell förekomst av gynnsam ljudutbredning under ett år. p_f kan bestämmas utifrån lokala meteorologiska observationer, men det har också föreslagits att schablonvärdena p_f = 50/75/100% för dag/kväll/natt (alla riktningar) bör kunna användas vid strategisk kartläggning om bättre data saknas.

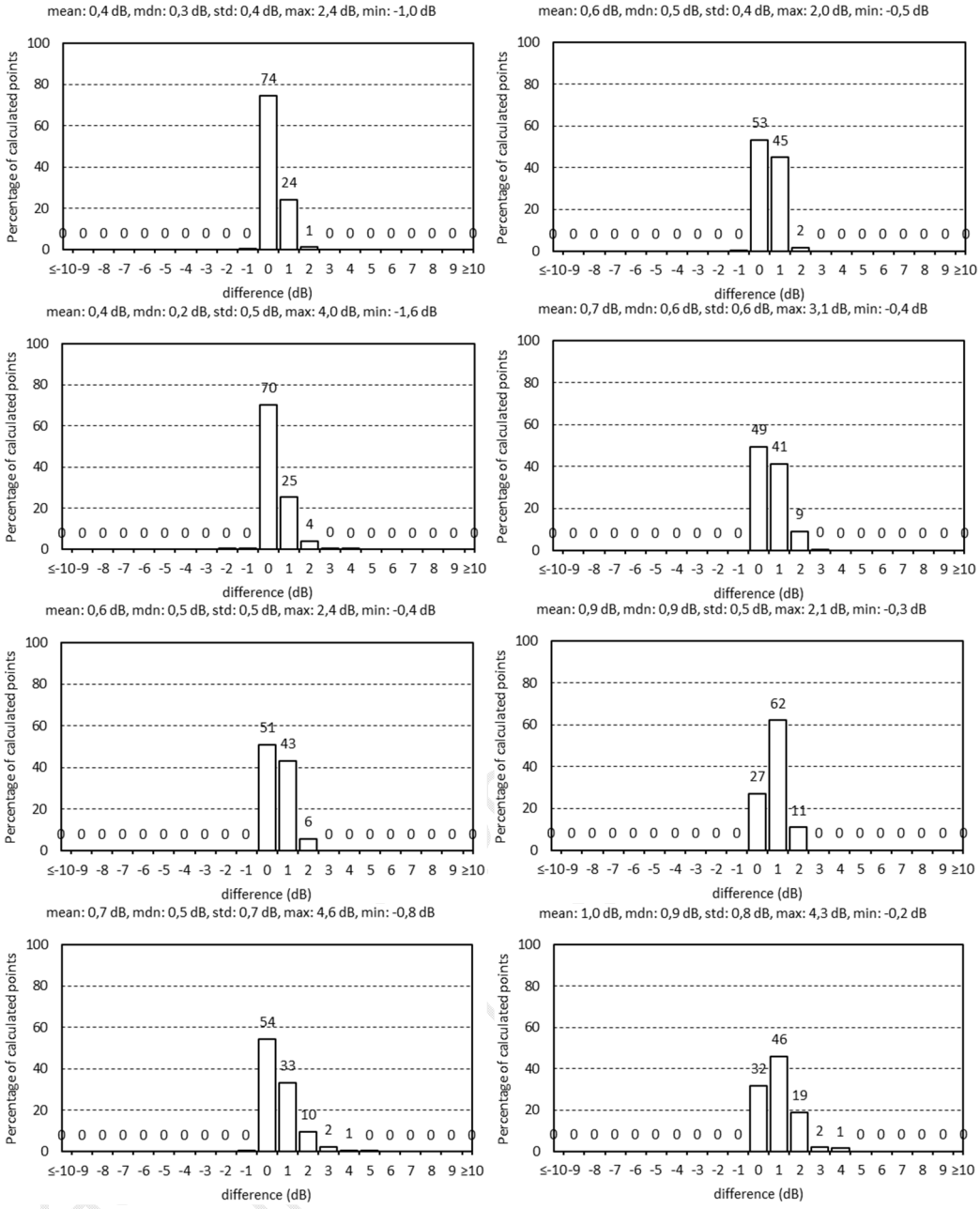
Effekten av valet av underlag har undersökts genom att jämföra beräkningar gjorda med schablonen med beräkningar gjorda med väderstatistik från de två franska städerna Nantes och Montélimar (se del 1 avsnitt 3.1).

Såväl schablon som väderstatistik förutsätter egentligen öppen landsbygd med obebyggd platt gräsmark, utan träd och buskar m m, och i exempelvis en tätort kan ljudhastighetsprofilerna bli annorlunda. Olika approximationer har föreslagits för att ta hänsyn till detta. De svenska kartläggningsanvisningarna från 2010 tillåter att beräkningar i tät stadsbebyggelse[8] görs för ett gynnsamt ljudutbredningsfall, medan motsvarande danska anvisningar hänvisar till neutral ljudutbredning [44]. Skillnaden mellan att använda schablonvärdena p_f = 50/75/100% för dag/kväll/natt, och att använda enbart neutral ljudutbredning (p_f= 0% hela dygnet) demonstreras med en beräkning för enbart hård mark, resultaten redovisas i Figur 40 och Figur 41. Notera att Högsbo inte uppfyller villkoren för tät stadsbebyggelse.

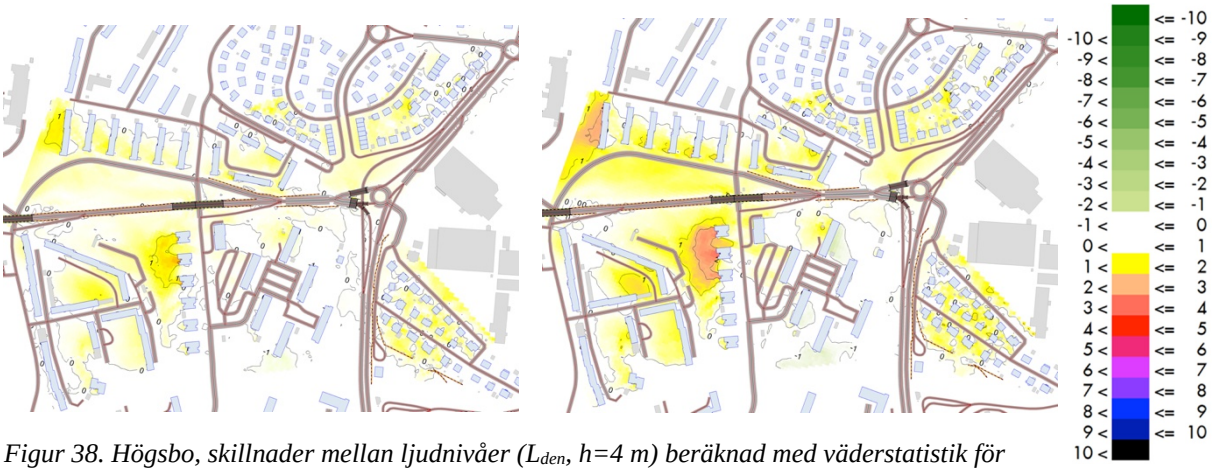


Figur 36. Högsbo, ljudnivåskillnad mellan p_f =50/75/100% och verklig väderstatistik som hämtats från två franska städer.
Övre t v: väderstatistik för Nantes, mjuk mark. Övre t h: väderstatistik för Montélimar, mjuk mark. Nedre t v: väderstatistik för Nantes, hård mark. Nedre t h: väderstatistik för Montélimar, hård mark.

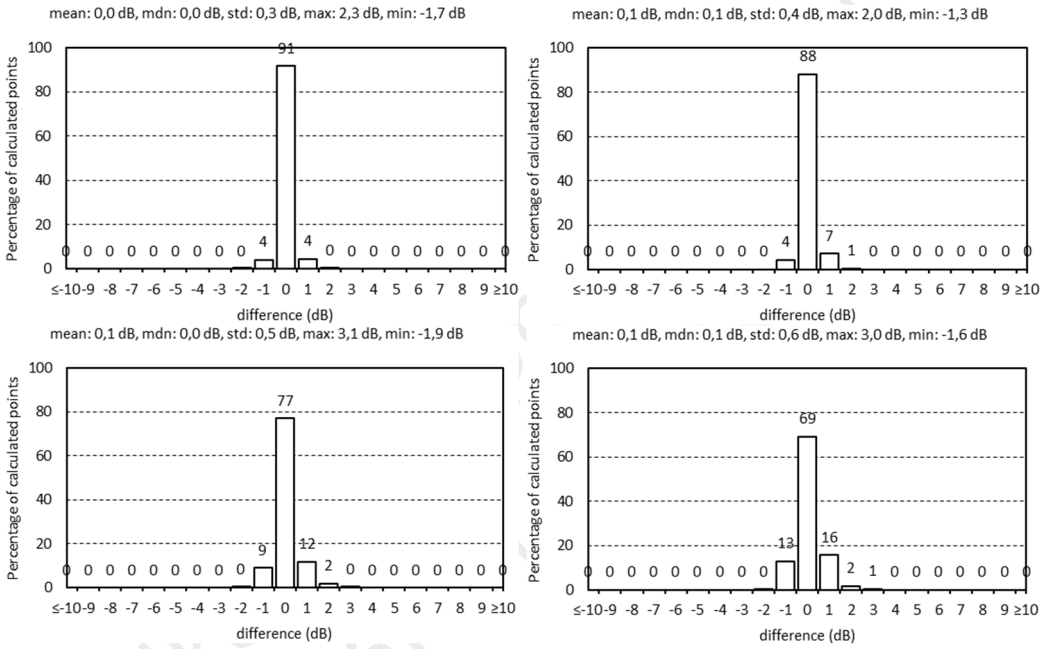
[8] I de svenska kartläggningsanvisningarna från 2010 finns följande definition: ”Med tät stadsbebyggelse avses här höga, tätt placerade byggnader som står där marken till största delen är akustiskt hård. Ett villkor är att bullret vid fasad primärt bestäms av trafiken på gatan närmast utanför bostaden. Om ljudnivån bestäms av trafik som ligger längre bort bör fyra meteorologiska klasser användas till beräkningen. Vid avgränsning av områden med tät stadsbebyggelse kan följande kriterier användas: byggnader med mer än två våningar, minst 80% av markytan är akustiskt hård och exploateringstal över 1,0” [43].



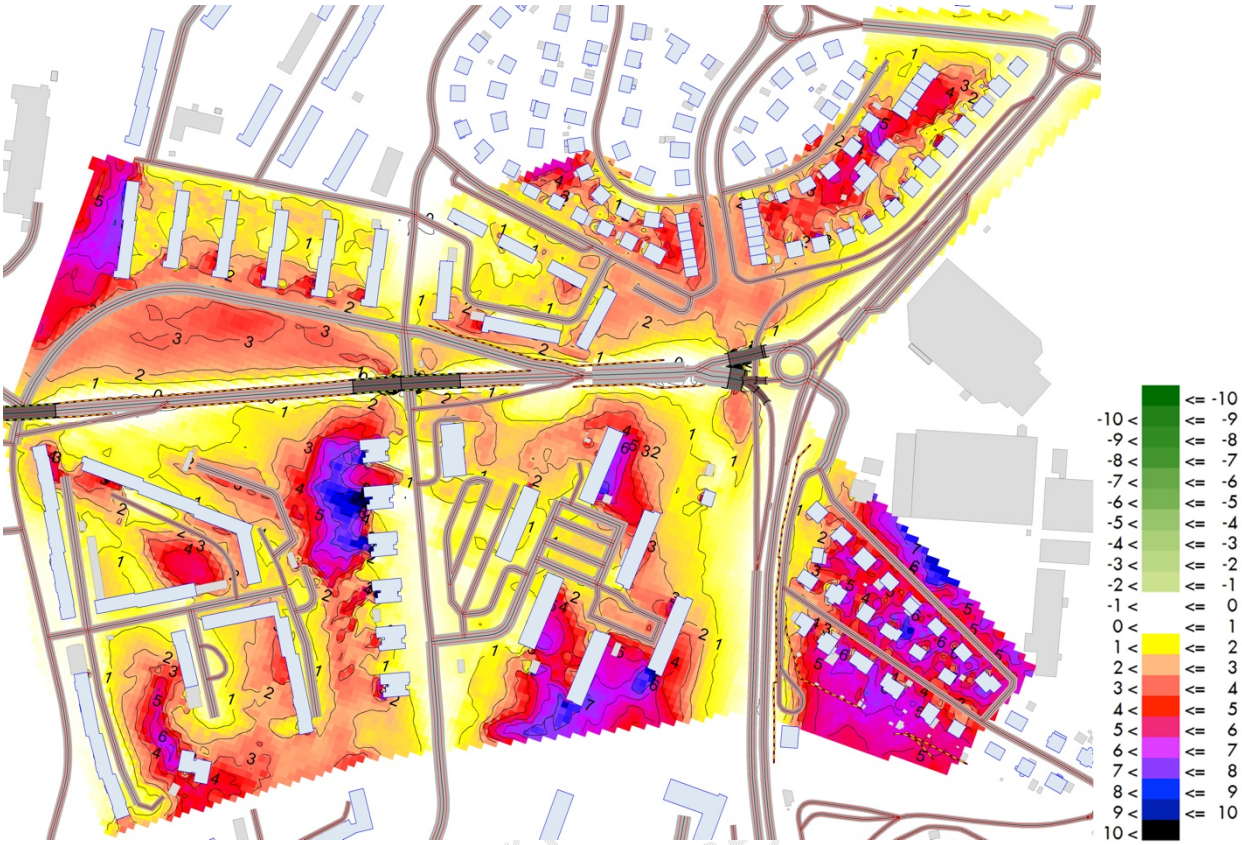
Figur 37. Fördelning nivåskillnader mellan beräkningar med p_f =50/75/100% respektive med fransk väderstatistik. Första raden: väderstatistik för Nantes, mjuk mark. Andra raden: väderstatistik för Montélimar, mjuk mark. Tredje raden: väderstatistik för Nantes, hård mark. Fjärde raden: väderstatistik för Montélimar, hård mark.
Till vänster rasterberäkning, till höger fasadnivåberäkning.



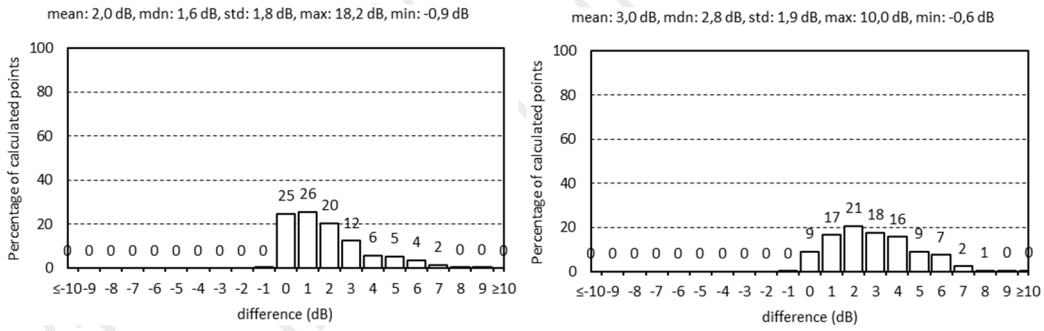
Figur 38. Högsbo, skillnader mellan ljudnivåer (L_{den}, h=4 m) beräknad med väderstatistik för Nantes minus beräknad med väderstatistik för Montélimar. T v: mjuk mark. T h hård mark.



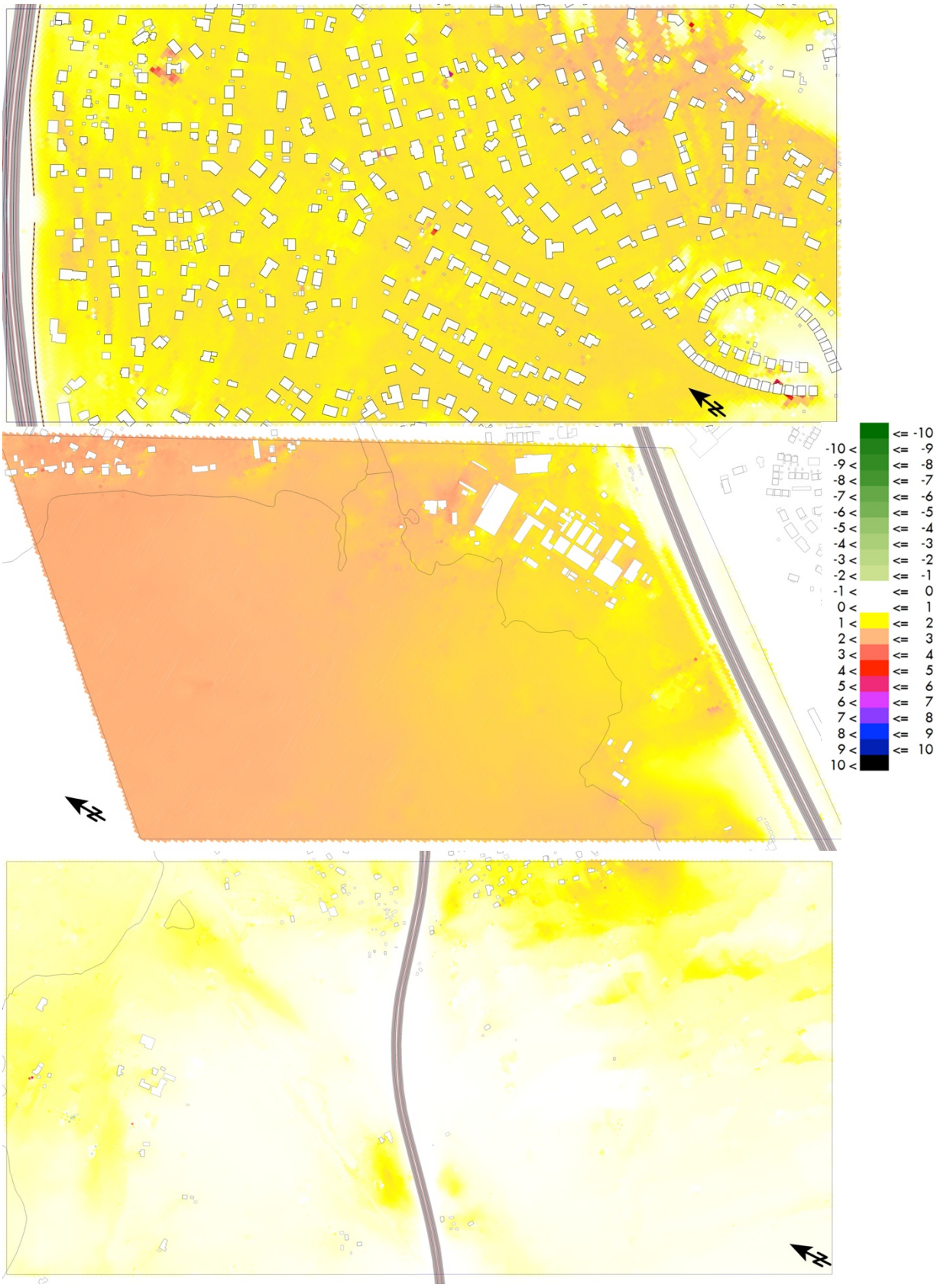
Figur 39. Fördelning ljudnivåskillnader mellan beräkningar baserade på väderstatistik för Nantes respektive Montélimar. Övre raden mjuk mark, undre raden hård mark. Till vänster rasterberäkning, till höger fasadnivåberäkning.



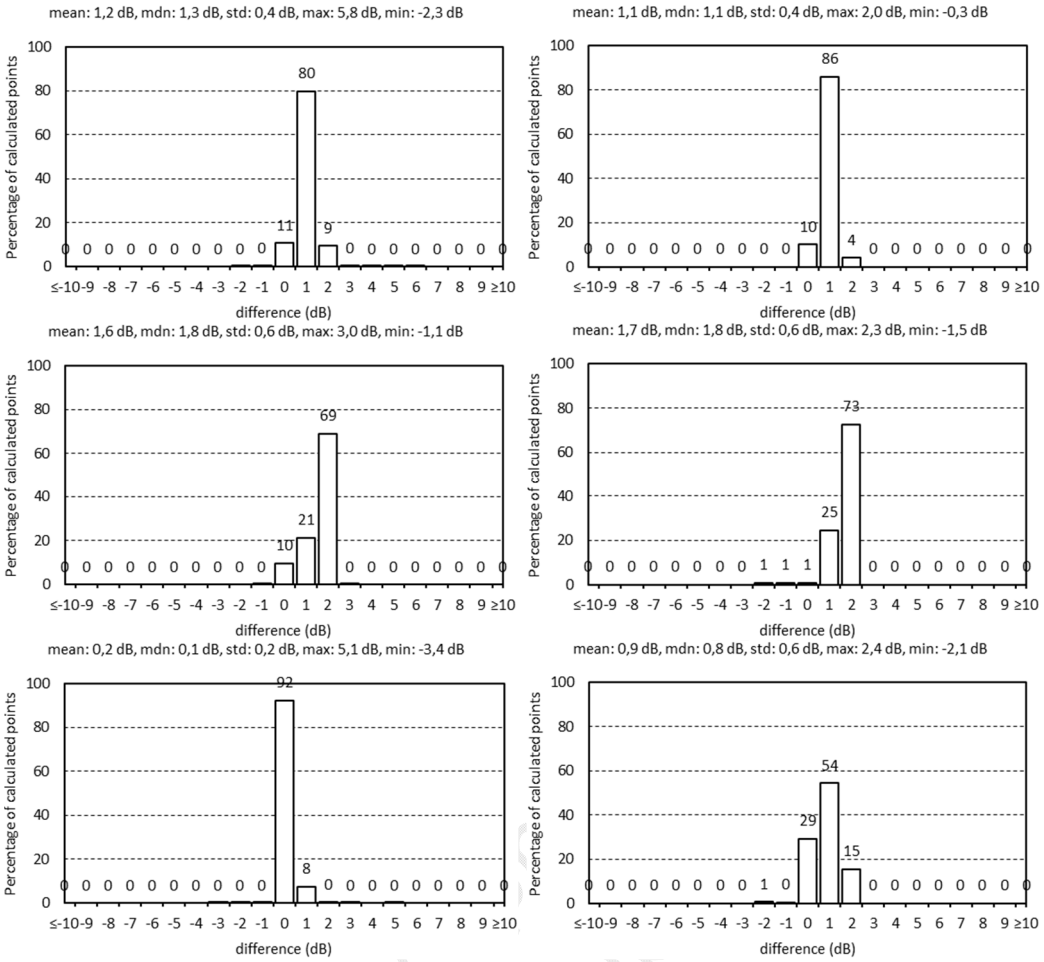
Figur 40. Högsbo hård mark, ljudnivåskillnad (L_{den}, h=4 m) mellan p_f =50/75/100% och p_f =0% hela dygnet (enbart neutral ljudutbredning).



Figur 41. Högsbo, hård mark. Fördelning ljudnivåskillnader mellan beräkningar med p_f =50/75/100% respektive med pf =0% hela dygnet (neutral ljudutbredning). Till vänster raster-beräkning, till höger fasadnivåberäkning.

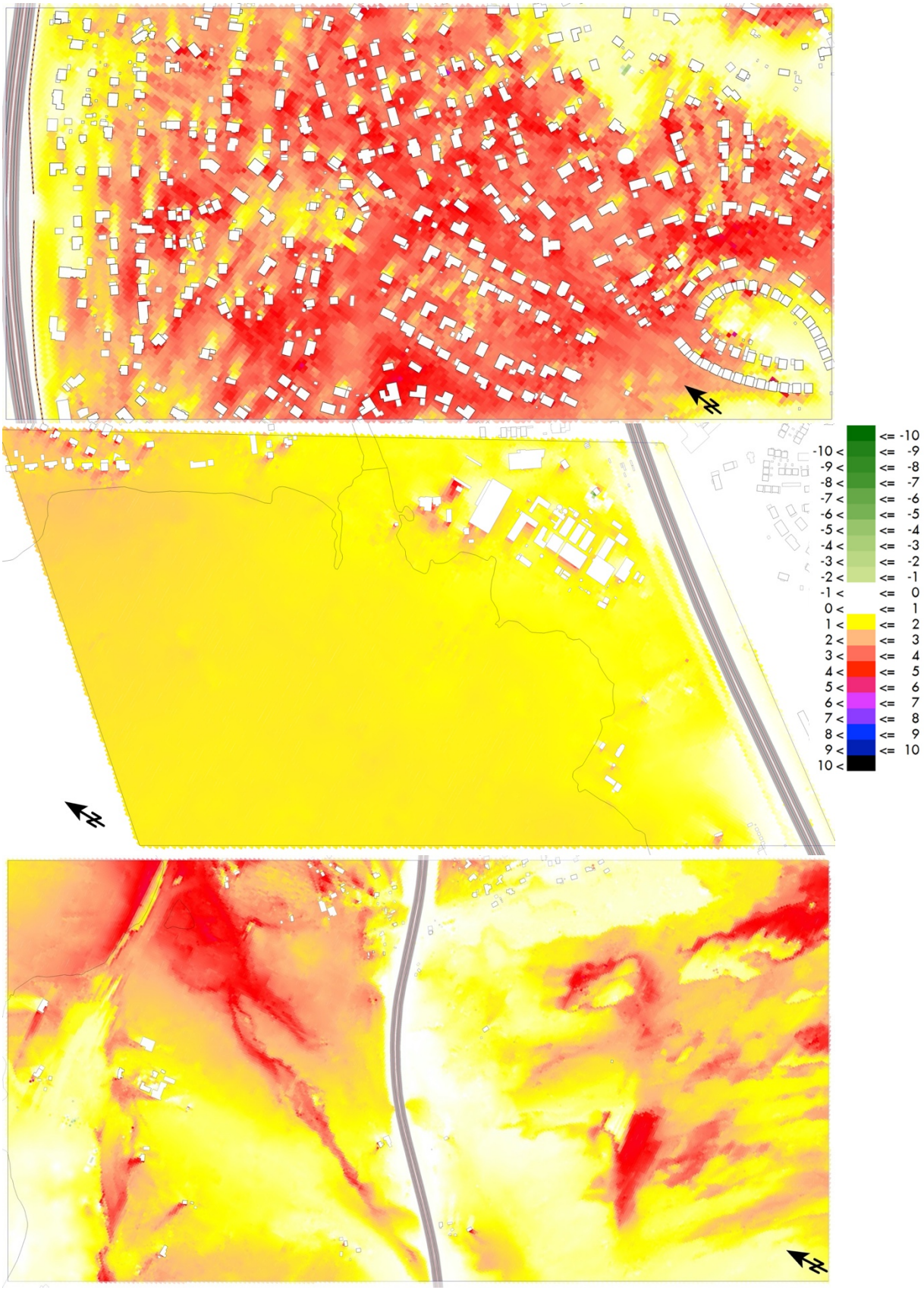


Figur 42. Lerum N, M, S (uppifrån räknat). Ljudnivåskillnad (L_{den}, h=4 m) mellan p_f =50/75/100% och verklig väderstatistik för Nantes.

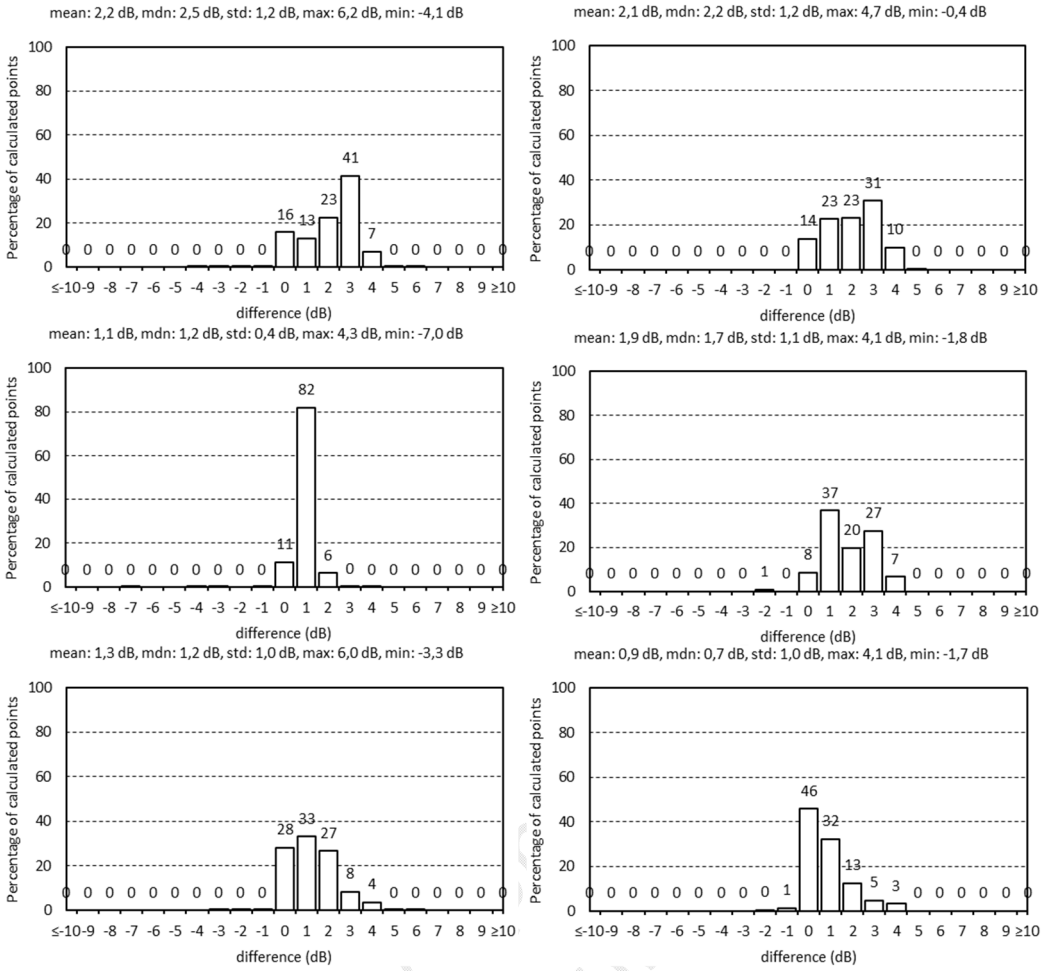


Figur 43. Fördelning nivåskillnader mellan en beräkning med p_f =50/75/100% respektive med fransk väderstatistik för staden Nantes.
Uppifrån: Lerum N, Lerum M, Lerum S.
Till vänster rasterberäkning, till höger fasadnivåberäkning.

Godkänd av Inväntar pu

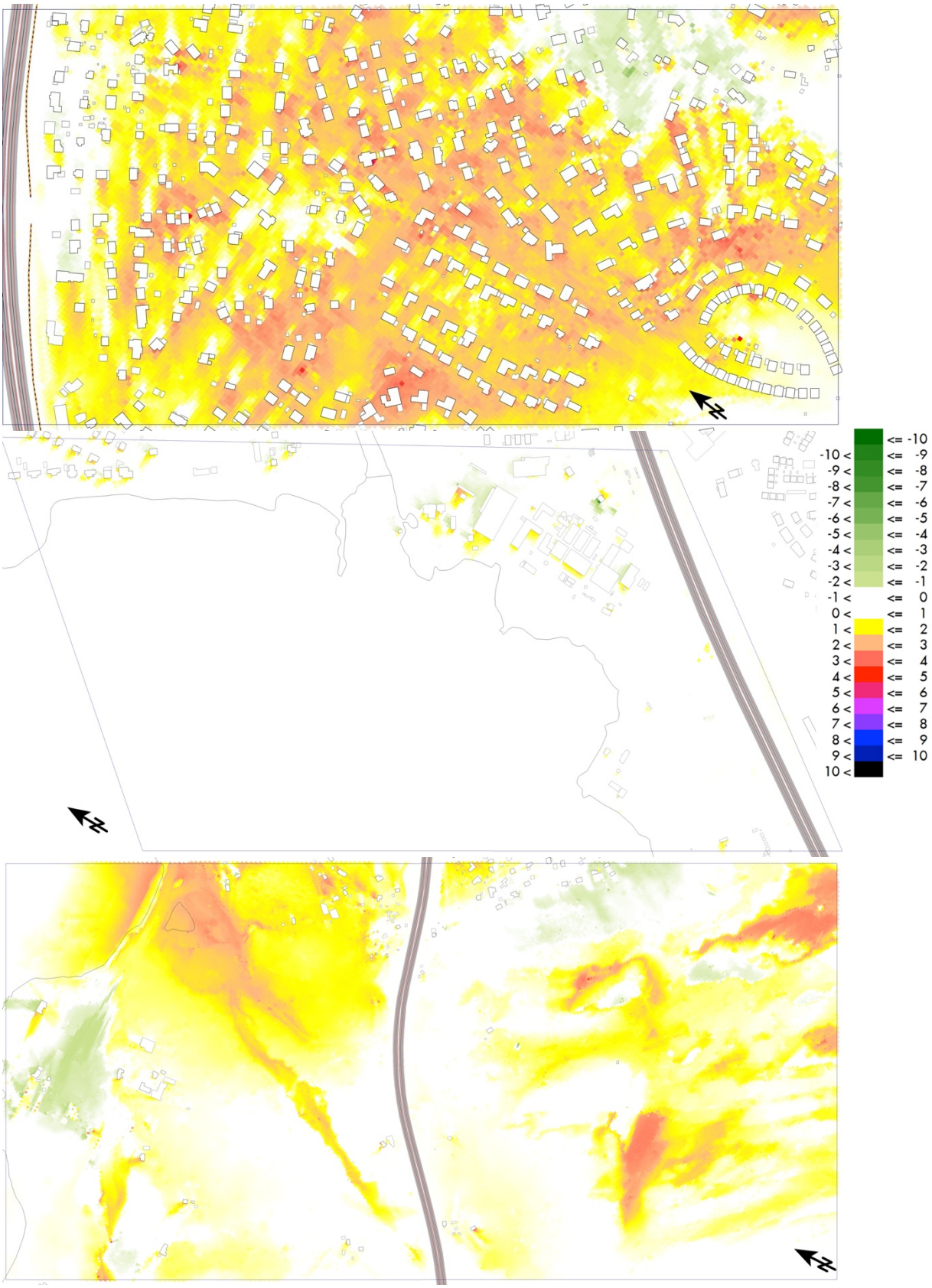


Figur 44. Lerum N, M, S (uppifrån räknat). Ljudnivåskillnad (L_{den}, h=4 m) mellan p_f =50/75/100% och verklig väderstatistik för Montélimar.

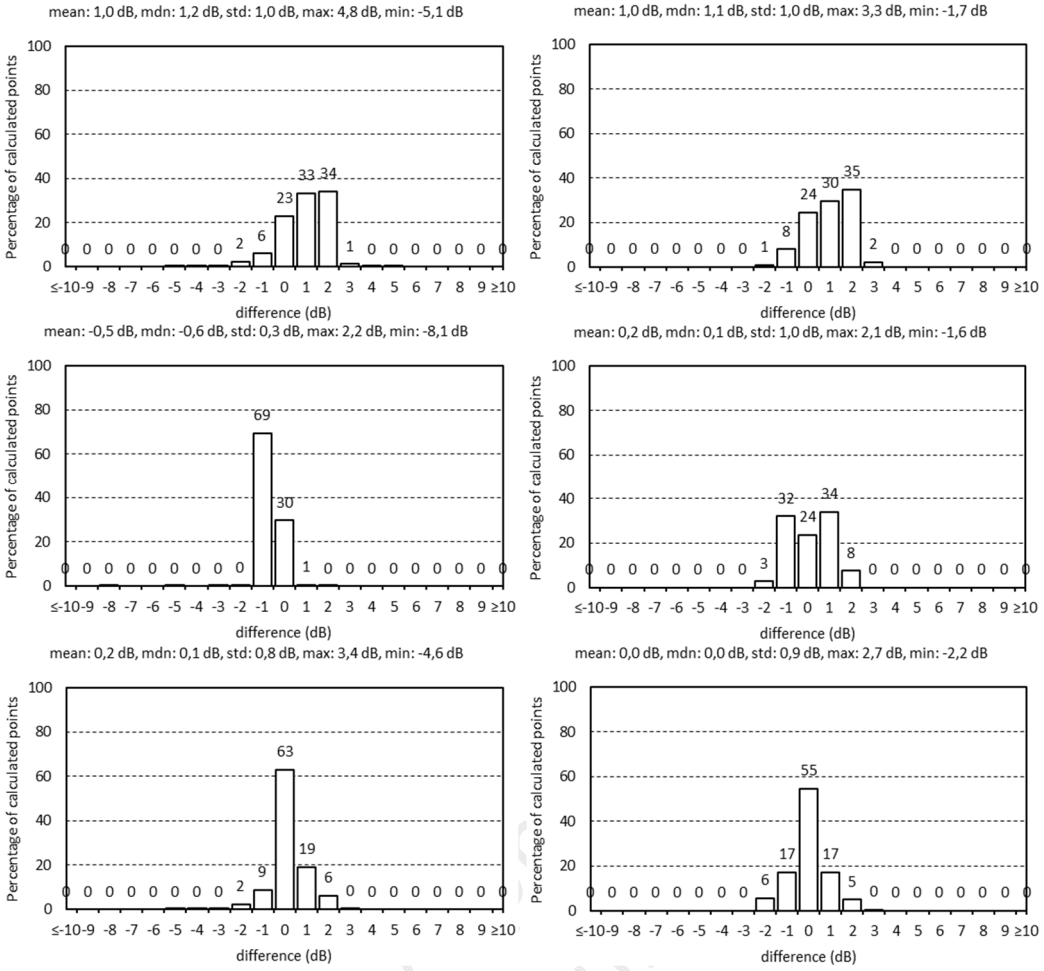


Figur 45. Fördelning nivåskillnader mellan en beräkning med p_f =50/75/100% respektive med fransk väderstatistik för staden Montélimar.
Uppifrån: Lerum N, Lerum M, Lerum S.
Till vänster rasterberäkning, till höger fasadnivåberäkning.

Godkänd av
Inväntar pu



Figur 46. Lerum N, M, S (uppifrån räknat). Ljudnivåskillnad (L_{den}, h=4 m), beräknad med väderstatistik för Nantes minus beräknad med väderstatistik för Montélimar.



Figur 47. Fördelning ljudnivåskillnader mellan beräkningar baserade på väderstatistik för Nantes respektive Montélimar.
Uppifrån: Lerum N, Lerum M, Lerum S.
Till vänster rasterberäkning, till höger fasadnivåberäkning.

5.1.9 Diskussion om tester markabsorption och refraktion, strategisk beräkning

En sammanställning över resultaten redovisas i Tabell 3. Medelvärden (*mv*) och standardavvikelser (*s*) som överstiger 1 dB har markerats med fetstil. Resultaten diskuteras i nedanstående avsnitt.

Ett medelvärde som skiljer signifikant från 0 kan tas som en indikation på att användning av det studerade underlaget innebär en risk för systematiskt fel (försämrad riktighet). Standardavvikelserna samt max- och minimumvärden indikerar ökad osäkerhet i enskilda punkter (försämrad precision).

Vid strategisk kartläggning är det framförallt de systematiska felen som är intressanta att minimera då de i slutändan kan ge en felaktig bild av den totala bullerexponeringen och påverka EU-gemensamma åtgärder för att minska buller i fel riktning, och även påverka beskrivning av störnings- och hälsoeffekter.

I viss mån är det också av intresse att erhålla en god noggrannhet och att minimera lokala avvikelser eftersom de beräknade ljudnivåerna används som information till allmänheten. Ljudnivåer redovisas dock endast som de för inhemsk del mindre relevanta EU-måtten L_{den} och L_{night}. Nivåerna får, men måste inte, användas som grund för åtgärdsplaner för de områden som omfattas av förordningen, vilka omfattar en mindre del av de åtgärdsplaner som görs för Sverige. Ljudnivåer för åtgärdsplaner kan alltså istället beräknas separat, med bättre underlag, noggrannare beräkningsinställningar och bättre/mer relevanta beräkningsmetoder.

5.1.9.1 Kommentar tester markabsorption

Att ersätta markabsorption definierad med Fastighetskarta med schablonen för områden utanför stadskärna (e≤1) ger avvikelser som i medeltal är större än 1 dB (schablonen ger lägre ljudnivåer) i samtliga beräknade områden utom Lerum S. Medelvärdet av skillnaderna är ≤1,3 dB för Högsbo, Lerum N 1,4 dB och Lerum M ≤1,5 dB. Även om standardavvikelserna för de olika fallen är mindre än 1 dB blir de lokala skillnaderna (max och min) relativt stora på flera platser i modellerna, med 3–5 dB lägre ljudnivåer på vissa platser när schablonen används, se Figur 23 och Figur 24. Ett sätt att förbättra resultaten kan vara att införa ytterligare en schablonnivå med G=0,7 för tätorter där e≤1, men som inte är landsbygd.

Resultaten från de två försöken med att simulera traditionell okulär bestämning av hård eller mjuk mark från ortofoton indikerar att denna metod inte är helt pålitlig för att bestämma markabsorptionen för CNOSSOS-EU. Den används normalt inte vid strategisk kartläggning annat än i begränsad omfattning.

I Högsbomodellen var resultaten goda – medelvärdet av skillnaderna var ≤0,5 dB och även standardavvikelse och lokala skillnader var begränsade, ≤0,4 dB respektive ≤1,8 dB. I Lerum N blir resultaten sämre p g a Fastighetskartan klassar i stort sett hela området som låg bebyggelse, vilket översätts med markabsorption G=0,7 (se Figur 17). Här blir medelvärdet av skillnaderna 1,4 dB, och även om standardavvikelsen var begränsad till ≤0,4 dB uppgick de lokala avvikelserna till ≤5,1 dB. Samtidigt var modellen förenklad i det att inga vägobjekt var inlagda i villaområdet, vilket hade kunnat påverka resultatet.

Testet där Högsbomodellen antogs vara stadskärna med hård mark ger en fingervisning om hur mycket högre nivåerna kan bli med hård mark i hela modellen jämfört med markabsorption definierad med Fastighetskarta. Medelvärdet av skillnaderna blev i detta fall ≤1,9 dB (högre med hård mark) och standardavvikelsen 1,2 dB. På enskilda lokala platser är avvikelserna betydligt större, upp till 7,8 dB. Exploateringstalet för det aktuella området är dock ca 0,5, alltså lägre än villkoret för när schablonen ska användas (*e*>1).

Avgränsat till flerbostadshusen i modellens västra del blir *e* något högre (ca 0,6), och här är också en högre andel av marken är akustiskt hård (G=0). Skillnaderna finns ändå kvar och är i samma storleksordning, och det är tydligt att de beror av att delar av området som inte är bebyggda innehåller akustiskt mjuk mark. Detta

Godkänd av uppdragsgivare
Invänta publicering

framgår vid en jämförelse av resultaten i Figur 26 med Fastighetskartans markslag i Figur 15.

Det är vanskligt att dra generella slutsatser men några iakttagelser kan ändå göras. Vid hög bebyggelse översätts Fastighetskartans markslag till hård mark (G=0) vilket då överensstämmer med schablonen för stadskärna. Men både sluten bebyggelse och låg bebyggelse översätts till G=0,7 vilket ligger långt från schablonen för stadskärna. Åtminstone sluten bebyggelse, som enligt Fastighetskartans indelning är ”sammanhängande kvartersbebyggelse med flera våningar”, bör vara ett vanligt inslag i stadskärnor. Här förefaller det helt enkelt som att översättningen från Fastighetskartans markslag till markabsorption är felaktig och behöver korrigeras.

Simulering av snötäckt mark (bara undersökt i Lerummodellen) ger särskilt stora skillnader i Lerum M där medelvärdet av skillnaderna är ≤3,4 dB (lägre ljudnivå med snö än barmark) där en stor del av beräkningsytan utgörs av en sjö som inte absorberar ljud när den inte är belagd med snö. Även i Lerum N där villaområdet enligt Fastighetskartan till stor del har markabsorption G=0,7 blir avvikelserna relativt stora (medelvärdet av skillnaderna är 1,4 dB, lägre ljudnivå med snö). Standardavvikelserna är <1 dB för Lerum S och N, och ≤1,5 dB för Lerum M, men relativt stora lokala avvikelser (4–6 dB) förekommer i alla tre områdena, se Figur 30 och Tabell 3. De redovisade skillnaderna avser ett fall med barmark minus ett fall med snötäckt mark, men vid strategisk kartläggning eftersöks ett årsmedelvärde och då blir inflytandet av snötäckt mark mindre. Även räknat som ett årsmedelvärde kan effekten av snö i situationer motsvarande Lerum M med ljudutbredning över vatten potentiellt bli relativt betydande med avvikelser som är större än 1 dB (beroende på placering av ljudkällor, storlek på vattenyta, väderstatistik m m). Däremot bedöms avvikelserna för fall motsvarande villaområdet Lerum N att normalt bli mindre än 1 dB. Därför föreslås en approximativ hantering av snötäcke vid strategisk kartläggning genom att ansätta markabsorption hos vattenytor till G=0,3 i Norrland, se diskussion på sid 48.

5.1.9.2 Kommentar tester refraktion

Här har ljudnivå dels beräknats med schablonvärdena för p_f – d v s andel tid med gynnsam ljudutbredning är 50% dagtid, 75% kvällstid och 100% nattetid, i alla riktningar – och dels med p_f som representerar verklig väderstatistik för de två franska städerna Nantes och Montélimar. I Nantes är gynnsam ljudutbredning mer vanligt förekommande när riktning mottagare till källa är västlig, medan motsvarande för Montélimar är nordöst.

Schablonen ger generellt högre medelvärden än verklig väderstatistik. De största medelvärdena av skillnaderna finns i Lerum N (≤2,2 dB) och Lerum M (≤1,9 dB), men även i Lerum S överstiger medelvärdet av skillnaderna 1 dB (≤1,3 dB). Standardavvikelserna är måttliga och som högst 1,2 dB (Lerum N), men lokala skillnader i storleksordningen 3–4 dB är vanliga (Figur 44). I Högsbo är medelvärdet

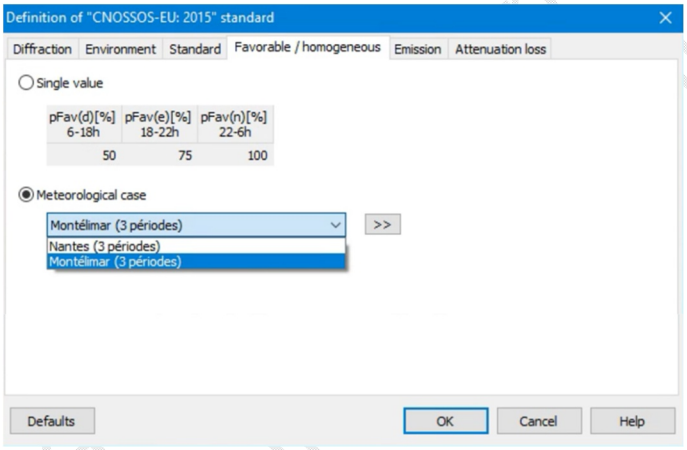
Sven Hultins Plats 1–2, 412 58 Göteborg tel: +46 31 3091900 info@gardhagen.se
Org.nr: 556643-2414 *Momsnr:* SE556643241401 innehar F-skattsedel

av skillnaderna mer begränsade (≤1,0 dB), även om större lokala avvikelser finns på vissa platser i modellen.

Tydligt är också hur effekten av att väderstreck med mest förekomst av gynnsam ljudutbredning skiljer mellan de franska städerna, jämför exempelvis Figur 42 med Figur 44.

Värt att notera är också att differenserna mellan schablon och verklig statistik i Högsbomodellen är högre när markimpedansen är hård än när den är mjuk, vilket går emot ett vanligt antagande om att refraktionen har mindre betydelse vid hård mark, se Figur 36.

Mot bakgrund av ovanstående rekommenderas att p_f-värden som baseras på verklig väderstatistik tas fram för ett lämpligt antal regioner och används istället för schablonen eftersom den riskerar leda till systematiska överskattningar av beräknade ljudnivåer. Det är ett relativt begränsat arbete att ta fram och publicera p_f-värden från väderstatistik, och erforderliga väderdata kan hämtas kostnadsfritt från SMHI. Inte heller innebär det något merarbete för den som gör kartläggningen att använda sådan statistik istället för en schablon, dock förutsatt att statistiken finns enkelt tillgänglig, exempelvis som ett direkt val i beräkningsprogrammet (se Figur 48).



Figur 48. Exempel på val av p_f för CNOSSOS-EU i beräkningsprogram (här SoundPLAN): från schablonvärden eller baserat på väderstatistik.

Jämförelsen med en särskild stadsschablon för p_f är inte rättvisande eftersom Högsbo inte har tät stadsbebyggelse[8], men får här ändå tjäna som illustration. Medelvärdena av skillnaderna mellan att använda schablonen p_f = 50/75/100% för dag/kväll/natt eller enbart neutral ljudutbredning (p_f = 0% hela dygnet) blev 2,0 dB för bullerkonturer respektive 3,0 dB för fasadnivåer. En anledning till att medelvärdena avviker så pass mycket är att det lokalt på platser som är avskärmade från områdets större vägar uppstår relativt stora skillnader. Enligt de svenska kartläggningsanvisningarna avviker därmed området från förutsättningarna för att använda en förenklad schablon för refraktion i stadsmiljö, det att

ljudnivån bestäms av gatan närmast utanför bostaden [43]. De danska anvisningarna däremot anger inget motsvarande villkor för när förenklingen kan tillämpas. En annan skillnad är att de svenska anvisningarna föreskriver att det förenklade underlaget för refraktion i stadsmiljö ska utgöras av utbredningsklass M 18, en måttligt gynnsam klass som ungefär motsvarar det gynnsamma utbredningsfallet i CNOSSOS-EU. De danska anvisningarna anger istället att de förenklade beräkningarna i stadsmiljö ska göras med neutral ljudutbredning. Här finns ett behov av att sammanställa fördjupad information om ljudutbredning i stadsbebyggelse, samt att med stöd därav formulera en rekommendation om vilket underlag som är lämpligt att använda för refraktion i städer. Tills en sådan rekommendation finns att tillgå föreslås att schablonen p_f = 50/75/100%, eller motsvarande lokala väderstatistik, används generellt, även i städer.

5.1.9.3 Sammanfattande kommentar

Resultaten tyder på att det föreligger en risk för systematiska fel som överstiger 1 dB (1σ) om markabsorptionen bestäms utifrån exploateringstal enligt den metod som redovisas i [43]. Även precisionen blir lidande. Översättningarna från Fastighetskarta till markabsorption behöver dock ses över. En nackdel med att använda Fastighetskarta som underlag är att det kan bli kostsamt ifall kartan behöver köpas in.

Ett alternativ till Fastighetskartan är att använda Nationella Marktäckedata (NMD) för att definiera markabsorptionen. NMD är gratis och till skillnad från Fastighetskartan har den verifierats mot mätningar. För att NMD ska kunna användas som underlag till bullerkartläggningar behöver dock först en metod utvecklas för att importera NMD till kartläggningsprogrammen[9], alternativt att underlaget görs tillgängligt som ytobjekt i SHP-filer. Äldre versioner av NMD levererades som SHP-filer och gick att importera som markabsorptionsobjekt. Se även del 1 avsnitt 2.1.1.4.

Som en enkel approximation kan effekten av snötäcke inkluderas i årsmedelvärdet genom att sjöar ges markabsorption G=0,3 i Norrland.

Användning av schablonen p_f=50/75/100% för dag/kväll/natt leder generellt till högre ljudnivåer än om p_f-värden baserade på verklig väderstatistik används. De senare är enkla att ta fram och medför inget merarbete vid kartläggningen. I tät stadsbebyggelse kan det vara befogat att använda en annan schablon, men kunskapsläget om hur en sådan bör väljas är för närvarande begränsat.

[9] NMD ägs av Naturvårdsverket som har gjort data tillgängligt dels genom WMS-tjänster och även som nedladdningsbara GeoTiff-filer. Inget av dessa format fungerar som underlag för markabsorption i kartläggningsprogrammen, som visserligen har möjlighet att läsa in höjddata från GeoTiff-filer, men inte hanterar attributen hos NMD.

test	*underlag undersökt fall*	*område*	*beräkning*	*mv (dB)*	*s (dB)*	*max (dB)*	*min (dB)*
markabsorption	schablon $e \leq 1$ (ej stadskärna)	Högsbo	raster	+0,9	0,8	+14,9	0,0
markabsorption	schablon $e \leq 1$ (ej stadskärna)	Högsbo	fasad	**+1,3**	0,7	+4,8	+0,2
markabsorption	schablon $e \leq 1$ (ej stadskärna)	Lerum N	raster	**+1,4**	0,4	+5,1	–4,9
markabsorption	schablon $e \leq 1$ (ej stadskärna)	Lerum N	fasad	**+1,4**	0,3	+2,2	+0,6
markabsorption	schablon $e \leq 1$ (ej stadskärna)	Lerum M	raster	+1,0	0,4	+3,0	–0,9
markabsorption	schablon $e \leq 1$ (ej stadskärna)	Lerum M	fasad	**+1,5**	0,6	+2,6	+0,5
markabsorption	schablon $e \leq 1$ (ej stadskärna)	Lerum S	raster	+0,2	0,2	+5,1	–3,4
markabsorption	schablon $e \leq 1$ (ej stadskärna)	Lerum S	fasad	+0,5	0,3	+1,4	0,0
markabsorption	schablon $e > 1$ (stadskärna)	Högsbo	raster	**–1,3**	**1,2**	0,0	–7,8
markabsorption	schablon $e > 1$ (stadskärna)	Högsbo	fasad	**–1,9**	**1,2**	0,0	–7,4
markabsorption	okulär bedömning mjuk/hård	Högsbo	raster	+0,3	0,3	+1,8	–0,1
markabsorption	okulär bedömning mjuk/hård	Högsbo	fasad	+0,5	0,4	+1,6	0,0
markabsorption	simulering snö	Lerum N	raster	**+1,4**	0,3	+2,2	+0,6
markabsorption	simulering snö	Lerum N	fasad	**+1,4**	0,4	+5,1	–4,9
markabsorption	simulering snö	Lerum M	raster	**+3,4**	0,9	+5,5	+0,8
markabsorption	simulering snö	Lerum M	fasad	**+2,8**	**1,5**	+5,7	–0,4
markabsorption	simulering snö	Lerum S	raster	+0,7	0,7	+4,7	0,0
markabsorption	simulering snö	Lerum S	fasad	+0,4	0,6	+5,2	–3,1
refraktion	Nantes ($e \leq 1$)	Högsbo	raster	+0,4	0,3	+2,4	–1,0
refraktion	Nantes ($e \leq 1$)	Högsbo	fasad	+0,6	0,4	+2,0	–0,5
refraktion	Montélimar ($e \leq 1$)	Högsbo	raster	+0,4	0,5	+4,0	–1,6
refraktion	Montélimar ($e \leq 1$)	Högsbo	fasad	+0,7	0,6	+3,1	–0,4
refraktion	Nantes ($e > 1$)	Högsbo	raster	+0,6	0,5	+2,4	–0,4
refraktion	Nantes ($e > 1$)	Högsbo	fasad	+0,9	0,5	+2,1	–0,3
refraktion	Montélimar ($e > 1$)	Högsbo	raster	+0,7	0,7	+4,6	–0,8
refraktion	Montélimar ($e > 1$)	Högsbo	fasad	+1,0	0,9	+4,3	–0,2
refraktion	p_f=0% ($e > 1$))	Högsbo	raster	**+2,0**	**1,8**	+18,2	–0,9
refraktion	p_f=0% ($e > 1$))	Högsbo	fasad	**+3,0**	**1,9**	+10,0	–0,6
refraktion	Nantes	Lerum N	raster	**+1,2**	0,4	+5,8	–2,3
refraktion	Nantes	Lerum N	fasad	**+1,1**	0,4	+2,0	–0,3
refraktion	Nantes	Lerum M	raster	**+1,6**	0,6	+3,0	–1,1
refraktion	Nantes	Lerum M	fasad	**+1,7**	0,6	+2,3	–1,5
refraktion	Nantes	Lerum S	raster	+0,2	0,2	+5,1	–3,4
refraktion	Nantes	Lerum S	fasad	+0,9	0,6	+2,4	–2,1
refraktion	Montélimar	Lerum N	raster	**+2,2**	**1,2**	+6,2	–4,1
refraktion	Montélimar	Lerum N	fasad	**+2,1**	**1,2**	+4,7	–0,4
refraktion	Montélimar	Lerum M	raster	**+1,1**	0,4	+4,3	–7,0
refraktion	Montélimar	Lerum M	fasad	**+1,9**	**1,1**	+4,1	–1,8
refraktion	Montélimar	Lerum S	raster	**+1,3**	1,0	+6,0	–3,3
refraktion	Montélimar	Lerum S	fasad	+0,9	1,0	+4,1	–0,7

Tabell 3. Skillnader i L_{den} mellan referensfallet och fall med annat underlag för markabsorption eller refraktion, redovisade som medelvärde, standardavvikelse, max- och minvärde över samtliga beräknade punkter. Medelvärden och standardavvikelser >1 dB har markerats med fetstil. Sammanställning av värden från samtliga histogram i avsnitt 5.1. Ljudnivåer beräknade på h=4m med CNOSSOS-EU och svenska emissionsdata enligt [3].

Godkänd av uppdragsgivare
Inväntar granskning

5.2 Betydelse av underlag för markabsorption vid inhemska beräkningar med Nord96, CNOSSOS-EU och Nord2000

I detta avsnitt redovisas exempel på hur stor betydelse olika markabsorptionsunderlag har vid inhemska beräkningar. Jämförelserna görs separat för varje beräkningsmetod (se avsnitt 5.3 för korsvisa jämförelser mellan metoderna). Som referens valdes markabsorption som definierats med Fastighetskartan enligt den metod som redovisas i del 1 avsnitt 2.1.1.3.

Ljudnivåer beräknades som dygnsekvivalent ljudnivå, med bullerkonturer på höjden 1,5 m över mark och fasadnivåer vid samtliga våningsplan. För att efterlikna ljudutbredningen hos Nord96, som hör samman med de svenska riktvärdena (se avsnitt 1), gjordes beräkningar med CNOSSOS-EU med gynnsam ljudutbredning (p_f=100% hela dygnet), medan beräkningar med Nord2000 gjordes med parametervärden enligt Figur 1.

Samma urval av olika markabsorptionsunderlag prövades som i avsnitt 5.1, med undantag för snötäcke som utgick då inhemska beräkningar enbart görs för barmark:

- Markabsorption definierad från Fastighetskarta enligt metod i del 1.
- Markabsorption definierad från Fastighetskarta men begränsad till hård och mjuk mark enligt avsnitt 4.4. Detta kan ses som en simulering av när markabsorptionen definieras med okulär bedömning av ortofoto. Hård och mjuk mark representerades i CNOSSOS-EU av G=0 respektive G=1, och i Nord2000 användes impedansklasserna G respektive D för mark, samt H för vatten.
- Mjuk mark överallt förutom vattenytor, enligt en schablon för områden utanför stadskärna (exploateringstal $e \leq 1$) från kartläggningsanvisningar i [43]. För CNOSSOS-EU sattes mjuk mark till G=1 och vattenytor (hård mark) till G=0. Vid beräkning med Nord2000 sattes mjuk mark till impedansklass D och vattenytor till impedansklass H.
- Hård mark överallt (enbart i Högsbomodellen), enligt schablon för stadskärna (exploateringstal e>1) [43]. Hård mark representerades i CNOSSOS-EU av G=0 och i Nord2000 av impedansklass G. Som en förenkling definierades hela modellen som hård mark, vilket egentligen inte är helt korrekt då ytor som skulle kunna räknas som parkområde, och som enligt schablonen ska räknas som mjuk mark, förekommer i modellens yttre delar (utanför det beräknade området). Det bedömdes dock ha försumbar inverkan på denna studie.

För Nord96 som enbart har två markabsorptionsvärden, hård och mjuk mark, sammanfaller de båda första punkterna.

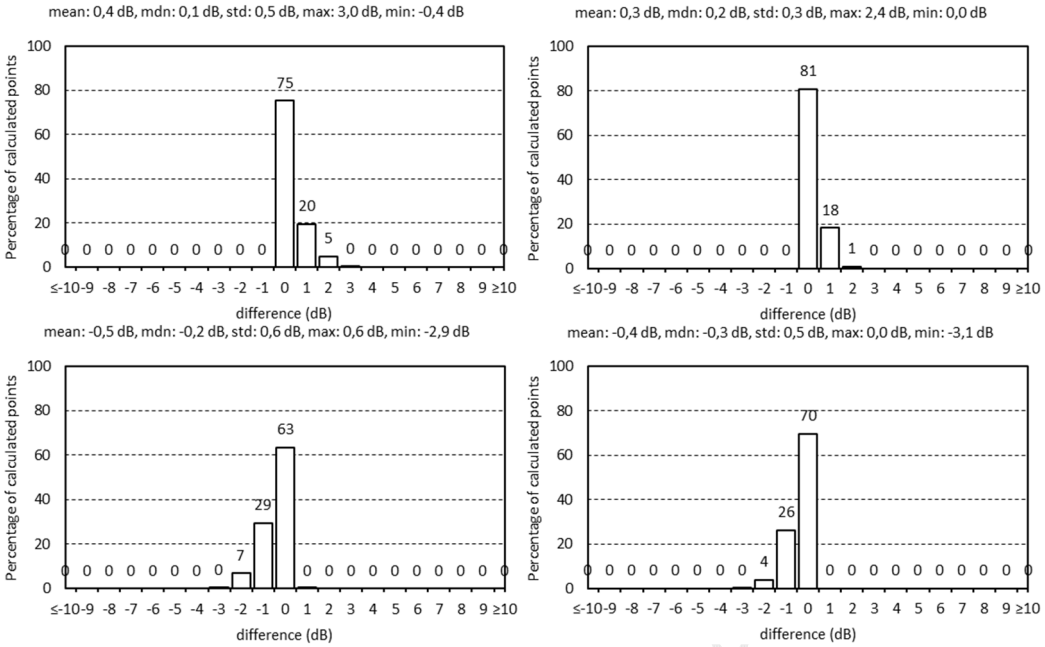
Resultaten redovisas som ljudnivåskillnader och histogram i Figur 49–Figur 63. En sammanställning över resultaten redovisas i Tabell 4. Bullerkonturer med dygnsekvivalenta nivåer 1,5 m över mark, beräknade med markabsorption definierad från Fastighetskarta, redovisas i avsnitt 5.3.2.1 (se Figur 82 för nivåer i Högsbo och Figur 89–Figur 91 för nivåer i Lerum).

5.2.1 Resultat Nord96

Testet där markabsorption definieras med Fastighetskarta men begränsas till mjuk och hård mark utgår eftersom Nord96 ändå bara har hård och mjuk mark.

Vid betraktande av nivåskillnaderna från Högsbo i Figur 49 kan det förefalla som att schablonen för stadskärna i just det här fallet överlag ger mest korrekta värden, trots att området inte uppfyller kriterierna för stadskärna som anges i kartläggningsanvisningarna i [43] (exploateringstalet *e* är ca 0,5). I själva verket visar histogrammen i Figur 50 att båda schablonerna ger ungefär lika stora avvikelser, där schablonen med mjuk mark underskattar nivåerna med i medeltal 0,4 dB (standardavvikelse 0,5 dB), medan schablonen med hård mark överskattar med i medeltal 0,5 dB (standardavvikelse 0,6 dB). De största avvikelserna uppgår till ca 3 dB.

Figur 49. Högsbo, beräkning med Nord96. Nivåskillnader L_{Aeq24h}, h=1,5 m över mark.
Övre: resultat med markabsorption definierad från Fastighetskarta, minus resultat då marken generellt antas vara mjuk med undantag för vatten.
Undre: resultat med markabsorption definierad från Fastighetskarta, minus resultat då marken generellt antas vara hård.



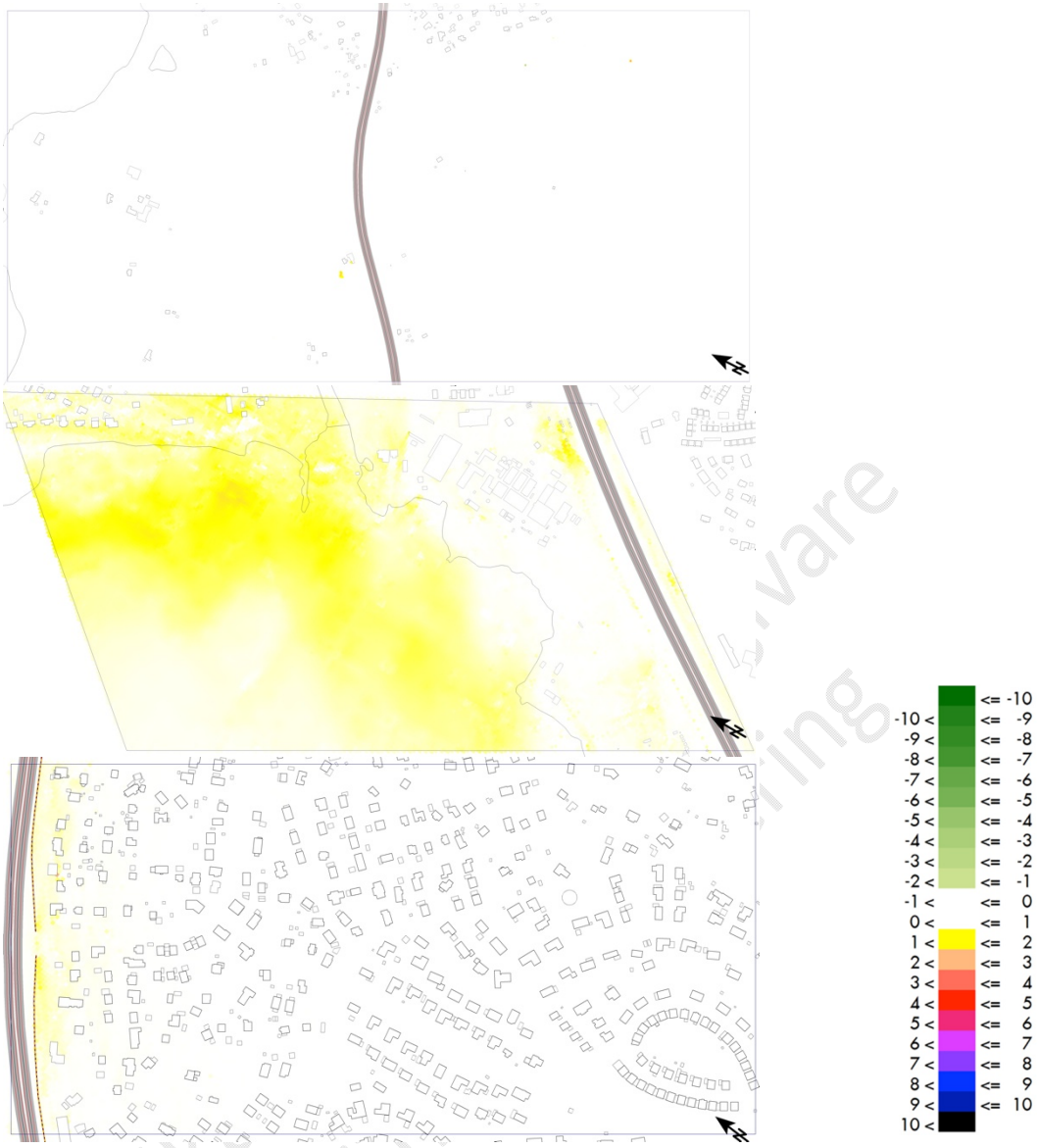
Figur 50. Högsbo, beräkning med Nord96, fördelning nivåskillnader L_{Aeq24h}. Till vänster rasterberäkning h=1,5 m, till höger fasadnivå per våningsplan.
Övre: resultat med markabsorption definierad från Fastighetskarta, minus resultat då marken generellt antas vara mjuk med undantag för vatten.
Undre: resultat med markabsorption definierad från Fastighetskarta, minus resultat då marken generellt antas vara hård.

Eftersom de undersökta områdena i Lerum-modellen är långt från vad som kan betraktas som stadskärna utgick här även testet av schablonen med hård mark. Kvar är en jämförelse mellan definition av markabsorption från Fastighetskarta (begränsad till hård och mjuk mark) och schablonen med mjuk mark och vattenytor.

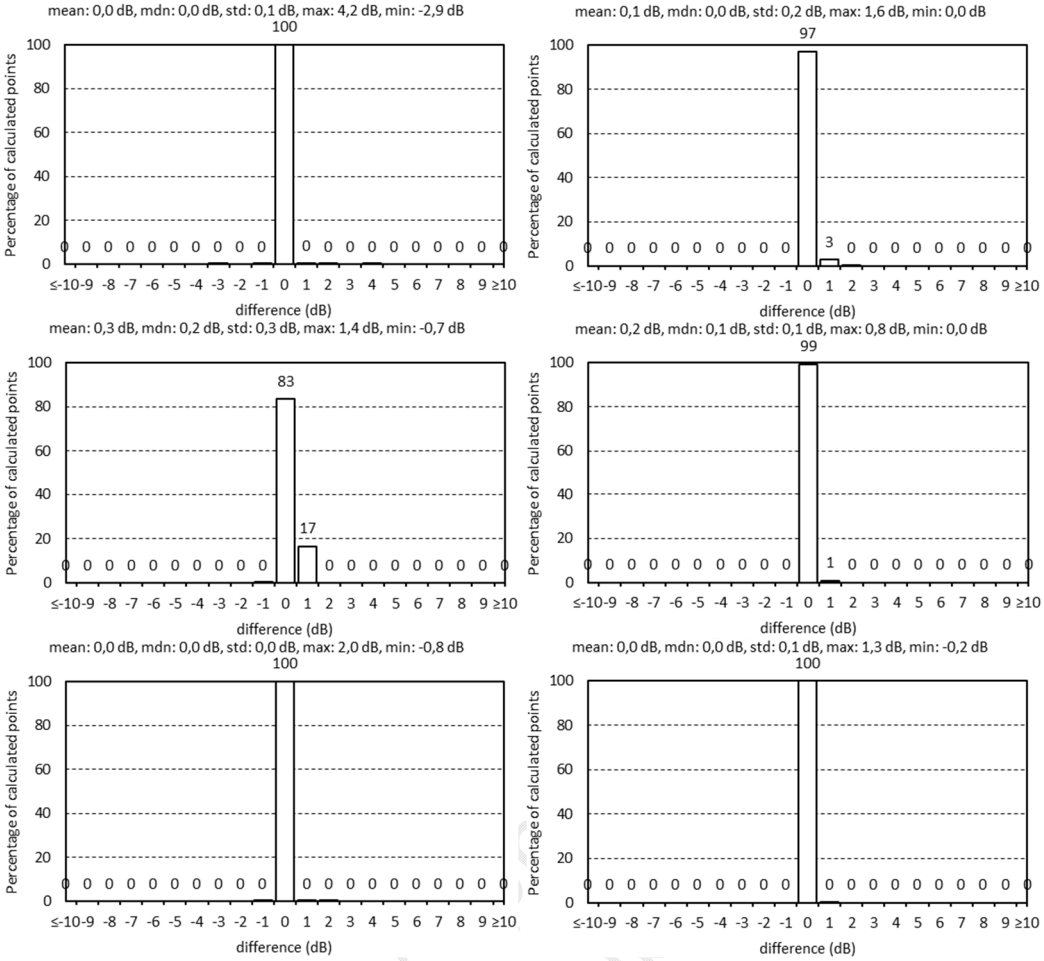
I både Lerum S och Lerum N blir skillnaderna närmast obefintliga, se Figur 51. Från histogrammen i Figur 52 ser vi att avvikelsernas medelvärden och standardavvikelser som högst uppgår till 0,1 dB, även om ett fåtal enskilda större avvikelser förekommer, som mest 4,1 dB.

Även i Lerum M är skillnaderna små men ändå något större än i Lerum S och Lerum N. En möjlig orsak (ej verifierad) är att det norr om den beräknade ytan förekommer områden som Fastighetskartan klassar som hård mark (hög bebyggelse, industribebyggelse samt torg, jämför Figur 55), och att frånvaron av dessa områdens markabsorption i schablonen skulle kunna förklara att de beräknade ljudnivåerna blir något lägre. Det kan ifrågasättas huruvida det är med verkligheten överensstämmande att dessa begränsade och relativt avlägsna ytor har såpass stor påverkan. En liknande effekt kan även ses hos CNOSSOS-EU men inte hos Nord2000. Avvikelsernas medelvärden och standardavvikelser uppgår till ≤0,3 dB.

Godkänd av uppdragsg
Invänta publicering



Figur 51. Lerum, beräkning med Nord96, nivåskillnader L_{Aeq24h}, h=1,5 m över mark. Resultat med markabsorption definierad från Fastighetskarta, minus resultat då marken generellt antas vara mjuk med undantag för vatten. Uppifrån: Lerum S, Lerum M och Lerum N.



Figur 52. Lerum, beräkning med Nord96, fördelning nivåskillnader L_{Aeq24h}. Till vänster rasterberäkning h=1,5 m, till höger fasadnivå per våningsplan. Uppifrån: Lerum S, Lerum M och Lerum N.
Resultat med markabsorption definierad från Fastighetskarta, minus resultat då marken generellt antas vara mjuk med undantag för vatten.

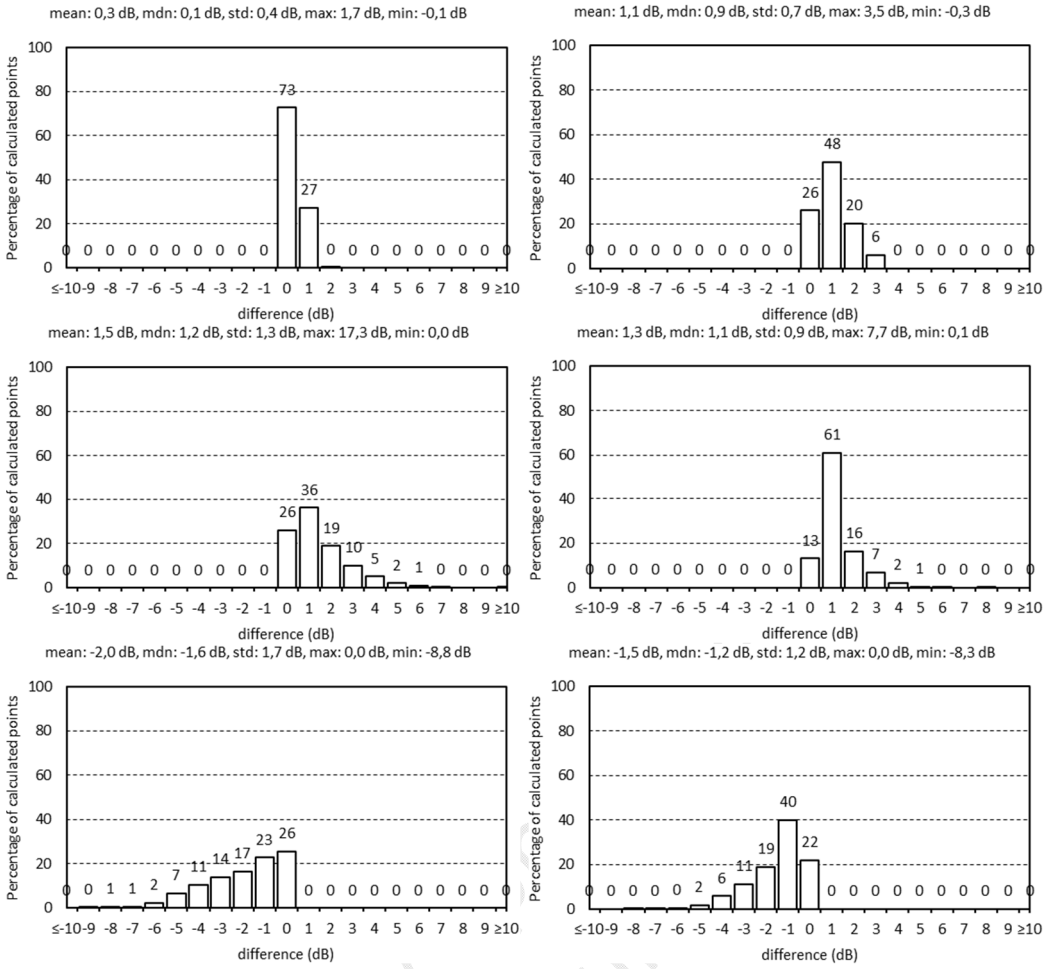
5.2.2 Resultat CNOSSOS-EU

Simuleringen av att bedöma markabsorptionen från ortofoton indikerar att avvikelserna kan bli mer än försumbara, se övre vänstra plotten i Figur 53. När markabsorptionen i Högsbomodellen definieras med Fastighetskartan men begränsas till mjuk och hård mark, blir avvikelserna i medeltal 0,3 dB för bullerkonturer och 1,1 dB för fasadnivåer, och respektive standardavvikelser är 0,4 dB och 0,7 dB (jämför Figur 54). Skillnaderna är något större i den östra delen av modellen, som består av områden som Fastighetskartan klassar som låg bebyggelse respektive öppen mark (jämför Figur 15) med markabsorption G=0,7 respektive impedansklass E.

Både schablonen med mjuk mark och vattenytor (för områden med $e \leq 1$) och schablonen med hård mark (för stadskärnor med $e > 1$) ger större avvikelser än när motsvarande jämförelse görs med Nord96. Den förra ger som medelvärde ≤1,5 dB lägre ljudnivå än Fastighetskartan, med standardavvikelser ≤1,3 dB, vilket gör att

avvikelser i storleksordningen ca 3 dB är vanligt förekommande. Schablonen med hård mark ger som medelvärde ≤2,0 dB högre ljudnivå, med standardavvikelser ≤1,7 dB, och ca 4–5 dB som vanligt förekommande avvikelser. Sammantaget blir avvikelserna stora med båda schablonerna.

Figur 53. Högsbo, beräkning med CNOSSOS-EU med p_f=100% hela dygnet. Nivåskillnader L_{Aeq24h}, h=1,5 m över mark.
Uppe till vänster: resultat med markabsorption definierad från Fastighetskarta, minus resultat med markabsorption definierad från Fastighetskarta men begränsad till hård respektive mjuk mark.
Uppe till höger: resultat med markabsorption definierad från Fastighetskarta, minus resultat då marken generellt antas vara mjuk med undantag för vatten.
Nere till vänster: resultat med markabsorption definierad från Fastighetskarta, minus resultat då marken generellt antas vara hård.



Figur 54. Högsbo, beräkning med CNOSSOS-EU med p_f=100% hela dygnet. Fördelning nivåskillnader L_{Aeq24h}. Till vänster rasterberäkning h=1,5 m, till höger fasadnivå per våningsplan.
Första raden: resultat med markabsorption definierad från Fastighetskarta, minus resultat med markabsorption definierad från Fastighetskarta men begränsad till hård respektive mjuk mark.
Andra raden: resultat med markabsorption definierad från Fastighetskarta, minus resultat då marken generellt antas vara mjuk, med undantag för vatten.
Tredje raden: resultat med markabsorption definierad från Fastighetskarta, minus resultat då marken generellt antas vara hård.

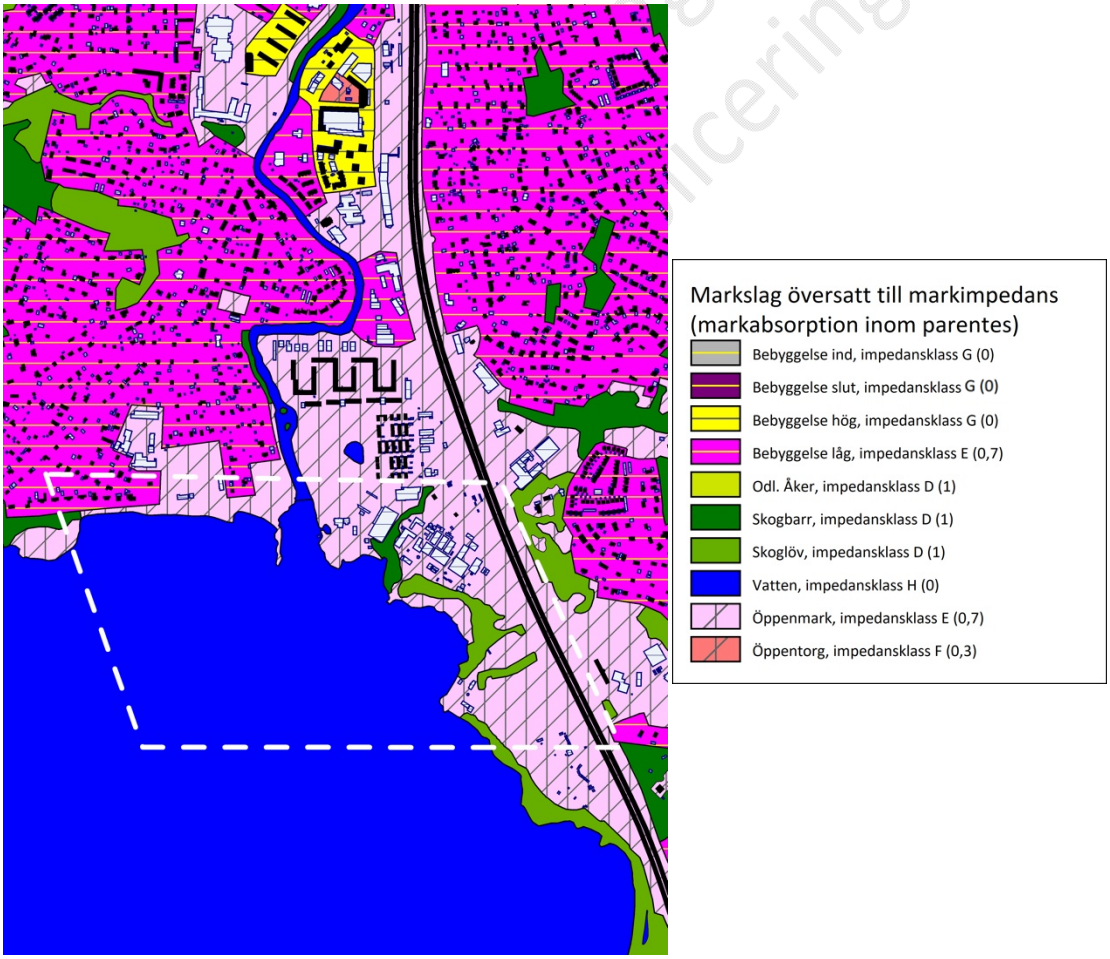
I Lerum S och Lerum N ger de två testade underlagen, simulerad definition baserad på ortofoton respektive schablon med mjuk mark och vatten, samma resultat, och för att spara utrymme redovisas bara det ena, se Figur 56–Figur 57.

I Lerum S blir skillnaderna mot Fastighetskartan överlag relativt små, med medelvärde ≤0,6 dB och standardavvikelse ≤0,4 dB. Förklaringen är att den allra största delen av området är mark som enligt Fastighetskartan ska definieras som G=1, alternativt utgörs av vattenyta, se Figur 17. Endast några mindre områden med öppen mark respektive låg bebyggelse översätts till G=0,7, och ger skillnader när definitionen baseras på ortofoto respektive schablon med mjuk mark och vatten.

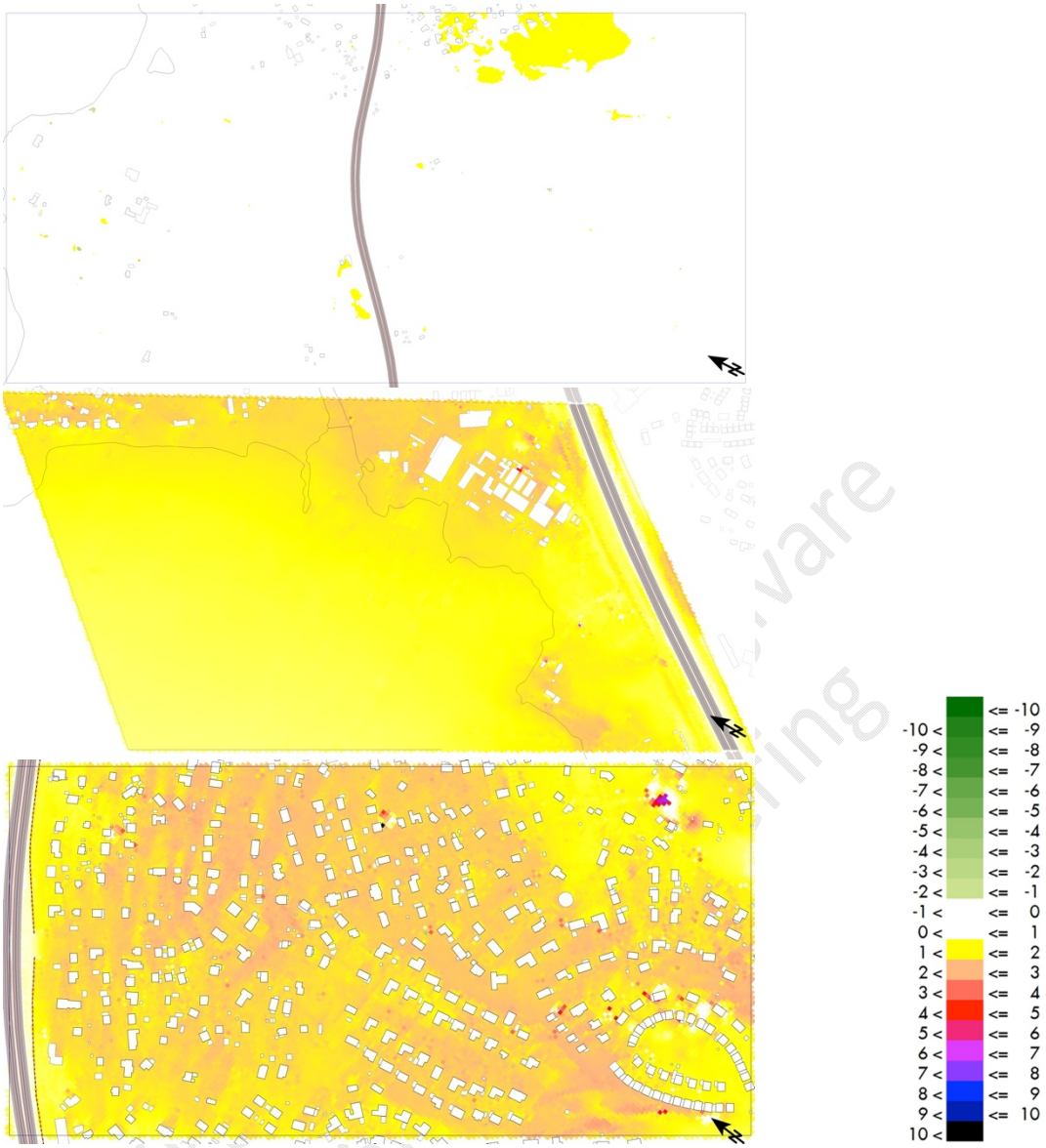
I Lerum N gäller det omvända eftersom Fastighetskartan klassar nästan hela området som låg bebyggelse respektive öppen mark, vilka översätts till G=0,7. Detta

leder till att avvikelserna i medeltal uppgår till 1,5 dB med standardavvikelse 0,5 dB. Skillnaderna i det aktuella fallet hade dock sannolikt blivit något mindre om de lokala gatorna i området tagits med i beräkningarna, eftersom CNOSSOS-EU då hade inkluderat vägarnas bidrag till markabsorptionen (G=0) i beräkningarna.

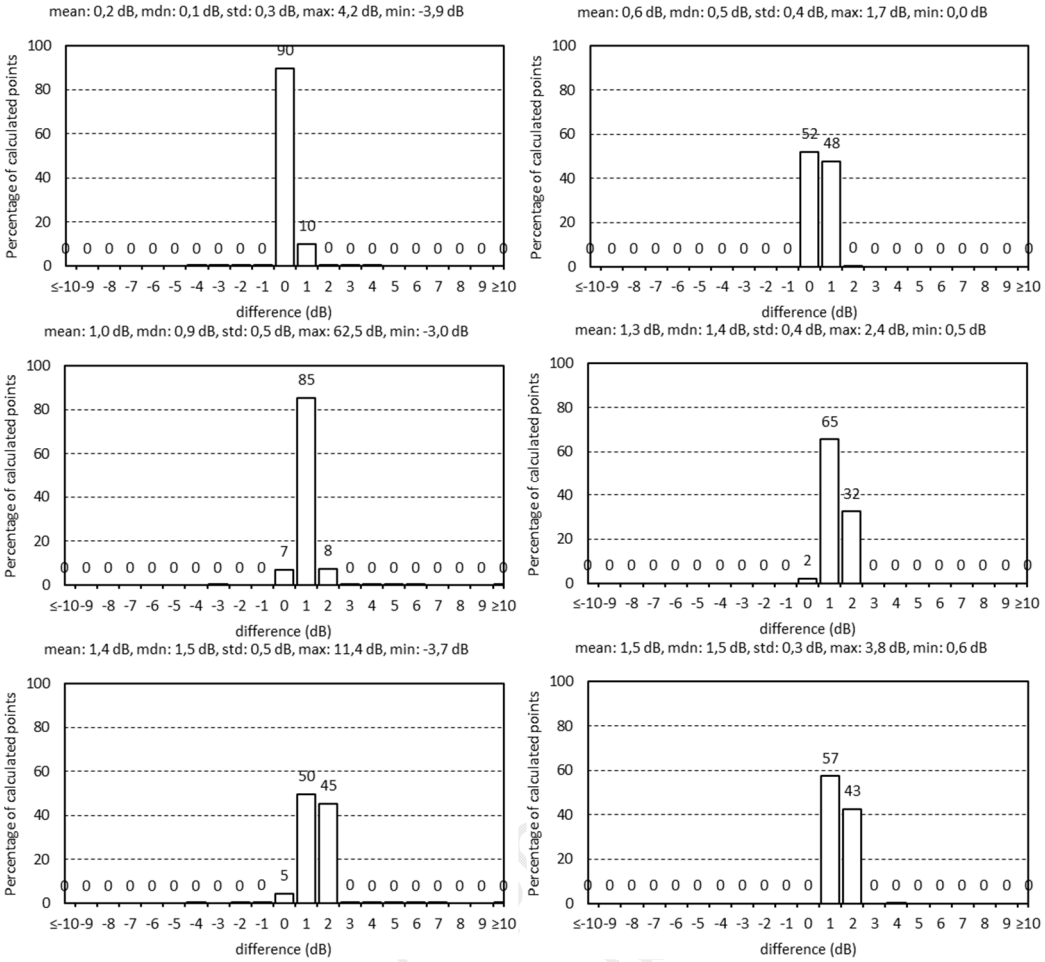
Lerum M sticker ut gentemot de andra två Lerumområdena i bemärkelsen att de två förenklade underlagen (simulerat ortofoto, respektive schablon med mjuk mark och vatten) ger olika resultat trots att de framstår som lika i allt väsentligt. Jämför bullerkonturerna i Figur 56 och Figur 58, och histogrammen i Figur 57 med de Figur 59. Simulerat ortofoto ger som medelvärde ≤1,3 dB skillnad och ≤0,5 dB standardavvikelse, medan schablonen som medelvärde ger ≤1,7 dB lägre värden med 0,7 dB standardavvikelse. Det enda som skiljer mellan de två underlagen är att det norr om den beräknade ytan (se Figur 55) finns några mindre ytor hård mark med hög bebyggelse, industribebyggelse och torg som utgår när schablonen med mjuk mark och vattenytor används, vilket leder till lägre ljudnivåer. Huruvida det är realistiskt att de här begränsade och relativt avlägsna ytorna har såpass stor påverkan kan ifrågasättas, men ingen närmare analys har gjorts. Värt att notera är att samma influens inte syns vid beräkning med Nord2000.



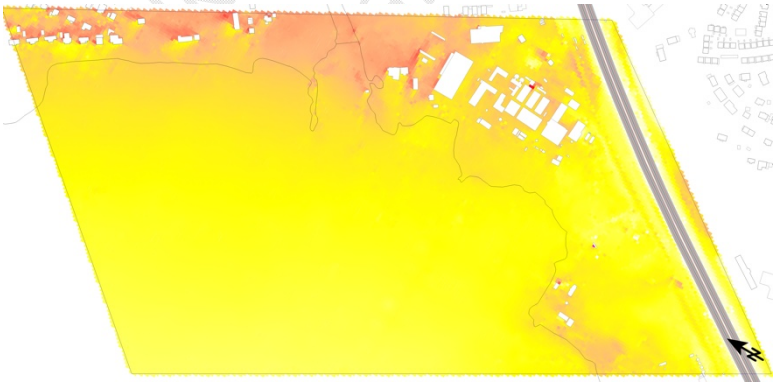
Figur 55. Lerum M, identifiering av markimpedans och markabsorption med hjälp av Fastighetskartans markslag. Samma redovisning som i Figur 17, men utzoomad.



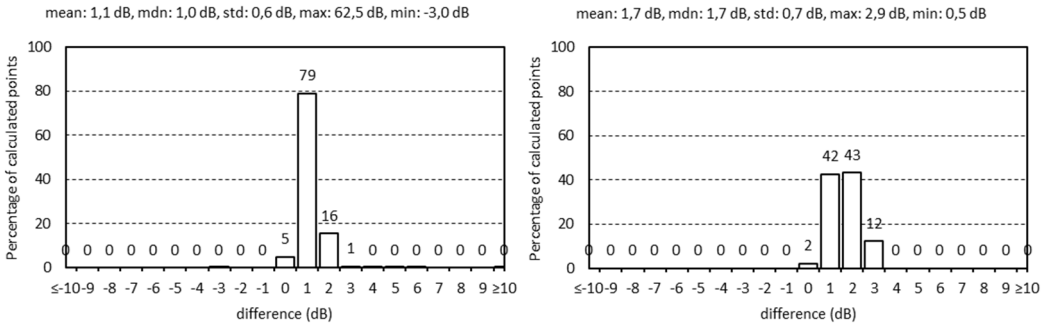
Figur 56. Lerum, beräkning med CNOSSOS-EU med p_f=100% dygnet runt. Nivåskillnader L_{Aeq24h}, h=1,5 m över mark. Uppifrån: Lerum S, Lerum M och Lerum N.
Resultat med markabsorption definierad från Fastighetskarta, minus resultat med markabsorption definierad från Fastighetskarta men begränsad till hård respektive mjuk mark.



Figur 57. Lerum, beräkning med CNOSSOS-EU med p_f=100% hela dygnet. Fördelning nivåskillnader L_{Aeq24h}. Till vänster rasterberäkning h=1,5 m, till höger fasadnivå per våningsplan. Uppifrån: Lerum S, Lerum M och Lerum N.
Resultat med markabsorption definierad från Fastighetskarta, minus resultat med markabsorption definierad från Fastighetskarta men begränsad till hård respektive mjuk mark.



Figur 58. Lerum M, beräkning med CNOSSOS-EU med p_f=100% dygnet runt. Nivåskillnader L_{Aeq24h}, h=1,5 m över mark.
Resultat med markabsorption definierad från Fastighetskarta, minus resultat då marken generellt antas vara mjuk med undantag för vatten.



Figur 59. Lerum M, beräkning med CNOSSOS-EU med p_f=100% hela dygnet. Fördelning nivåskillnader L_{Aeq24h}. Till vänster rasterberäkning h=1,5 m, till höger fasadnivå per våningsplan. Resultat med markabsorption definierad från Fastighetskarta, minus resultat då marken generellt antas vara mjuk med undantag för vatten.

5.2.3 Resultat Nord2000

Effekten av att ersätta Fastighetskartan med de mindre detaljerade underlagen blir inte lika stor vid beräkning med Nord2000 som vid beräkning med CNOSSOS-EU, se Figur 60 och Figur 61.

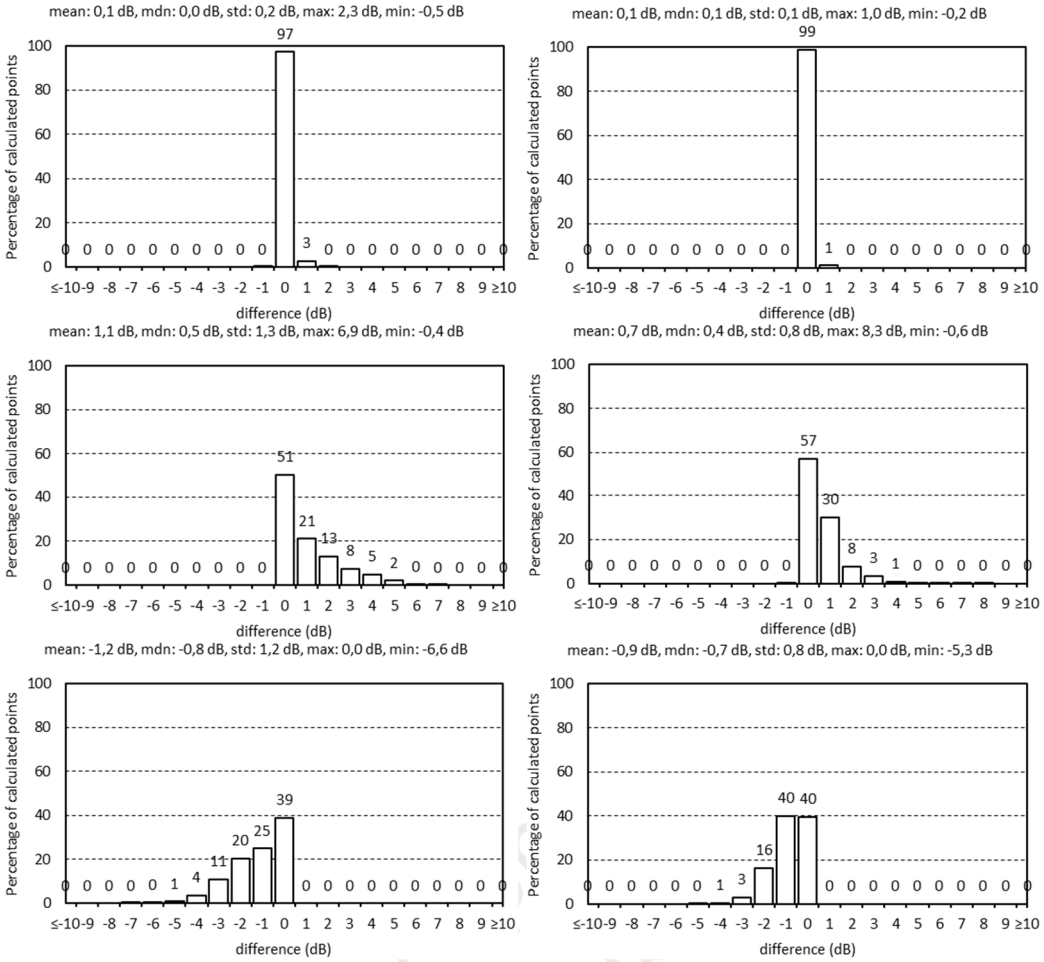
Vid jämförelsen i Högsbomodellen, mellan att använda Fastighetskartan som underlag, jämfört med simuleringen av att markabsorption definieras med stöd av ortofoto, stannar avvikelsernas medelvärde på 0,1 dB med standardavvikelser ≤0,2 dB.

Schablonen med mjuk mark + vatten ger avvikelser som i medeltal uppgår till ≤1,1 dB med standardavvikelse ≤1,3 dB. När Fastighetskartan ersätts med schablonen med hård mark blir medelvärdet av skillnaderna ≤1,2 dB och standardavvikelsen ≤1,2 dB.

Godkänd av uppdragsgivare
Inväntar publicering

Figur 60. Högsbo, beräkning med Nord2000 (meteo Nord96). Nivåskillnader L_{Aeq24h}, h=1,5 m över mark.
Uppe till vänster: resultat med markimpedans definierad från Fastighetskarta, minus resultat med markimpedans definierad från Fastighetskarta men begränsad till hård respektive mjuk mark.
Uppe till höger: resultat med markimpedans definierad från Fastighetskarta, minus resultat då marken generellt antas vara mjuk, med undantag för vatten.
Nere till vänster: resultat med markimpedans definierad från Fastighetskarta, minus resultat då marken generellt antas vara hård.

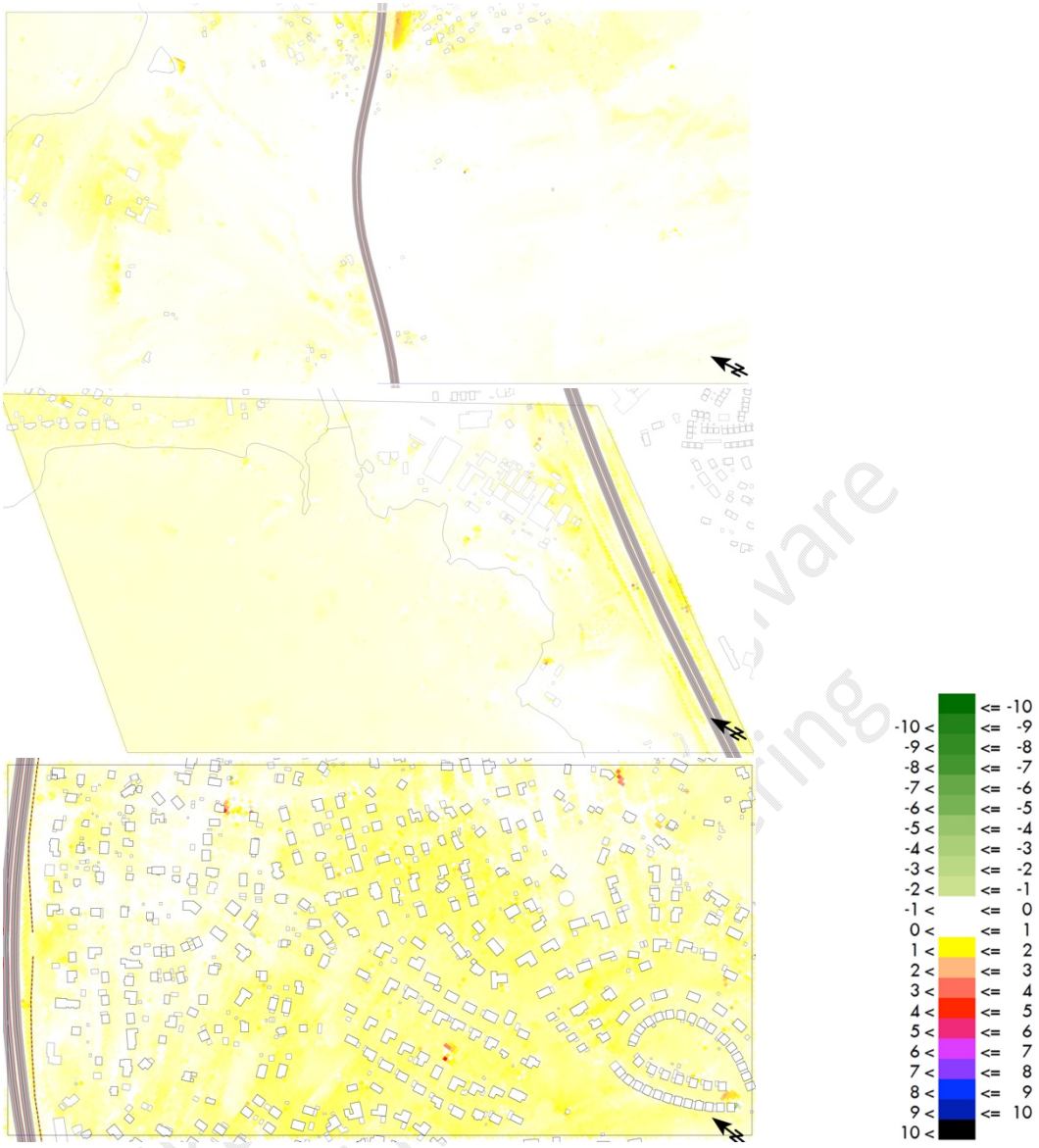
Gäller av uppdragsgivare
Inte för publicering



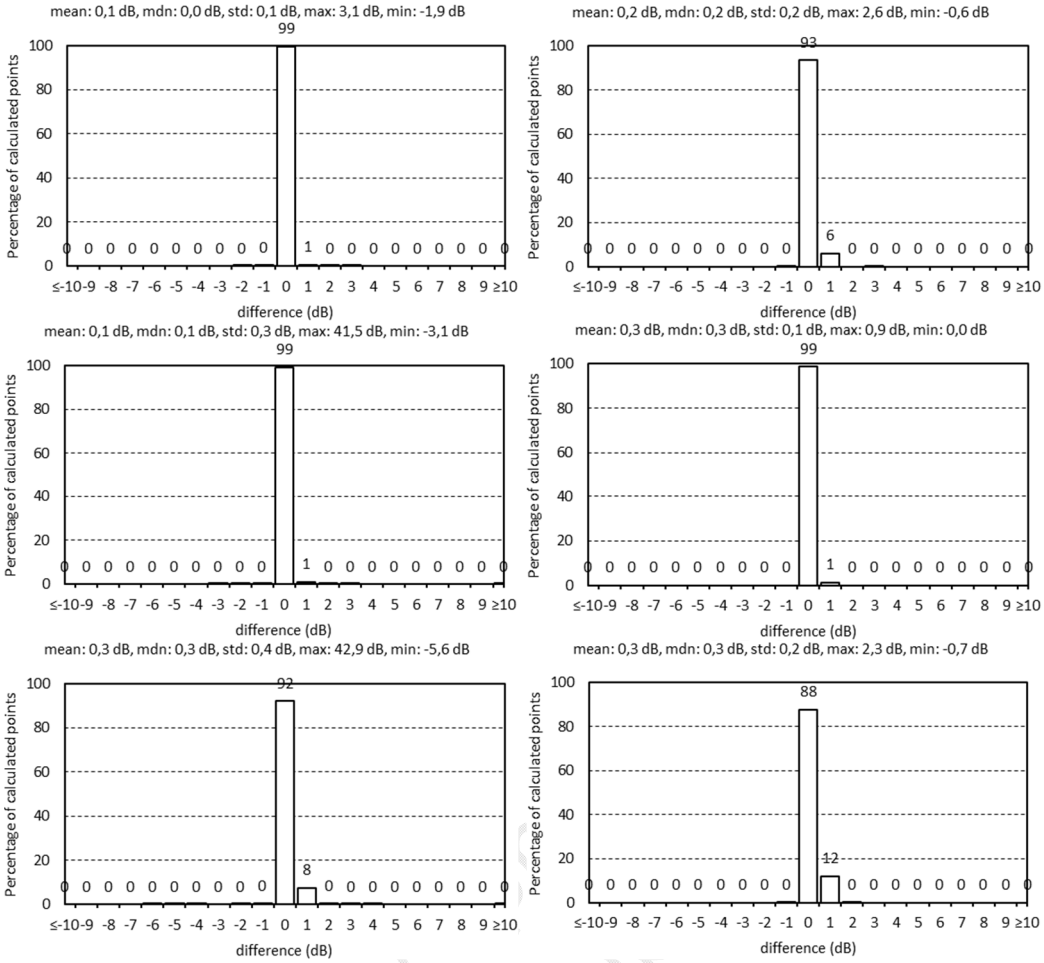
Figur 61. Högsbo, beräkning med Nord2000 (meteo Nord96). Fördelning nivåskillnader L_{Aeq24h}. Till vänster rasterberäkning h=1,5 m, till höger fasadnivå per våningsplan.
Första raden: resultat med markimpedans definierad från Fastighetskarta, minus resultat med markimpedans definierad från Fastighetskarta men begränsad till hård respektive mjuk mark.
Andra raden: resultat med markimpedans definierad från Fastighetskarta, minus resultat då marken generellt antas vara mjuk, med undantag för vatten.
Tredje raden: resultat med markabsorption definierad från Fastighetskarta, minus resultat då marken generellt antas vara hård.

För Lerum redovisas av utrymmesskäl bara resultaten från jämförelsen mellan Fastighetskartan och när definitionen görs med Fastighetskartan men begränsad till hård respektive mjuk mark. Samma resultat erhålls dock i samtliga tre Lerumområden även vid jämförelsen med schablonen med mjuk mark och vattenytor.

I alla tre områdena är skillnadernas medelvärden ≤0,3 dB och standardavvikelserna är ≤0,4 dB, se Figur 62 och Figur 63.



Figur 62. Lerum, beräkning med Nord2000 (meteo Nord96). Nivåskillnader L_{Aeq24h}, h=1,5 m över mark. Uppifrån: Lerum S, Lerum M och Lerum N.
Resultat med markabsorption definierad från Fastighetskarta, minus resultat med markabsorption definierad från Fastighetskarta men begränsad till hård respektive mjuk mark.



Figur 63. Lerum, beräkning med Nord2000 (meteo Nord96). Fördelning nivåskillnader L_{Aeq24h}. Till vänster rasterberäkning h=1,5 m, till höger fasadnivå per våningsplan. Uppifrån: Lerum S, Lerum M och Lerum N.
Resultat med markimpedans definierad från Fastighetskarta, minus resultat med markimpedans definierad från Fastighetskarta men begränsad till hård respektive mjuk mark.

5.2.4 Sammanfattade resultat och diskussion

Det kommer inte som någon överraskning att resultat beräknade med Nord96, som bara tar hänsyn till mjuk och hård mark, påverkas mindre när markabsorption definierad med Fastighetskartan ersätts med ett mindre detaljerat underlag, eftersom metoden ändå inte kan urskilja detaljerna. Exempelvis motsvarar den ena undersökta förenklingen, att avrunda alla områdestyper i Fastighetskartan till mjuk eller hård mark, just det som händer när Nord96 läser in markabsorptionsdata med fler värden än bara hård och mjuk mark. Trots det innebär det tydligt försämrad noggrannhet om detaljerade markabsorptionsdata, som t ex en kartering av markabsorption från ortofoto, rutinmässigt ersätts med schabloner.

I stadsområdet Högsbo var medelvärdet av avvikelserna visserligen måttliga ≤0,5 dB när en schablon användes, men standardavvikelsen var ändå ≤0,6 dB och avvikelser i storleksordningen 2 dB relativt vanligt förekommande. I Lerum S och N var skillnaderna försumbara, med medelvärde ≤0,1 dB och standardavvikelse

≤0,2 dB, och i Lerum M var skillnaderna bara unset större, medelvärde ≤0,3 dB med standardavvikelse ≤0,3 dB.

Eftersom CNOSSOS-EU har stöd för mer detaljerade markabsorptionsdata blir nivåskillnaderna vid förenkling av underlaget föga förvånande generellt sett större än med Nord96. Att använda ortofoton för att bedöma markabsorptionen på traditionellt vis, begränsat till enbart hård och mjuk mark, ger avvikelser med medelvärden ≤1,5 dB med standardavvikelse ≤0,7 dB. Detta pekar på ett behov av en förbättrad metod för manuell bedömning av ortofoton, som gör det möjligt att även identifiera områden med G=0,3 och G=0,7.

När schablonerna mjuk mark och vatten respektive hård mark används blir nivåskillnaderna mot Fastighetskarta relativt stora i både Högsbo och Lerum, medelvärde ≤2,0 dB och standardavvikelse ≤1,7 dB.

Samma tendenser som hos CNOSSOS-EU kan ses även hos Nord2000, men nivåskillnaderna blir mindre. Vid simuleringen av ortofoto som underlag i Högsbo blir medelvärdet endast 0,1 dB med standardavvikelse ≤0,2 dB, och motsvarande i Lerum är medelvärde ≤0,3 dB och standardavvikelse ≤0,4 dB. När schablonerna mjuk mark och vatten respektive hård mark används i Högsbo blir medelvärde ≤1,2 dB och standardavvikelse ≤1,3 dB.

Mot bakgrund av att inhemska utredningar normalt har betydligt högre krav på noggrannhet än strategiska kartläggningar, rekommenderas att schabloner används sparsamt och med försiktighet. Detta blir särskilt viktigt om CNOSSOS-EU eller Nord2000 ersätter Nord96 som inhemsk beräkningsmetod. Här finns behov av kvalitetssäkrade produkter som kan användas rationellt för definition av markabsorption eller markimpedans. Fastighetskartan är trots allt bara baserad på kvalificerade gissningar och Nationella Marktäckedata finns inte tillgänglig på ett bra format för bullerberäkningar. Behov finns även av en anvisning för manuell bedömning av markabsorption/-impedans från ortofoton. Se del 1 avsnitt 2.1.

Godkänd av uppdragsgivare
Invänta publicering

beräkningsmetod	*underlag undersökt fall*	*område*	*beräkning*	*mv (dB)*	*s (dB)*	*max (dB)*	*min (dB)*
Nord96	schablon *e*≤1 (ej stadskärna)	Högsbo	raster	+0,4	0,5	+3,0	–0,4
Nord96	schablon *e*≤1 (ej stadskärna)	Högsbo	fasad	+0,3	0,3	+2,4	0,0
Nord96	schablon *e*>1 (stadskärna)	Högsbo	raster	–0,5	0,6	+0,6	–2,9
Nord96	schablon *e*>1 (stadskärna)	Högsbo	fasad	–0,4	0,5	0,0	–3,1
Nord96	schablon *e*≤1 (ej stadskärna)	Lerum S	raster	0,0	0,1	+4,2	–2,9
Nord96	schablon *e*≤1 (ej stadskärna)	Lerum S	fasad	+0,1	0,2	+1,6	0,0
Nord96	schablon *e*≤1 (ej stadskärna)	Lerum M	raster	+0,3	0,3	+1,4	–0,7
Nord96	schablon *e*≤1 (ej stadskärna)	Lerum M	fasad	+0,2	0,1	+0,8	0,0
Nord96	schablon *e*≤1 (ej stadskärna)	Lerum N	raster	0,0	0,0	2,0	-0,8
Nord96	schablon *e*≤1 (ej stadskärna)	Lerum N	fasad	0,0	0,1	+1,3	–0,2
CNOSSOS-EU	okulär bedömning mjuk/hård	Högsbo	raster	+0,3	0,4	+1,7	–0,1
CNOSSOS-EU	okulär bedömning mjuk/hård	Högsbo	fasad	**+1,1**	0,7	+3,5	–0,3
CNOSSOS-EU	schablon *e*≤1 (ej stadskärna)	Högsbo	raster	**+1,5**	**1,3**	+17,3	0,0
CNOSSOS-EU	schablon *e*≤1 (ej stadskärna)	Högsbo	fasad	**+1,3**	0,9	+7,7	+0,1
CNOSSOS-EU	schablon *e*>1 (stadskärna)	Högsbo	raster	**–2,0**	**1,7**	0,0	–8,8
CNOSSOS-EU	schablon *e*>1 (stadskärna)	Högsbo	fasad	**–1,5**	**1,2**	0,0	–8,3
CNOSSOS-EU	okulär bedömning mjuk/hård	Lerum S	raster	+0,2	0,3	+4,2	–3,9
CNOSSOS-EU	okulär bedömning mjuk/hård	Lerum S	fasad	+0,6	0,4	+1,7	0,0
CNOSSOS-EU	okulär bedömning mjuk/hård	Lerum M	raster	+1,0	0,5	~~+62,5~~	–3,0
CNOSSOS-EU	okulär bedömning mjuk/hård	Lerum M	fasad	**+1,3**	0,4	+2,4	+0,5
CNOSSOS-EU	okulär bedömning mjuk/hård	Lerum N	raster	**+1,4**	0,5	+11,4	–3,7
CNOSSOS-EU	okulär bedömning mjuk/hård	Lerum N	fasad	**+1,5**	0,3	+3,8	+0,6
CNOSSOS-EU	schablon *e*≤1 (ej stadskärna)	Lerum M	raster	**+1,1**	0,6	~~+62,5~~	–3,0
CNOSSOS-EU	schablon *e*≤1 (ej stadskärna)	Lerum M	fasad	**+1,7**	0,7	+2,9	+0,5
Nord2000	okulär bedömning mjuk/hård	Högsbo	raster	+0,1	0,2	+2,3	–0,5
Nord2000	okulär bedömning mjuk/hård	Högsbo	fasad	+0,1	0,1	+1,0	–0,2
Nord2000	schablon *e*≤1 (ej stadskärna)	Högsbo	raster	**+1,1**	**1,3**	+6,9	–0,4
Nord2000	schablon *e*≤1 (ej stadskärna)	Högsbo	fasad	+0,7	0,8	+8,3	–0,6
Nord2000	schablon *e*>1 (stadskärna)	Högsbo	raster	**–1,2**	**1,2**	0,0	–6,6
Nord2000	schablon *e*>1 (stadskärna)	Högsbo	fasad	–0,9	0,8	0,0	–5,3
Nord2000	okulär bedömning mjuk/hård	Lerum S	raster	+0,1	0,1	+3,1	–1,9
Nord2000	okulär bedömning mjuk/hård	Lerum S	fasad	+0,2	0,2	+2,6	–0,6
Nord2000	okulär bedömning mjuk/hård	Lerum M	raster	+0,1	0,3	~~+41,5~~	–3,1
Nord2000	okulär bedömning mjuk/hård	Lerum M	fasad	+0,3	0,1	+0,9	0,0
Nord2000	okulär bedömning mjuk/hård	Lerum N	raster	+0,3	0,4	~~+42,9~~	–5,6
Nord2000	okulär bedömning mjuk/hård	Lerum N	fasad	+0,3	0,2	+2,3	–0,7

Tabell 4. Skillnader i L_{Aeq24h} mellan beräkning då markabsorption bestäms med Fastighetskarta och beräkning med annat underlag för markabsorption, redovisade som medelvärde, standardavvikelse, max- och minvärde över samtliga beräknade punkter. Medelvärden och standardavvikelser >1 dB har markerats med fetstil. Sammanställning av värden från samtliga histogram i avsnitt 5.2. Bullerkonturer (raster) har beräknats på h=1,5 m över mark och fasadnivåer har beräknats per våningsplan. (Maxnoteringarna med röd överstrykning är felaktigt registrerade[10]).

[10] SoundPLAN undertrycker beräkning av ljudnivå i beräkningspunkter som hamnar inuti en byggnad. Av oklar anledning har sådan placering av vissa beräkningspunkter (på samma plats i samma modell) bedömts olika vid två olika beräkningstillfällen, så att det i ena fallet beräknas en ljudnivå men inte i andra fallet. I berörda beräkningspunkter blir resultatet av

5.3 Övriga jämförelser av beräkningsresultat från Nord96, CNOSSOS-EU och Nord2000

Här redovisas resultat från direkta jämförelser mellan ljudnivåer beräknade med de tre beräkningsmetoderna, dels för rak väg med en skärm, dels för verkliga modeller i Högsbo och Lerum. Uppkomna skillnader diskuteras i texten.

Till CNOSSOS-EU användes två olika underlag för andelen gynnsam ljudutbredning. Dels den schablon som används vid strategisk kartläggning (p_f=50/75/100%, dag/kväll/natt), och dels enbart gynnsam ljudutbredning (p_f=100% hela dygnet). Nord2000-beräkningarna använde inställningar enligt Figur 1 för att simulera ljudutbredningen hos Nord96. I avsnitt 5.3.3 redovisas även en jämförelse mellan CNOSSOS-EU och Nord2000 vid beräkning av L_{den}, där Nord2000 använder dansk väderstatistik som underlag.

5.3.1 Rak väg med och utan bullerskärm

Som ett komplement till beräkningarna i verkliga modeller över Högsbo och Lerum redovisas resultat för en enkel geometri med en rak väg på plan mark, och med en bullerskärm på ena sidan. Här redovisas även vertikala bullerkonturer beräknade med Nord2000 för fyra enskilda utbredningsklasser och en simulering av ljudhastighetsprofilen i CNOSSOS-EU.

Vägen är 7,5 m bred och upphöjd 0,2 m, med en linjekälla i vägmitt. Bullerskärmen är 3 m hög och placerad 5 m från vägmitt, se Figur 18. Ljudnivåer beräknades med mjuk (G=1 respektive impedansklass D) och hård mark (G=0, impedansklass G), som horisontella bullerkonturer 1,5 m och 4 m över mark, ±200 m från vägmitt. Beräkningar har även gjorts i ett vertikalplan tvärs vägen, ±100 m från vägmitt.

ÅDT var 1000 fordon/dygn med dygnsfördelning enligt trafikfall D i [43], varav 10% tunga fordon (Nord96), respektive 5% i vardera fordonskategori 2 och 3 (CNOSSOS-EU och Nord2000). Fordonskategori 3 hade 4 axlar vid beräkning med Nord2000. Hastigheten var 70 km/h. Vägytan var torr SMA 16 med temperatur 15 °C, och inga fordon hade dubbdäck. Emissionerna hos CNOSSOS-EU och Nord2000 korrigerades i enlighet med [3].

5.3.1.1 Resultat

Beräknade ljudnivåer (L_{Aeq24h}) redovisas som vanliga bullerkonturer i Figur 66–Figur 69, samt som vertikala bullerkonturer i Figur 78–Figur 79. Beräkningarna har inte inkluderat några reflexer varför resultaten på den oskärmade (vänstra) sidan av vägen är opåverkade av bullerskärmen.

skillnadsberäkningen därmed lika med ljudnivån från den beräkning som gjordes när beräkningspunkten bedömdes ligga utanför byggnaden, vilket blir en irrelevant maxnotering.

Jämförelser mellan ljudnivåer beräknade med Nord96 och ljudnivåer beräknade med CNOSSOS-EU respektive Nord2000 redovisas som skillnadsplottar i Figur 70–Figur 73. Motsvarande jämförelser mellan Nord2000 och CNOSSOS-EU presenteras i Figur 74–Figur 77 (Nord2000 minus CNOSSOS-EU).

Sammanställningar med aritmetiskt medelvärde, standardavvikelse, max- och minvärden för respektive skillnadsplot redovisas i Tabell 5–Tabell 8.

5.3.1.1.1 Utan bullerskärm, horisontella bullerkonturer

En översiktlig jämförelse av den fria utbredningen på vägens vänstra sida ger att differenserna mellan beräkningsmetoderna varierar från fall till fall, men att skillnaderna generellt är högre vid mjuk mark.

På 4 m höjd med hård mark blir skillnaderna små, se Figur 73 och Figur 77.

Vid 1,5 m höjd och hård mark skiljer det lite mer mellan metoderna än vid 4 m, se Figur 72. Detta framgår även vid en direkt jämförelse mellan Nord2000 och CNOSSOS-EU (Figur 76). Ljudnivåerna beräknade med CNOSSOS-EU, särskilt med enbart gynnsam ljudutbredning, är mestadels något högre än de beräknade med Nord96, medan ljudnivåerna som beräknats med Nord2000 ligger nära de med Nord96.

Med mjuk mark avviker resultaten mer från varandra, se Figur 71. På höjden 4 m är ljudnivåerna som beräknats med CNOSSOS-EU och p_f=50/75/100%, över större delen av ytan ca 1–2 dB lägre än de som beräknats med Nord96. Detta skiljer tydligt gentemot resultaten från Nord2000 och CNOSSOS-EU med enbart gynnsam ljudutbredning, vilka båda ger 0–2 dB lägre ljudnivåer än Nord96 på kortare avstånd än ca 60–70 m från vägen, ca 1–2 högre ljudnivåer än Nord96 på avstånd över ca 140–150 m, och ungefär samma nivåer som Nord96 däremellan. Se även Figur 75.

Störst skillnader uppträder på höjden 1,5 m med mjuk mark, se Figur 70. Vid korta avstånd är Nord96-resultaten 1–2 dB högre än de andra, och på längre avstånd är ljudnivåerna beräknade med Nord96 lägre. Resultaten med Nord2000 och CNOSSOS-EU med enbart gynnsam ljudutbredning är relativt lika varandra, se Figur 74.

5.3.1.1.2 Med bullerskärm, horisontella bullerkonturer

Vid mjuk mark på den skärmade (högra) sidan ger Nord96 samma eller högre ljudnivåer än CNOSSOS-EU och Nord2000, med undantag de första ca 20 m bakom skärmen där Nord2000 ger ca 1 dB högre nivå på 1,5 m höjd. Se Figur 70–Figur 71.

Med hård mark beräknar Nord2000 lägre nivåer än de andra metoderna på nästan hela den skärmade sidan, som mest ca 5 dB lägre. De första ca 100 m bakom

Godkänd av upodragsgivare
Inväntar publicering

skärmen ger CNOSSOS-EU de högsta nivåerna, upp till 4 dB högre än Nord96. Se Figur 72–Figur 73, samt Figur 76–Figur 77.

5.3.1.1.3 Vertikala bullerkonturer, fri utbredning utan bullerskärm

Ovanstående genomgång leder till slutsatsen att det inte förefaller finnas något enkelt samband mellan beräkningsmetodernas olika resultat. Men genom att granska de vertikala bullerkonturerna för motsvarande resultat och samtidigt fundera över vilka approximationer som de olika metoderna tillämpar, framgår det att metodernas respektive modellering av markeffekten har en stor påverkan på beräknad ljudnivå närmast marken. Det blir också tydligt hur ljudnivån kan skilja ganska mycket mellan två olika höjder.

Nord96 har den enklaste modelleringen av markeffekt, och i fallet med hård mark antar Nord96 helt enkelt att markkorrektionen är 0 dB, vilket framgår i den undre bilden i Figur 64 där marken inte har någon påverkan på bullerkonturerna. I fallet med mjuk mark sätts markkorrektionen till -6 dB på höjder lägre än 2 m över marken. Korrektionen minskas med ökande höjd tills höjden över mark är minst en tiondel av avståndet till källan där korrektionen är 0 dB. Eftersom det saknas hantering av övergångar mellan mjuk och hård mark blir det en diskontinuitet när reflektionspunkten i marken går från den hårda vägytan till omgivande mark, se övre bilden i Figur 64.

CNOSSOS-EU använder en approximation av den formulering för markeffekten som finns i Nord2000. Korrektionen är begränsad till värden ≤ 0 dB för helt mjuk mark, respektive ≤ +3 dB när all mark är hård, vilket framgår av Figur 64. För att undvika en likadan diskontinuitet som i Nord96 görs en gradvis övergång från reflex i vägyta till omgivande icke-hård mark. NMPB 2008 som ligger till grund för CNOSSOS-EU uppges vara giltig på höjder > 2 m över mark.

Nord2000 använder det minst approximativa uttrycket för markeffekten av de tre metoderna: interaktionen mellan direkt och markreflekterat ljud beskrivs med en exakt formulering, och övergångar mellan olika markimpedanser likt den i exemplet med mjuk mark hanteras med Fresnelzoner.

Utseendet hos CNOSSOS-EU-resultaten i Figur 64 påminner om motsvarande Nord2000-kurvor men formerna har också många olikheter. Närmast marken har CNOSSOS-EU större nivåändringar, och även i övrigt finns tydliga skillnader trots att samma underlag används för emissionen. De vobblingar hos Nord2000-kurvorna (framför allt på 45 dB-kurvan) på ett par dB som orsakas av interferens mellan direkt och markreflekterat ljud, återfinns föga förvånande inte hos Nord96, men saknas även hos CNOSSOS-EU som en följd av att dess modell för markeffekt bara är en approximation av den i Nord2000. Vi kan också se att källmodellen i Nord2000 tar hänsyn till fordonens vertikala direktivitet, vilket försummas hos Nord96 och CNOSSOS-EU.

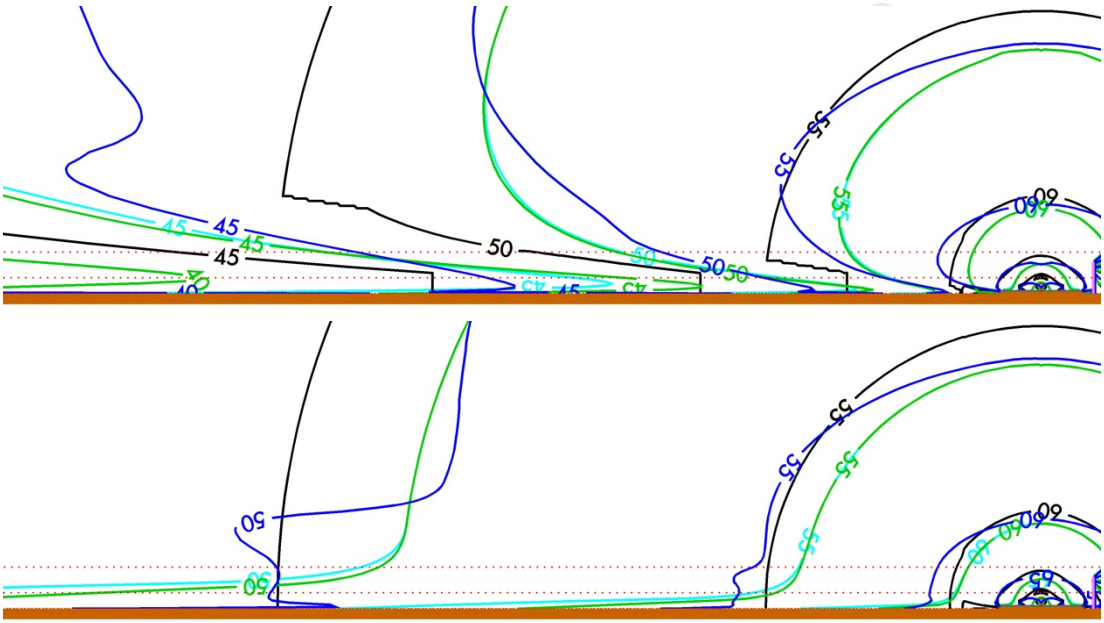
Godkänd av uppdragsgivare
Inväntar publicering

Sven Hultins Plats 1–2, 412 58 Göteborg tel: +46 31 3091900 info@gardhagen.se
Org.nr: 556643-2414 *Momsnr:* SE556643241401 innehar F-skattsedel

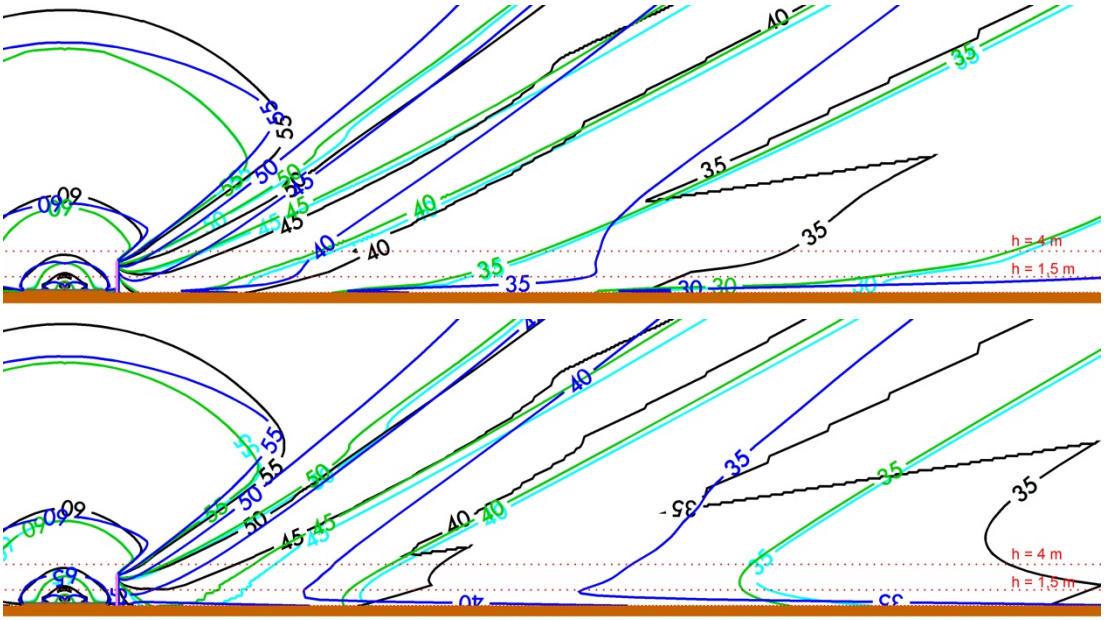
5.3.1.1.4 Vertikala bullerkonturer, utbredning med bullerskärm

De vertikala ljudnivåkurvorna bakom bullerskärmen i Figur 65 vittnar om släktskapet mellan de approximativa diffraktionsmodellerna i Nord96 och CNOSSOS-EU. Närmast marken samt på längre avstånd från skärmen skiljer sig resultaten åt till följd av olika metoder för beräkning av markeffekt, men i övrigt är nivåerna snarlika.

Diffraktionsmodellen i Nord2000 beräknar högre dämpning än Nord96 och CNOSSOS-EU. Nära marken blir påverkan från markeffekt tydligare vilket i fallet med mjuk mark leder till att CNOSSOS-EU delvis predikterar lägre bullernivåer än Nord2000 (se bullerkonturer för 40 dB och 35 dB).



Figur 64. Markeffekt vid fri utbredning och mjuk mark (överst) respektive hård mark. Svarta linjer: Nord96. Gröna linjer: CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%. Turkosa linjer: CNOSSOS-EU med p_f=100% hela dygnet. Blå linjer: Nord2000 med meteo Nord96. Horisontell brun linje markerar markytan, horisontella punktlinjer markerar 1,5 m och 4 m höjd. Utsnitt ur Figur 78 och Figur 79.



Figur 65. Diffraktion och markeffekt vid mjuk mark (överst) respektive hård mark. Svarta linjer: Nord96. Gröna linjer: CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%. Turkosa linjer: CNOSSOS-EU med p_f=100% hela dygnet. Blå linjer: Nord2000 med meteo Nord96. Horisontell brun linje markerar markytan, horisontella punktlinjer markerar 1,5 m och 4 m höjd. Utsnitt ur Figur 78 och Figur 79.

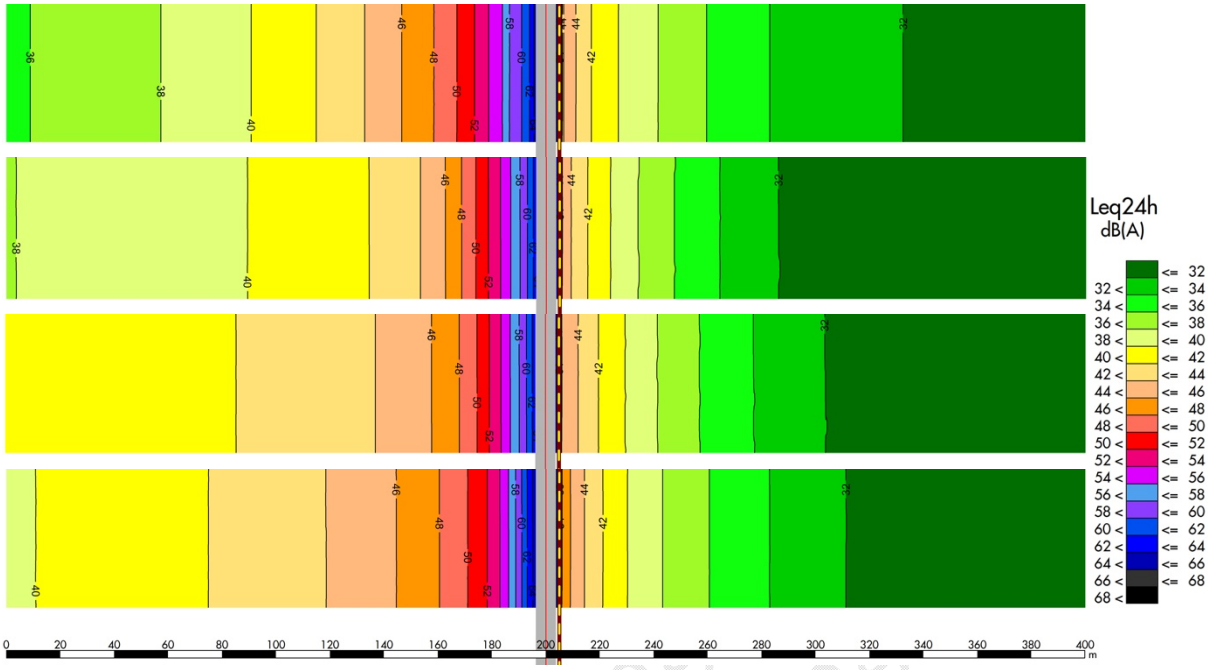
5.3.1.1.5 Vertikala bullerkonturer, Nord2000 simulerar refraktion hos CNOSSOS-EU

I Figur 80–Figur 81 redovisas resultat från en jämförelse mellan den gynnsamma ljudutbredningen i CNOSSOS-EU, och en simulering av refraktionen hos densamma med Nord2000. Gynnsam ljudutbredning i CNOSSOS-EU motsvarar en linjär ljudhastighetsprofil med dc/dz=0,07 m^{-1}, vilket i Nord2000 simulerades genom att ansätta dT/dz=0,1207 K/m och u=0 m/s (ingen vind).

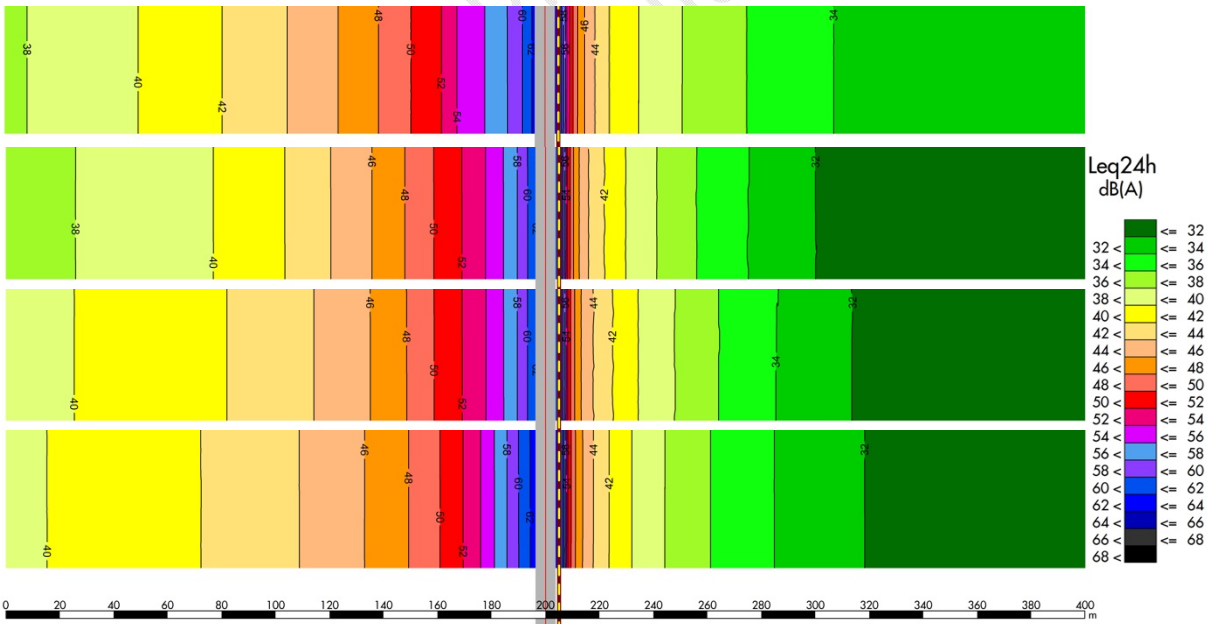
Fortfarande kvarstår de principiella skillnader mellan CNOSSOS-EU och Nord2000 som framgick av Figur 78 och Figur 79, där Nord2000 simulerade den logaritmiska ljudhastighetsprofilen i Nord96.

Godkänd av uppdragsg. Invänta publicering

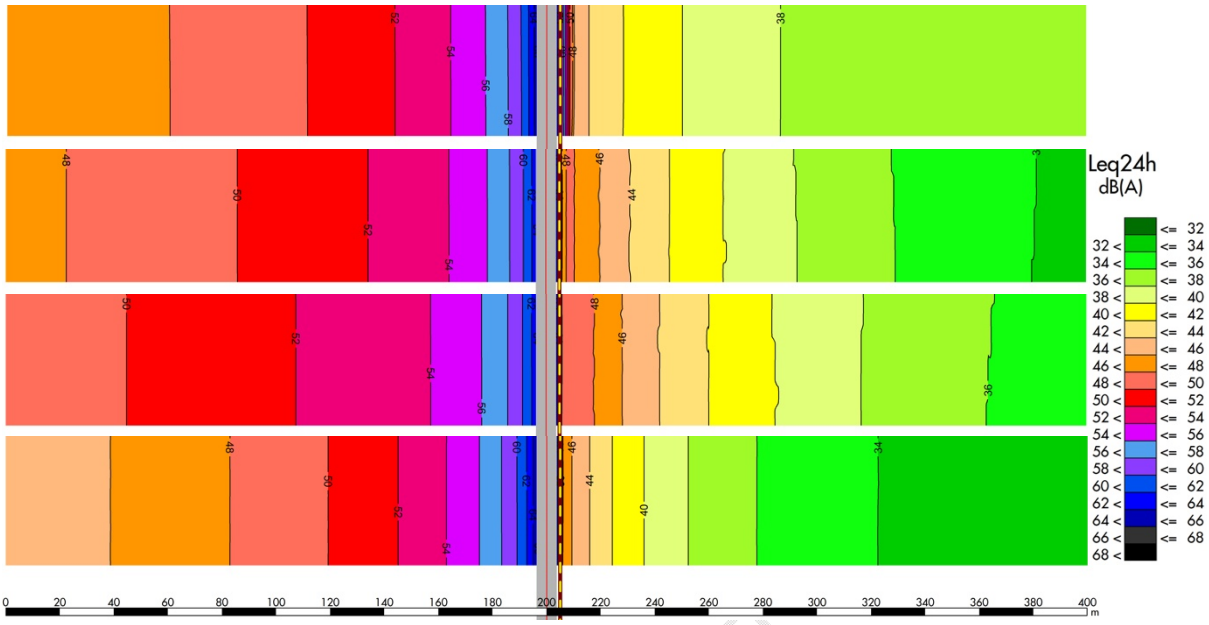
5.3.1.1.6 Plottar och tabeller



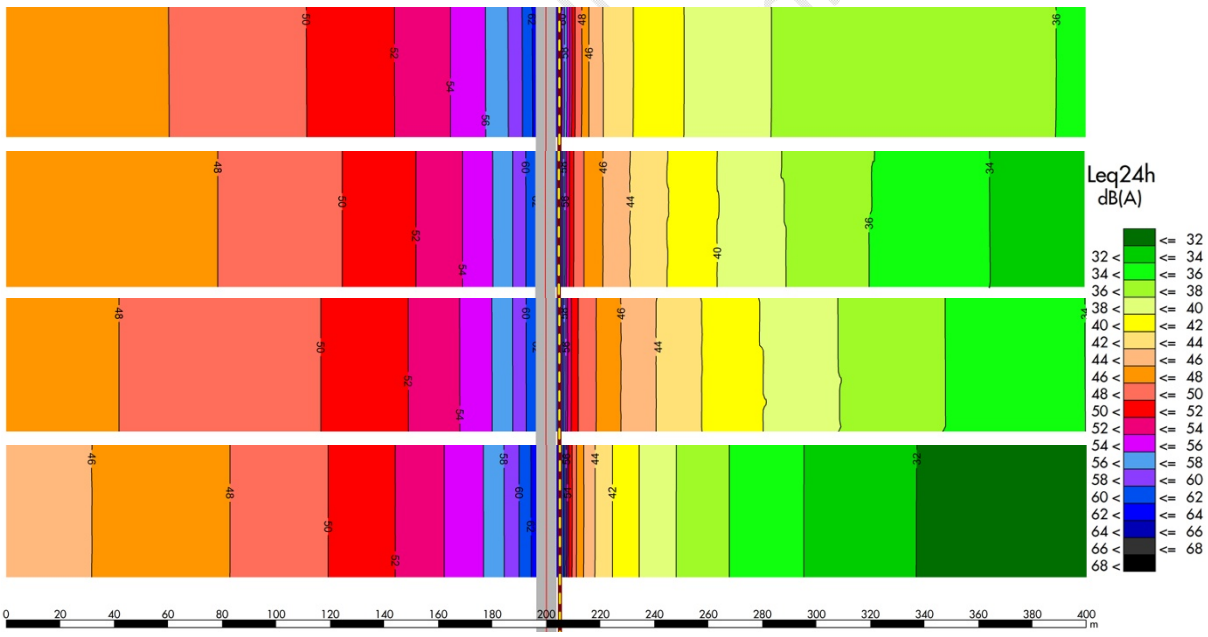
Figur 66. Ljudutbredning mjuk mark, h=1,5 m. Uppifrån: Nord96, CNOSSOS-EU p_f = 50/75/100%, CNOSSOS-EU p_f = 100%, Nord2000 (meteo Nord96). Skärm på vägens högra sida.



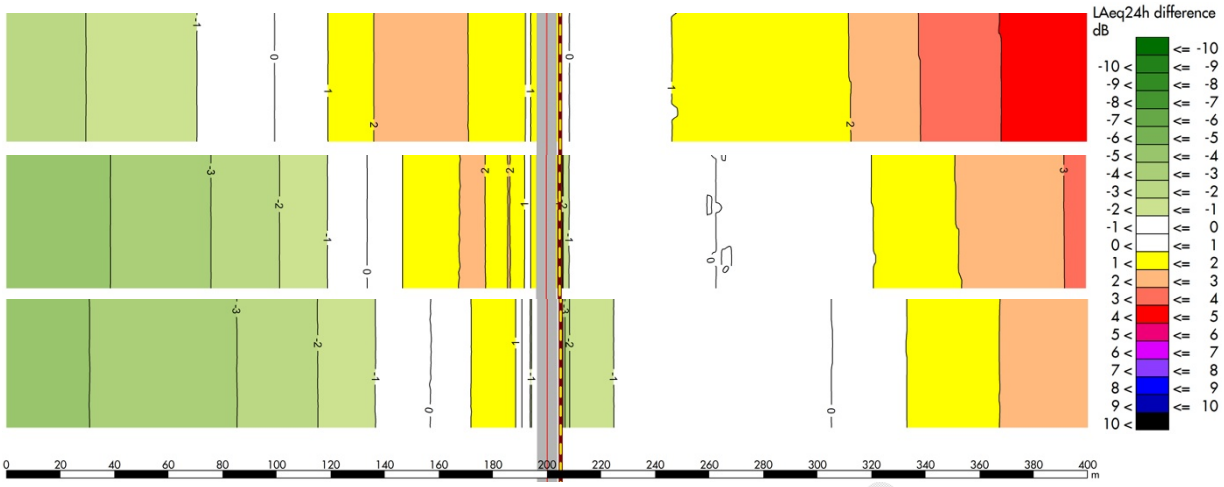
Figur 67. Ljudutbredning mjuk mark, h=4 m. Uppifrån: Nord96, CNOSSOS-EU p_f = 50/75/100%, CNOSSOS-EU p_f = 100%, Nord2000 (meteo Nord96). Skärm på vägens högra sida.



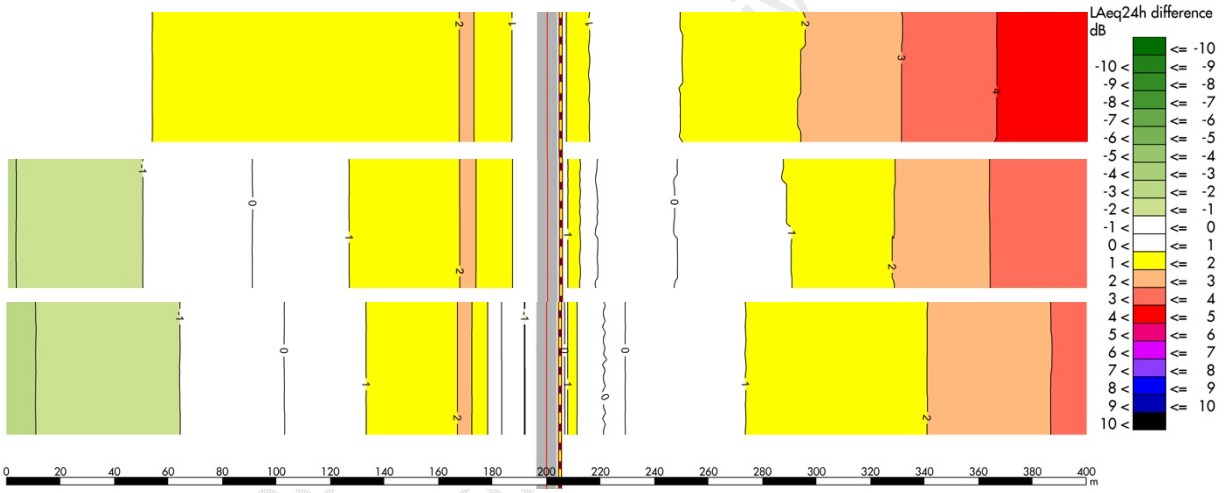
Figur 68. Ljudutbredning hård mark, h=1,5 m. Uppifrån: Nord96, CNOSSOS-EU p_f = 50/75/100%, CNOSSOS-EU p_f = 100%, Nord2000 (meteo Nord96). Skärm på vägens högra sida.



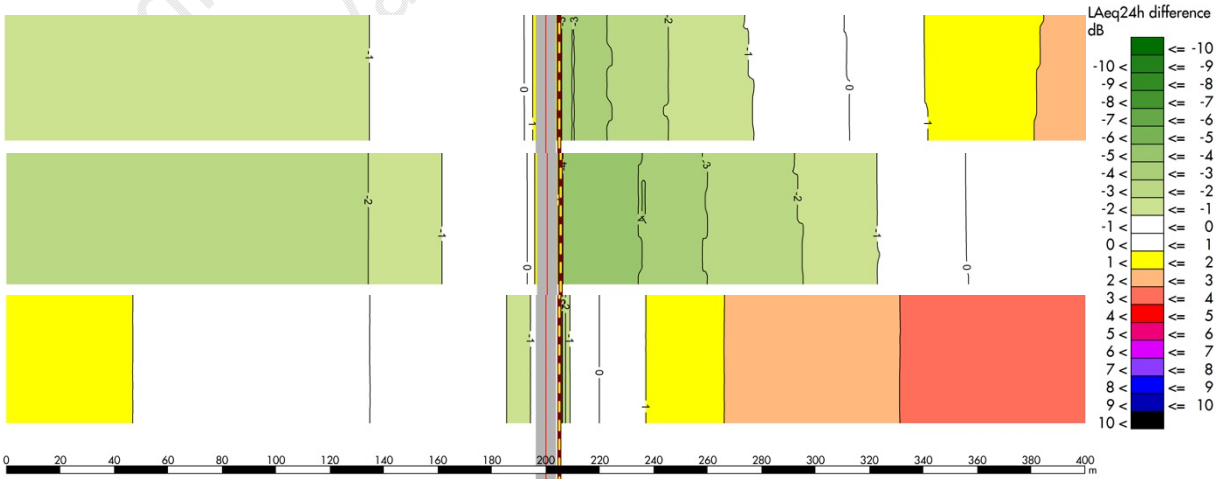
Figur 69. Ljudutbredning hård mark, h=4 m. Uppifrån: Nord96, CNOSSOS-EU p_f = 50/75/100%, CNOSSOS-EU p_f = 100%, Nord2000 (meteo Nord96). Skärm på vägens högra sida.



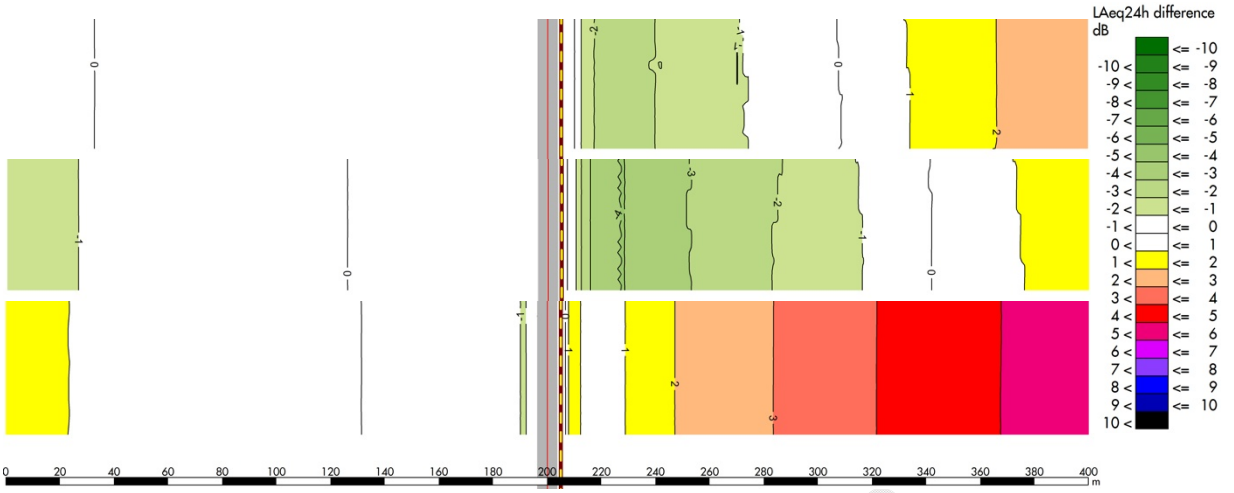
Figur 70. Skillnader i ljudutbredning mjuk mark, h=1,5 m. Uppifrån: Nord96 – CNOSSOS-EU p_f = 50/75/100%, Nord96 – CNOSSOS-EU p_f = 100%, Nord96 – Nord2000 (meteo Nord96).



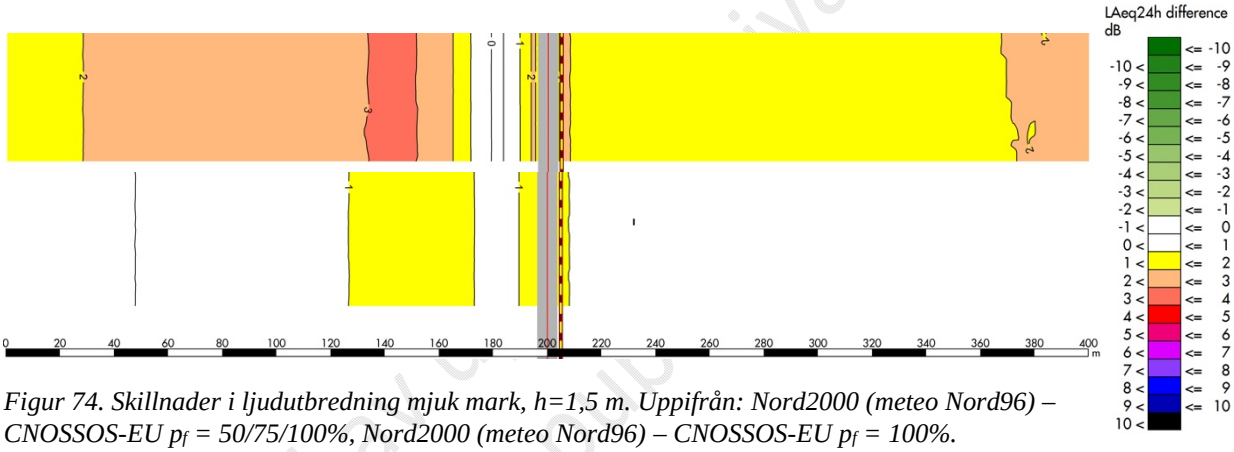
Figur 71. Skillnader i ljudutbredning mjuk mark, h=4 m. Uppifrån: Nord96 – CNOSSOS-EU p_f = 50/75/100%, Nord96 – CNOSSOS-EU p_f = 100%, Nord96 – Nord2000 (meteo Nord96).



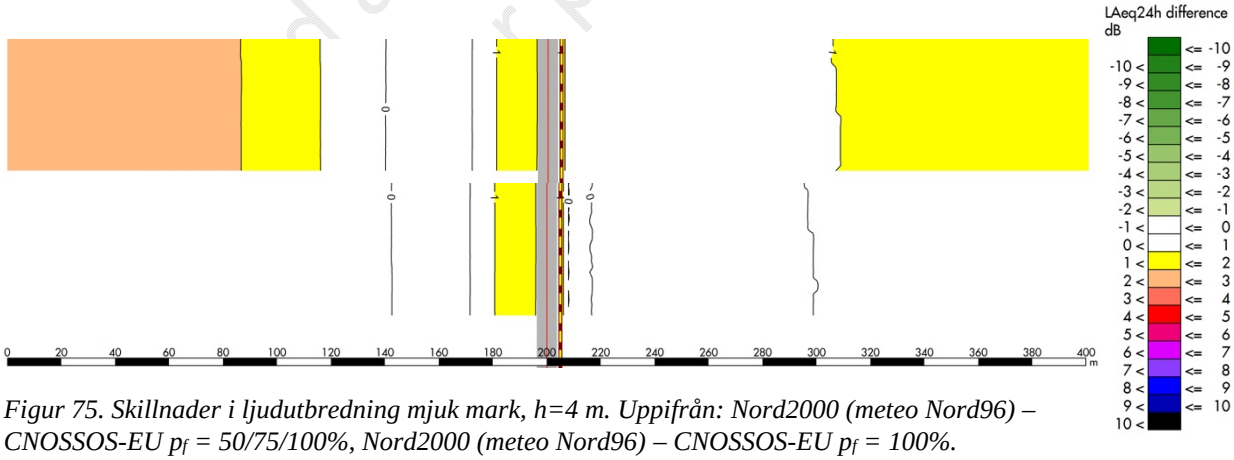
Figur 72. Skillnader i ljudutbredning hård mark, h=1,5 m. Uppifrån: Nord96 – CNOSSOS-EU p_f = 50/75/100%, Nord96 – CNOSSOS-EU p_f = 100%, Nord96 – Nord2000 (meteo Nord96).



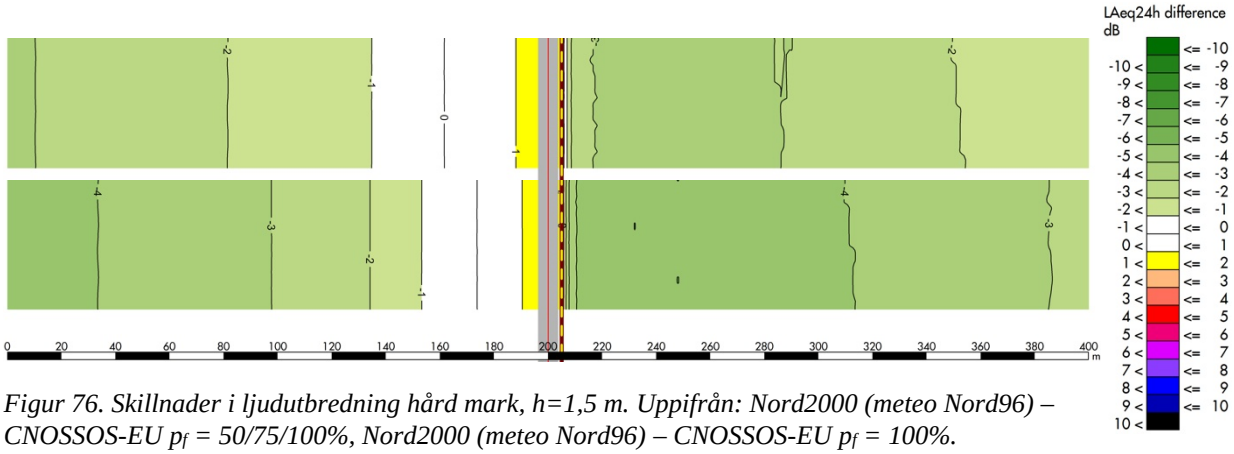
Figur 73. Skillnader i ljudutbredning hård mark, h=4 m. Uppifrån: Nord96 – CNOSSOS-EU p_f = 50/75/100%, Nord96 – CNOSSOS-EU p_f = 100%, Nord96 – Nord2000 (meteo Nord96).



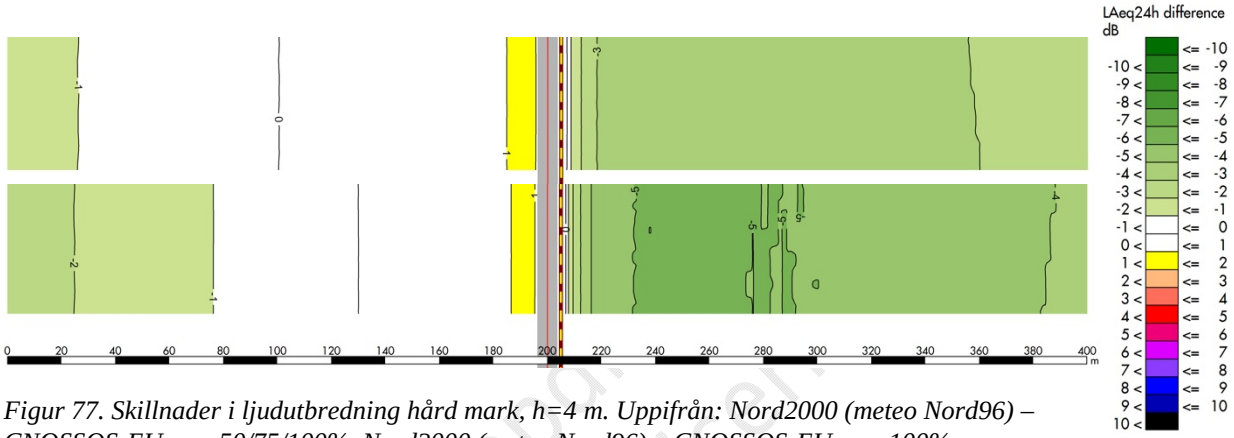
Figur 74. Skillnader i ljudutbredning mjuk mark, h=1,5 m. Uppifrån: Nord2000 (meteo Nord96) – CNOSSOS-EU p_f = 50/75/100%, Nord2000 (meteo Nord96) – CNOSSOS-EU p_f = 100%.



Figur 75. Skillnader i ljudutbredning mjuk mark, h=4 m. Uppifrån: Nord2000 (meteo Nord96) – CNOSSOS-EU p_f = 50/75/100%, Nord2000 (meteo Nord96) – CNOSSOS-EU p_f = 100%.



Figur 76. Skillnader i ljudutbredning hård mark, h=1,5 m. Uppifrån: Nord2000 (meteo Nord96) – CNOSSOS-EU p_f = 50/75/100%, Nord2000 (meteo Nord96) – CNOSSOS-EU p_f = 100%.



Figur 77. Skillnader i ljudutbredning hård mark, h=4 m. Uppifrån: Nord2000 (meteo Nord96) – CNOSSOS-EU p_f = 50/75/100%, Nord2000 (meteo Nord96) – CNOSSOS-EU p_f = 100%.

markabsorption	*höjd*	*differens Nord96 minus…*	*meteo*	*mv (dB)*	*s (dB)*	*max (dB)*	*min (dB)*
Mjuk	1,5 m	CNOSSOS-EU	p_f=50/75/100%	+0,1	**1,7**	+2,8	–2,5
Mjuk	1,5 m	CNOSSOS-EU	p_f =100/100/100%	**–1,5**	**2,3**	+2,1	–4,7
Mjuk	1,5 m	Nord2000	Nord96	**–2,1**	**1,8**	+1,8	–4,2
Mjuk	4 m	CNOSSOS-EU	p_f =50/75/100%	**+1,1**	0,5	+2,3	+0,1
Mjuk	4 m	CNOSSOS-EU	p_f =100/100/100%	+0,1	**1,2**	+2,4	–2,0
Mjuk	4 m	Nord2000	Nord96	–0,2	**1,3**	+2,6	–2,6
Hård	1,5 m	CNOSSOS-EU	p_f =50/75/100%	–1,0	0,6	+1,4	–1,4
Hård	1,5 m	CNOSSOS-EU	p_f =100/100/100%	**–2,1**	0,9	+1,3	–2,8
Hård	1,5 m	Nord2000	Nord96	+0,4	0,8	+1,8	–1,3
Hård	4 m	CNOSSOS-EU	p_f =50/75/100%	+0,2	0,3	+0,5	–0,1
Hård	4 m	CNOSSOS-EU	p_f =100/100/100%	–0,3	0,5	+0,5	–1,1
Hård	4 m	Nord2000	Nord96	+0,3	0,6	+1,2	–1,0

Tabell 5. Oskärmad ljudutbredning. Ljudnivå (L_{Aeq24h}) beräknad med Nord96, minus ljudnivå beräknad med CNOSSOS-EU eller Nord2000. Sammanställning av differenserna på vägens vänstra sida i Figur 70–Figur 73. Medelvärden och standardavvikelser >1 dB har markerats med fetstil.

Godkänd av uppdragsgivaren för publicering

markabsorption	*höjd*	*differens Nord96 minus…*	*meteo*	*mv (dB)*	*s (dB)*	*max (dB)*	*min (dB)*
Mjuk	1,5 m	CNOSSOS-EU	p_f=50/75/100%	**+2,2**	**1,5**	+4,9	–1,0
Mjuk	1,5 m	CNOSSOS-EU	p_f =100/100/100%	+0,8	**1,3**	+3,2	–2,1
Mjuk	1,5 m	Nord2000	Nord96	+0,4	**1,3**	+2,8	–3,3
Mjuk	4 m	CNOSSOS-EU	p_f =50/75/100%	**+2,4**	**1,4**	+4,8	+0,1
Mjuk	4 m	CNOSSOS-EU	p_f =100/100/100%	+0,1	**1,6**	+2,8	–2,7
Mjuk	4 m	Nord2000	Nord96	**+1,4**	1,0	+3,3	–0,6
Hård	1,5 m	CNOSSOS-EU	p_f =50/75/100%	–0,3	**1,7**	+2,4	–3,3
Hård	1,5 m	CNOSSOS-EU	p_f =100/100/100%	**–1,7**	**1,8**	+1,3	–4,9
Hård	1,5 m	Nord2000	Nord96	**+2,2**	**1,3**	+3,8	–3,1
Hård	4 m	CNOSSOS-EU	p_f =50/75/100%	+0,1	**1,6**	+2,8	–2,7
Hård	4 m	CNOSSOS-EU	p_f =100/100/100%	**–1,2**	**1,7**	+1,6	–4,1
Hård	4 m	Nord2000	Nord96	**+3,3**	**1,5**	+5,4	–0,6

Tabell 6. Skärmad ljudutbredning. Ljudnivå (L_{Aeq24h}) beräknad med Nord96, minus ljudnivå beräknad med CNOSSOS-EU eller Nord2000. Sammanställning av differenserna på vägens högra sida i Figur 70–Figur 73. Medelvärden och standardavvikelser >1 dB har markerats med fetstil.

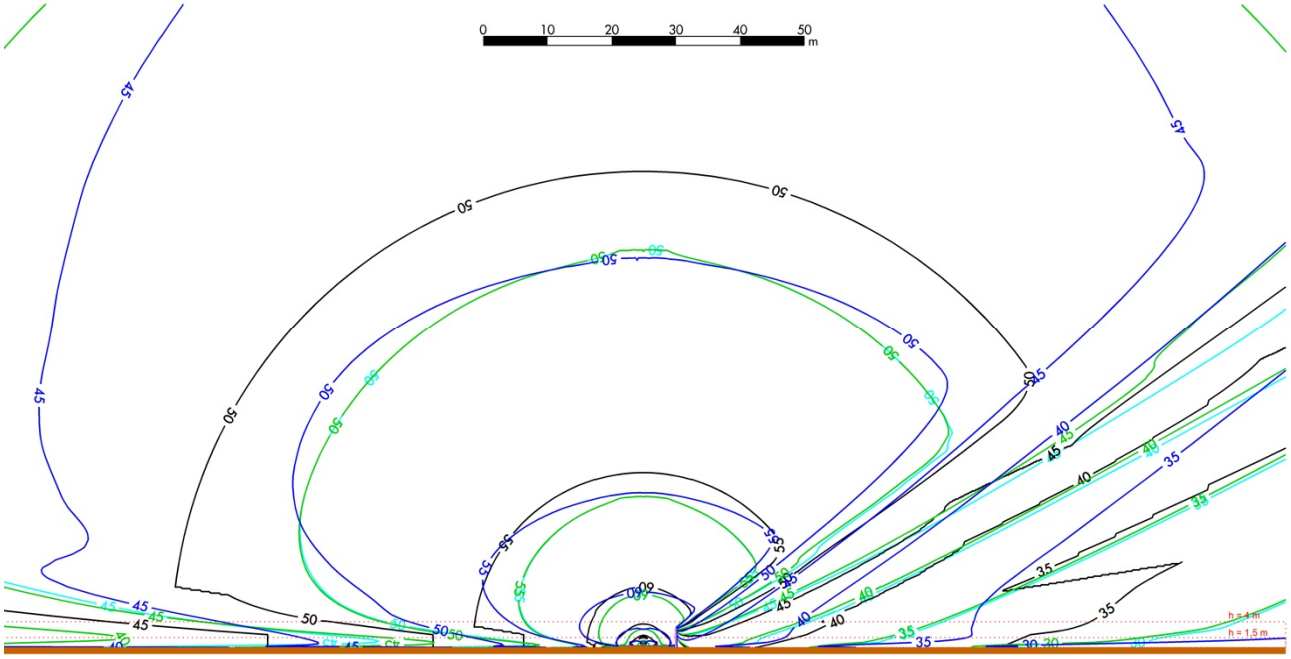
markabsorption	*höjd*	*meteo*	*mv (dB)*	*s (dB)*	*max (dB)*	*min (dB)*
Mjuk	1,5 m	p_f=50/75/100%	**+2,2**	0,7	+3,1	–0,1
Mjuk	1,5 m	p_f =100/100/100%	+0,5	0,6	+2,0	–0,5
Mjuk	4 m	p_f =50/75/100%	**+1,3**	1,0	+2,2	–0,5
Mjuk	4 m	p_f =100/100/100%	+0,3	0,4	+1,1	–0,6
Hård	1,5 m	p_f =50/75/100%	**–1,4**	**1,3**	+1,9	–3,1
Hård	1,5 m	p_f =100/100/100%	**–2,4**	**1,6**	+1,8	–4,5
Hård	4 m	p_f =50/75/100%	0,0	0,7	+1,3	–1,2
Hård	4 m	p_f =100/100/100%	–0,6	1,0	+1,2	–2,3

Tabell 7. Oskärmad ljudutbredning. Ljudnivå (L_{Aeq24h}) beräknad med Nord2000, minus ljudnivå beräknad med CNOSSOS-EU. Sammanställning av differenserna på vägens vänstra sida i Figur 74–Figur 77. Medelvärden och standardavvikelser >1 dB har markerats med fetstil.

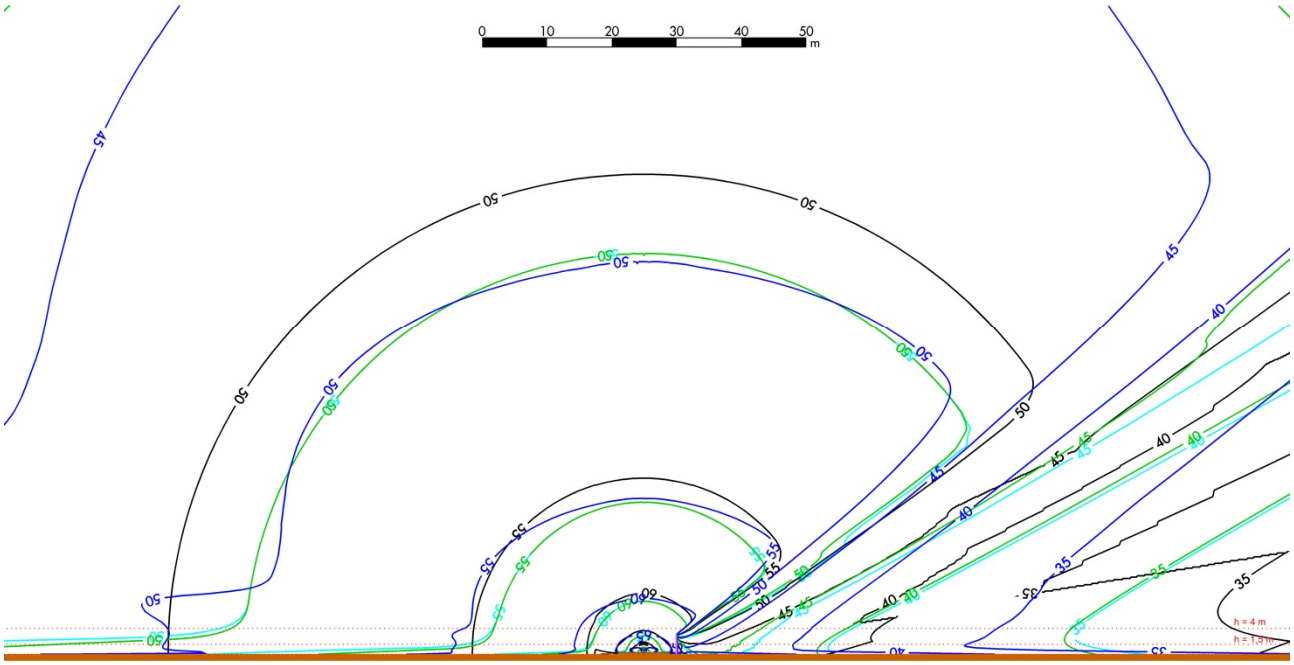
markabsorption	*höjd*	*meteo*	*mv (dB)*	*s (dB)*	*max (dB)*	*min (dB)*
Mjuk	1,5 m	p_f=50/75/100%	**+1,7**	0,3	+2,4	–1,2
Mjuk	1,5 m	p_f =100/100/100%	+0,4	0,2	+1,9	0,0
Mjuk	4 m	p_f =50/75/100%	+1,0	0,4	+1,6	+0,3
Mjuk	4 m	p_f =100/100/100%	+0,1	0,4	+1,1	–0,6
Hård	1,5 m	p_f =50/75/100%	**–2,5**	0,8	+1,9	–3,5
Hård	1,5 m	p_f =100/100/100%	**–3,9**	0,9	+1,8	–5,0
Hård	4 m	p_f =50/75/100%	**–3,2**	0,8	+0,9	–3,8
Hård	4 m	p_f =100/100/100%	**–4,5**	1,0	+0,9	–5,3

Tabell 8. Skärmad ljudutbredning. Ljudnivå (L_{Aeq24h}) beräknad med Nord2000, minus ljudnivå beräknad med CNOSSOS-EU. Sammanställning av differenserna på vägens högra sida i Figur 74–Figur 77. Medelvärden och standardavvikelser >1 dB har markerats med fetstil.

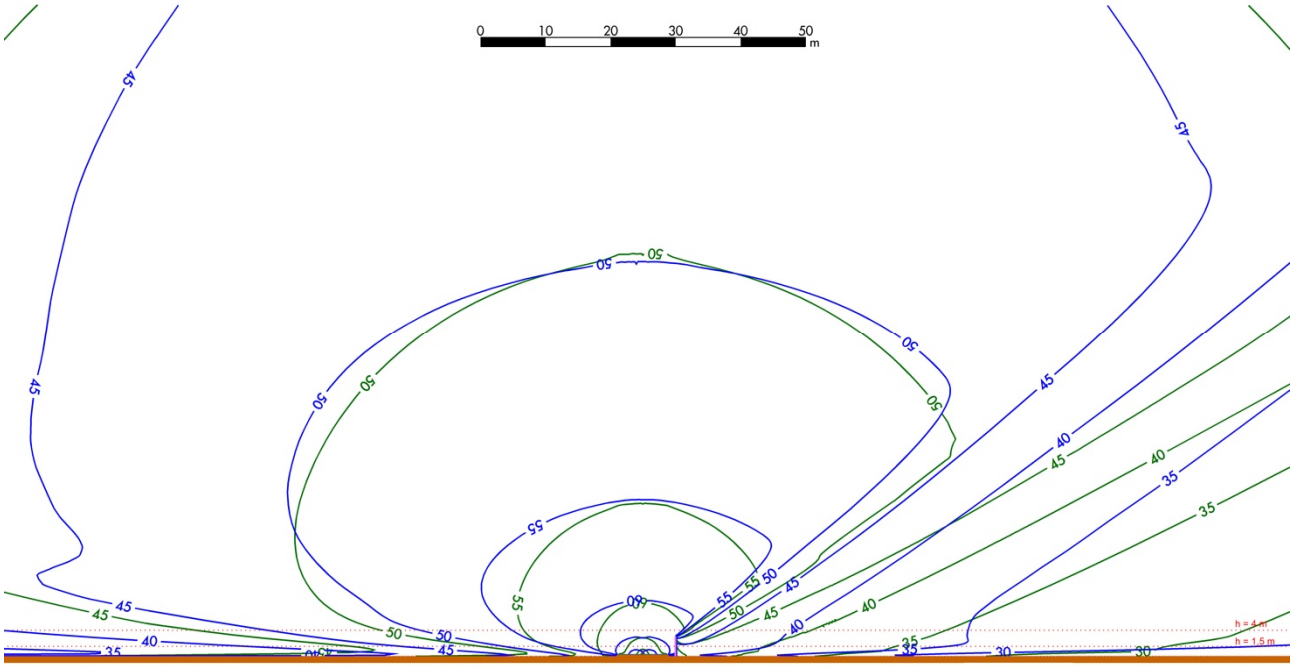
Godkänd av uppdragsgivare
Invänta publicering



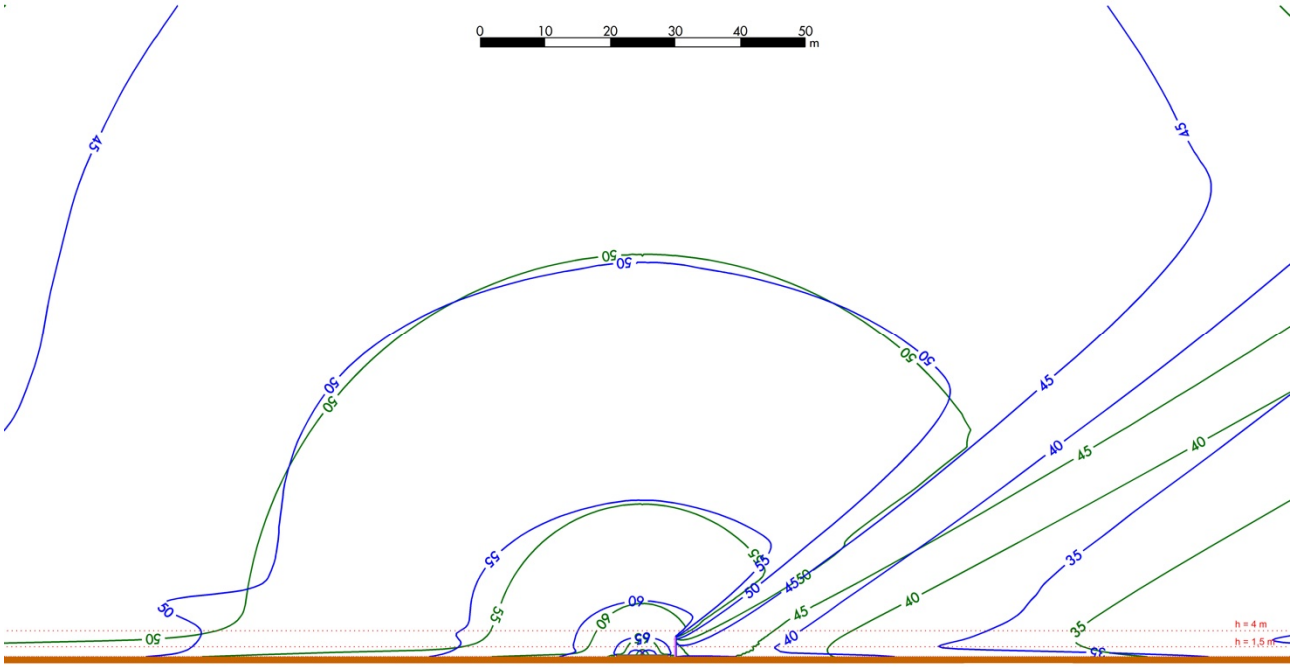
Figur 78. Ljudutbredning i vertikalled (L_{Aeq24h}), mjuk mark. Horisontell brun linje markerar markytan, horisontella punktlinjer markerar 1,5 m och 4 m höjd. Svarta linjer: Nord96. Gröna linjer: CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%. Turkosa linjer: CNOSSOS-EU med p_f=100% hela dygnet. Blå linjer: Nord2000 med meteo Nord96.



Figur 79. Ljudutbredning i vertikalled (L_{Aeq24h}), hård mark. Horisontell brun linje markerar markytan, horisontella punktlinjer markerar 1,5 m och 4 m höjd. Svarta linjer: Nord96. Gröna linjer: CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%. Turkosa linjer: CNOSSOS-EU med p_f=100% hela dygnet. Blå linjer: Nord2000 med meteo Nord96.



Figur 80. Ljudutbredning i vertikalled (L_{Aeq24h}), mjuk mark. Horisontell brun linje markerar markytan, horisontella punktlinjer markerar 1,5 m och 4 m höjd. Gröna linjer: CNOSSOS-EU med p_f=100% hela dygnet. Blå linjer: Nord2000 med dc/dz=0,07 s^{-1} (simulering refraktion CNOSSOS-EU p_f=100%).



Figur 81. Ljudutbredning i vertikalled (L_{Aeq24h}), hård mark. Horisontell brun linje markerar markytan, horisontella punktlinjer markerar 1,5 m och 4 m höjd. Gröna linjer: CNOSSOS-EU med p_f=100% hela dygnet. Blå linjer: Nord2000 med dc/dz=0,07 s^{-1} (simulering refraktion CNOSSOS-EU p_f=100%).

5.3.2 Högsbo och Lerum, dygnsekvivalenta nivåer

Bullerkonturer beräknades som dygnsekvivalent nivå på 1,5 m höjd över mark, och dygnsekvivalent fasadnivå beräknades per våningsplan. Därtill redovisas vertikala bullerkonturer för två tvärsnitt i Lerum S.

Resultaten baseras på markabsorption som definierats med hjälp av Fastighetskarta, men begränsat till värdena G=0 och markimpedansklass G, respektive G=1 och markimpedansklass D (övriga värden avrundades till dessa två).

5.3.2.1 Resultat, horisontella bullerkonturer och fasadnivåer

Beräknade ljudnivåer L_{Aeq24h} 1,5 m över mark redovisas för Högsbo i Figur 82 respektive för Lerum i Figur 89–Figur 91. Jämförelser mellan Nord96 och CNOSSOS-EU respektive Nord2000 redovisas för Högsbo som nivåskillnader i Figur 83–Figur 85 och deras respektive fördelningar i Figur 88. Motsvarande för Lerum redovisas i Figur 92, Figur 94 och Figur 96 respektive Figur 98–Figur 100. Beräknade fasadnivåer redovisas bara som fördelningar. En sammanställning med aritmetiskt medelvärde, standardavvikelse, max- och minvärden för respektive skillnadsplot redovisas i Tabell 9.

Direkta jämförelser mellan Nord2000 och CNOSSOS-EU presenteras för Högsbo som nivåskillnader i Figur 86–Figur 87 och deras respektive fördelningar i Figur 88. Motsvarande jämförelser för Lerum redovisas i Figur 93, Figur 95 och Figur 97, samt deras fördelningar i Figur 98–Figur 100. Vertikala bullerkonturer i Lerum S, med placering enligt Figur 101, redovisas i Figur 102 och Figur 103.

Jämförelserna i de undersökta, normalt komplexa, verkliga fallen, visar generellt att det är mycket vanligt att metoderna ger olika resultat. Eftersom metodernas ljudhastighetsgradienter är valda så de ligger nära varandra, bör skillnaderna i hög grad bero på olika lösningar för att beräkna markeffekt och skärmning. Beräkningspunkter med skillnader högst ±1 dB är i minoritet, och skillnader >3 dB är mycket vanligt förekommande. Även större skillnader, >5 dB, är vanliga inslag, särskilt i Lerumberäkningarna. Som en följd därav varierar också medelvärde och standardavvikelse av skillnaderna mellan de olika beräknade fallen.

Att som vid strategisk kartläggning godta att enskilda beräknade ljudnivåer har låg noggrannhet och ofta är mer eller mindre felaktiga så länge bara de systematiska felen inte blir orimligt stora, är inte ett acceptabelt alternativ vid merparten av inhemska beräkningar, även om det finns undantag (t ex översiktliga inventeringar av stora arealer). Istället erfordras vanligen god noggrannhet i utredningarna, för att upprätthålla rättssäkerhet och hålla nere kostnader för såväl byggnation/åtgärder som för ohälsa [21].

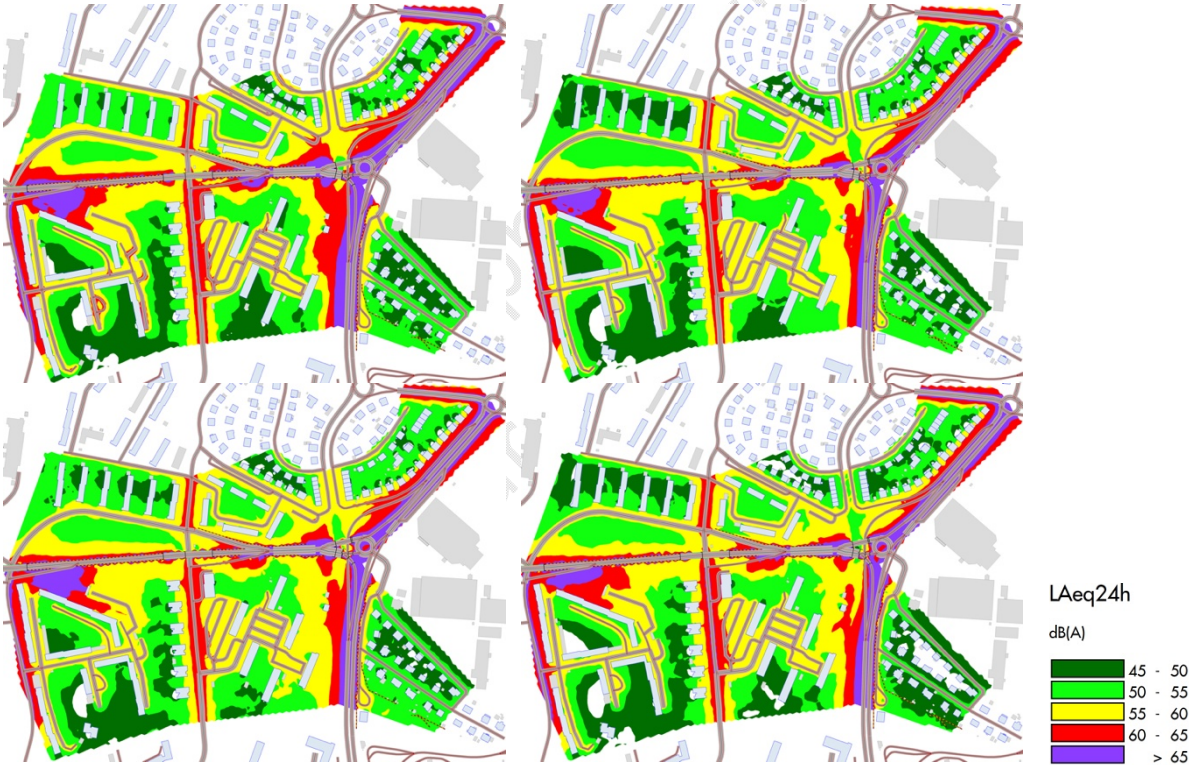
En granskning av de vertikala bullerkonturerna i Figur 102 och Figur 103 bekräftar de iakttagelser som gjordes för typfallet rak väg med en skärm i avsnitt 5.3.1.1. I fallet med väg i skärning underskattar både Nord96 och CNOSSOS-EU skärmningseffekter relativt den mer exakta metoden i Nord2000. I just detta fall klarar

Godkänd av uppdragsgivare
Invänta publicering

sig Nord96 bättre än CNOSSOS-EU, men utfallet varierar; studera exempelvis nedre bilden i Figur 92 som visar skillnaden mellan Nord96 och Nord2000 i Lerum S.

I skärningsfallet framträder också effekten av Nord2000:s segmentering av terrängen och användande av mer än ett reflektionsplan. På vägens högra sida (och i viss mån även på den vänstra sidan) är 75 dB-kurvan tydligt påverkad av slänten, en effekt som saknas hos Nord96 och CNOSSOS-EU.

Skärmning förekommer även i viss mån i Figur 103 där de vertikala bullerkonturerna visar ljudutbredningen när vägen passerar en sluttning. Intressant är också hur Nord96 och CNOSSOS-EU förefaller ha problem med den inte helt släta markprofilen; deras bullerkonturer uppvisar ett antal abrupta och förmodat onaturliga avvikelser som inte förekommer hos Nord2000.



Figur 82. Dygnsekvivalent ljudnivå L_{Aeq24h} 1,5 m över mark.
Övre raden, vänster: Nord96. Övre raden, höger: CNOSSOS-EU, p_f=50/75/100%.
Undre raden, vänster: CNOSSOS-EU p_f=100/100/100%. Undre raden, höger: Nord2000 (meteo Nord96).

Figur 83. Nivåskillnader Högsbo (h=1,5m), Nord96 – CNOSSOS-EU med p_f =50/75/100%.

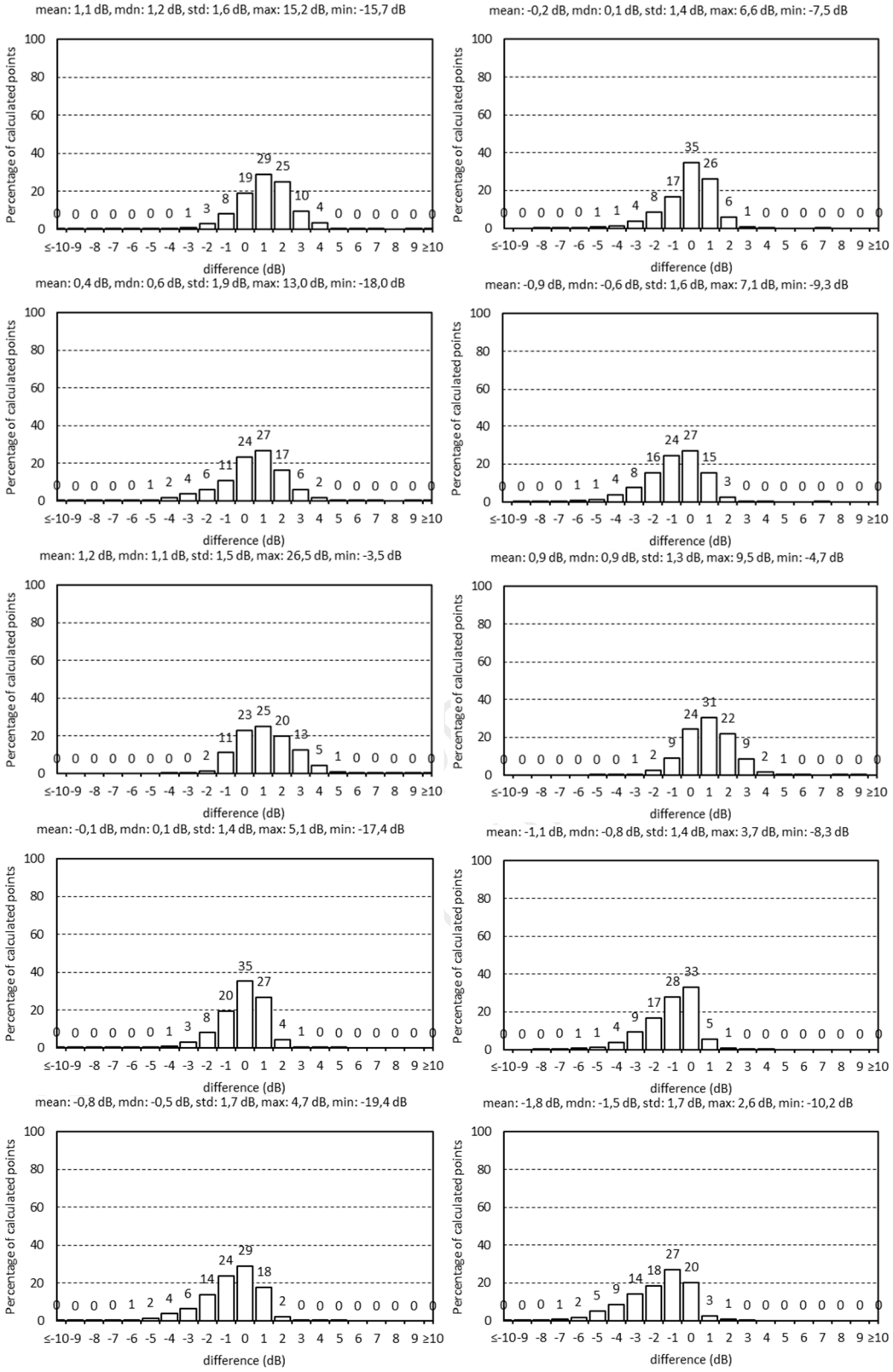
Figur 84. Nivåskillnader Högsbo (h=1,5m), Nord96 – CNOSSOS-EU med p_f =100% hela dygnet.

Figur 85. Nivåskillnader Högsbo (h=1,5m), Nord96 – Nord2000 (meteo Nord96).

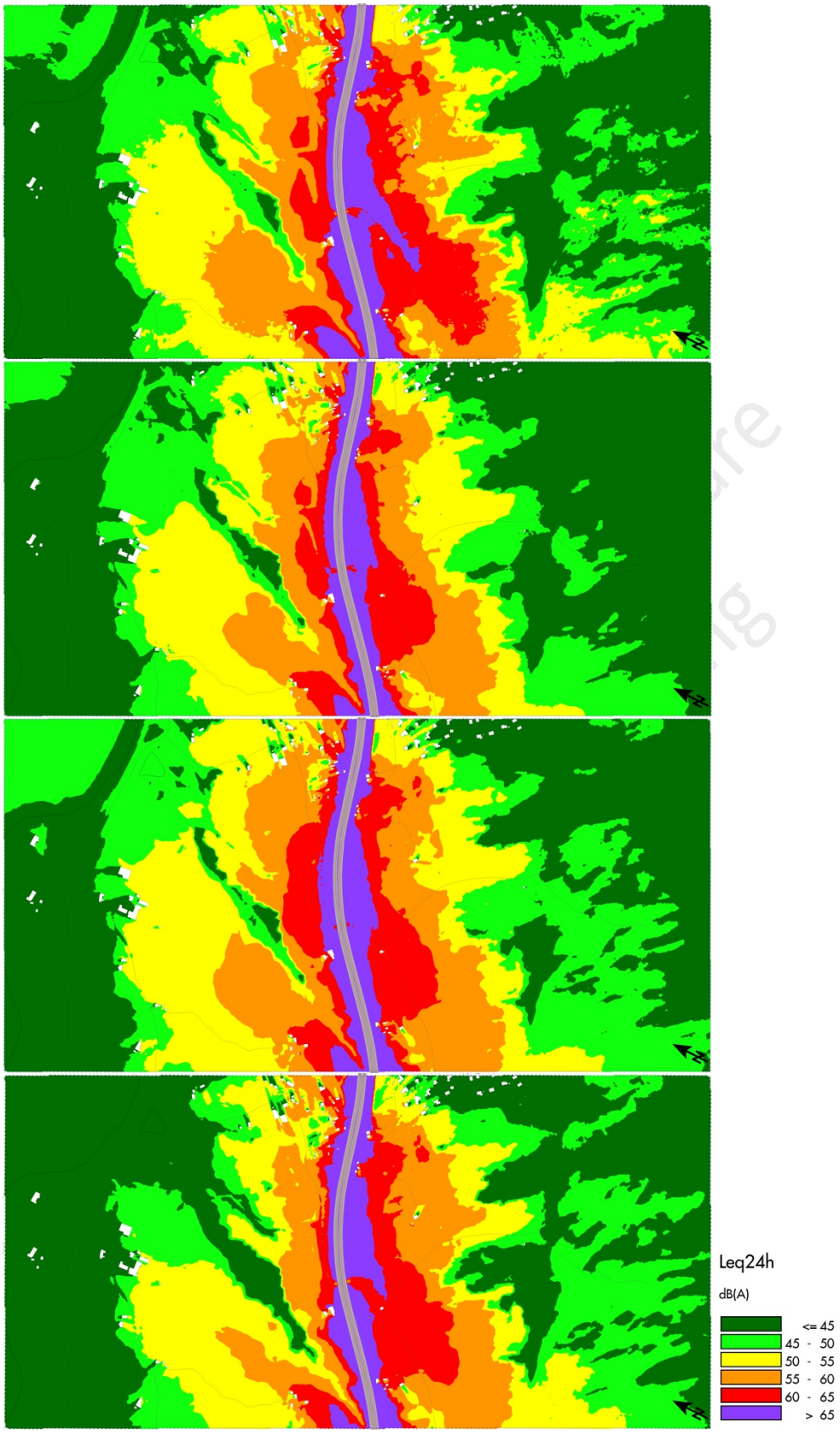
Figur 86. Nivåskillnader Högsbo (h=1,5m), Nord2000 (meteo Nord96) – CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%.

Figur 87. Nivåskillnader Högsbo (h=1,5m), Nord2000 (meteo Nord96) – CNOSSOS-EU med p_f=100/100/100%.

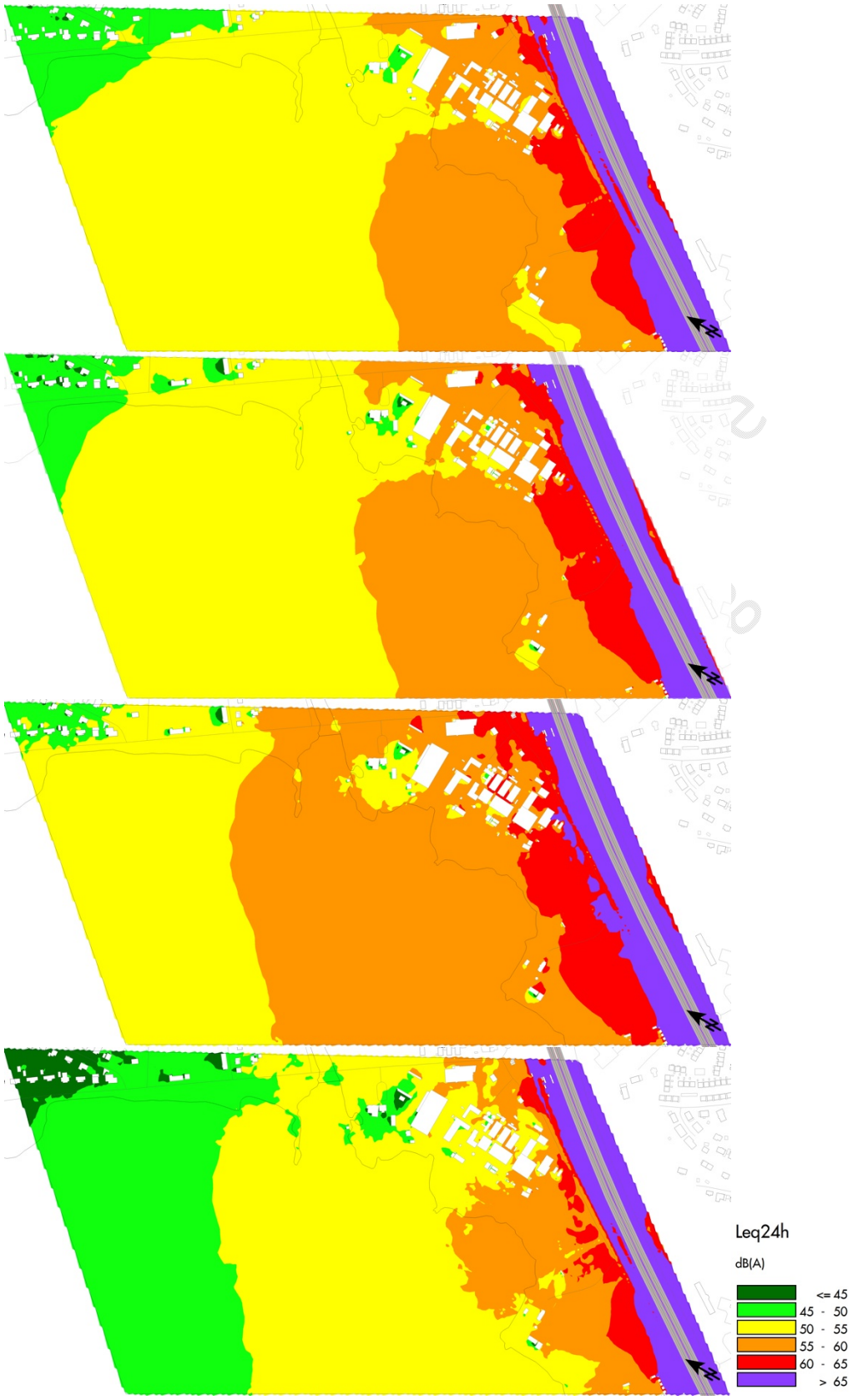
Godkänd av uppdr
Inväntar publicer



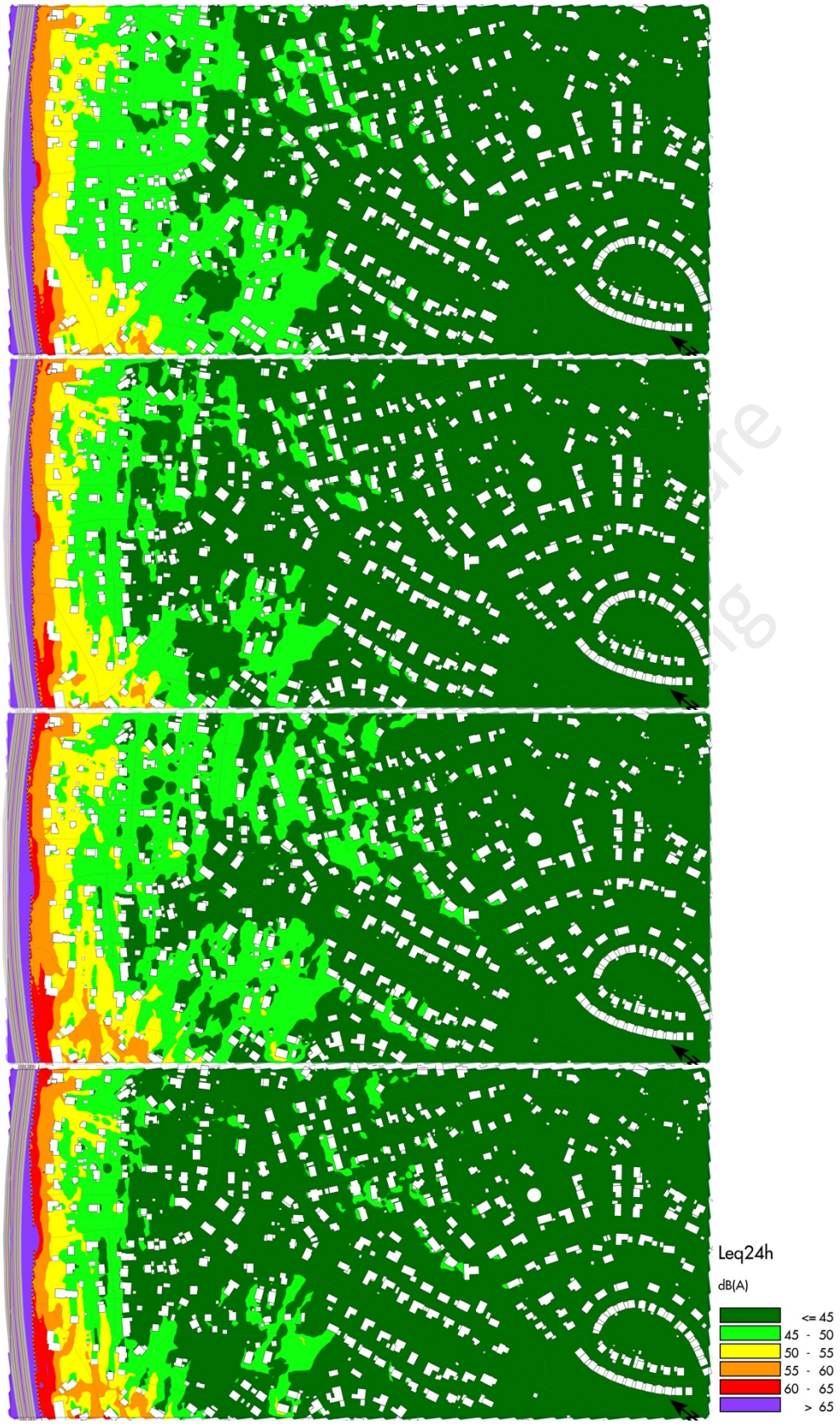
Figur 88. Högsbo, fördelning nivåskillnader. Till vänster rasterberäkning h=1,5 m, till höger fasadnivå per våningsplan. Uppifrån: Nord96 – CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%, Nord96 – CNOSSOS-EU med p_f=100% hela dygnet, Nord96 – Nord2000 (meteo Nord96), Nord2000 (meteo Nord96) – CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%, Nord2000 (meteo Nord96) – CNOSSOS-EU med p_f=100% hela dygnet.



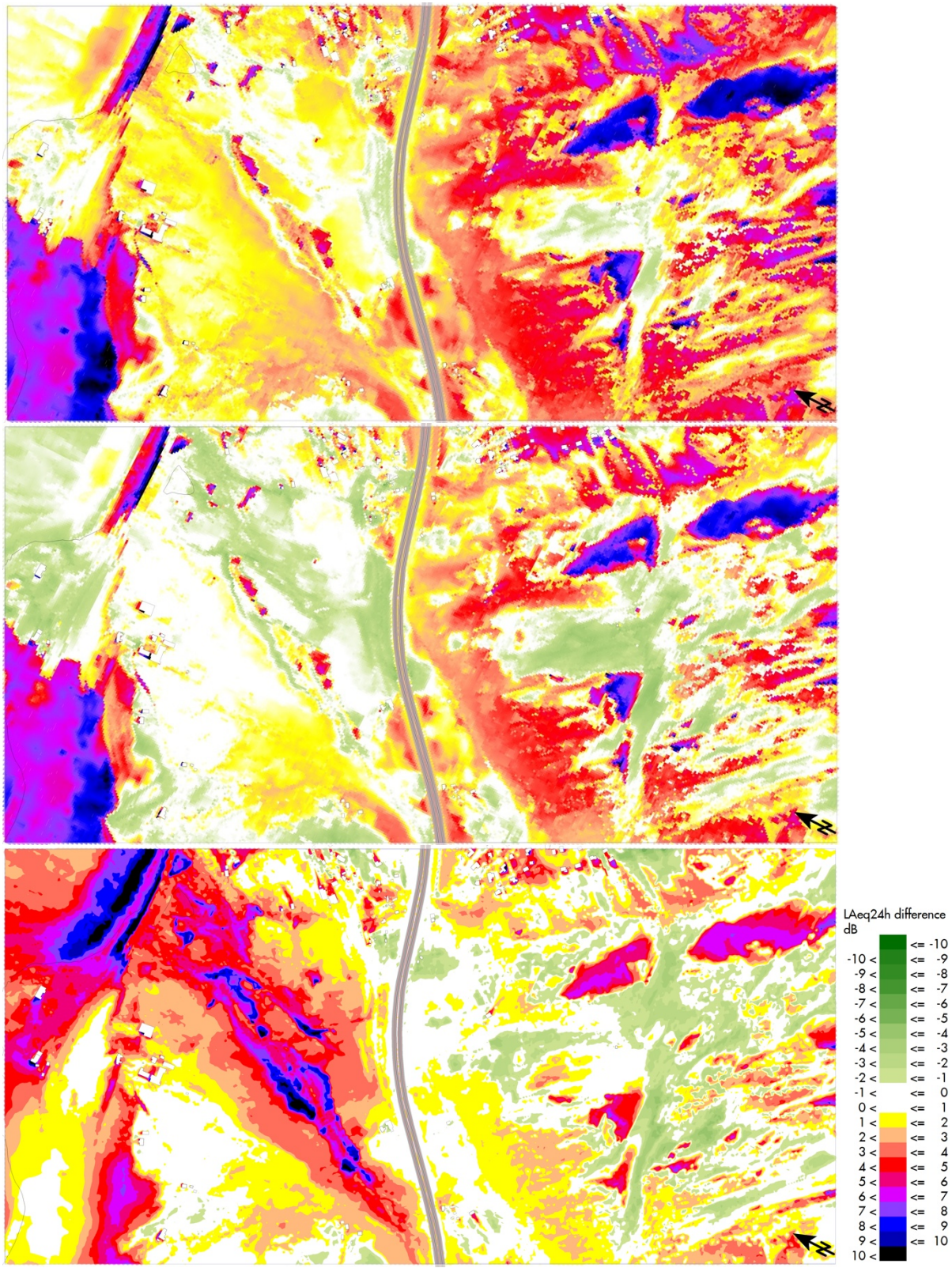
Figur 89. Lerum S, dygnsekvivalent ljudnivå L_{Aeq24h} 1,5 m över mark. Uppifrån: Nord96, CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%, CNOSSOS-EU med p_f=100/100/100%, Nord2000 (meteo NORD96).



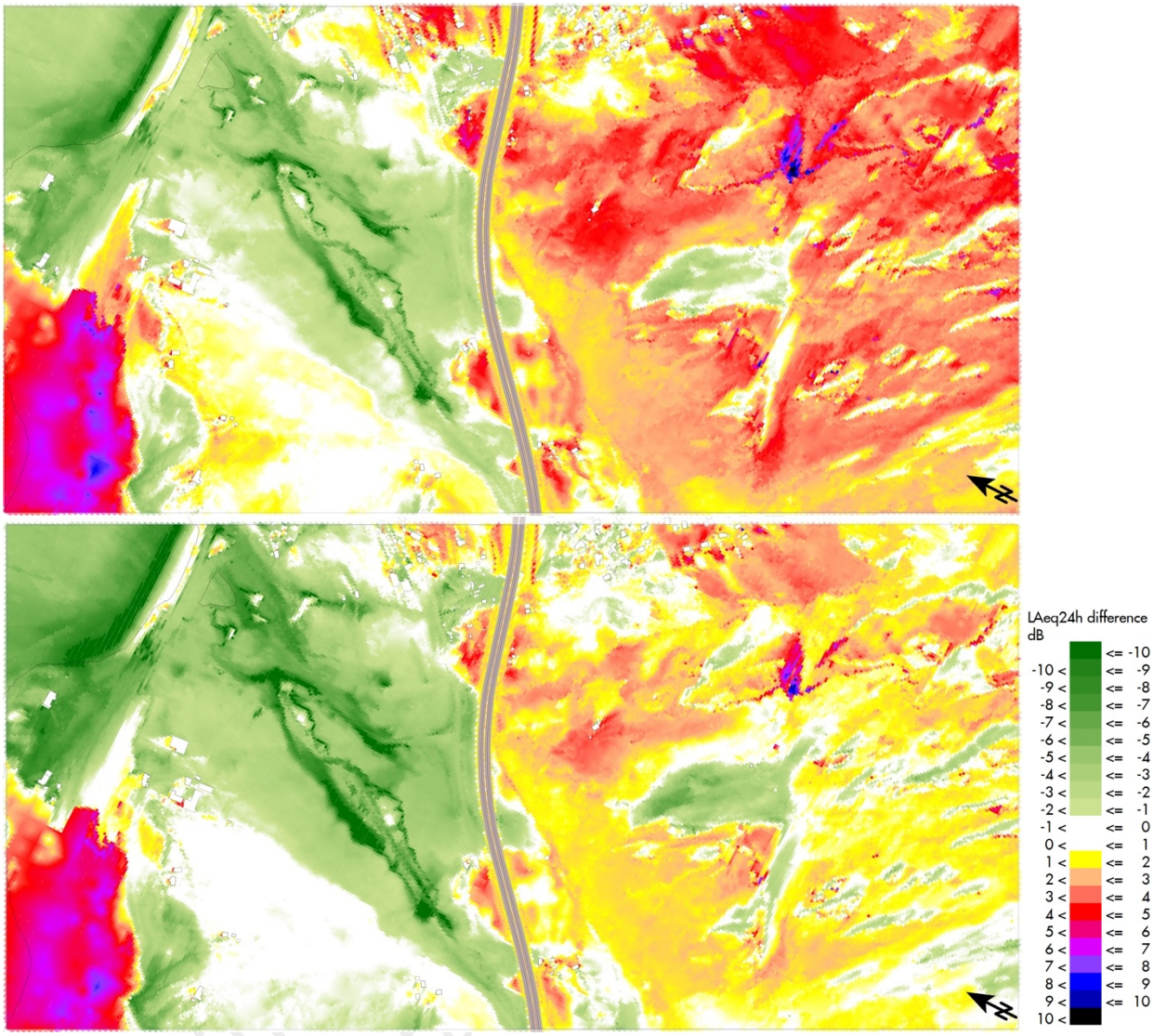
Figur 90. Lerum M, dygnsekvivalent ljudnivå L_{Aeq24h} 1,5 m över mark. Uppifrån: Nord96, CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%, CNOSSOS-EU med p_f=100/100/100%, Nord2000 (meteo Nord96).



Figur 91. Lerum N, dygnsekvivalent ljudnivå L_{Aeq24h} 1,5 m över mark. Uppifrån: Nord96, CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%, CNOSSOS-EU med p_f=100/100/100%, Nord2000 (meteo Nord96).

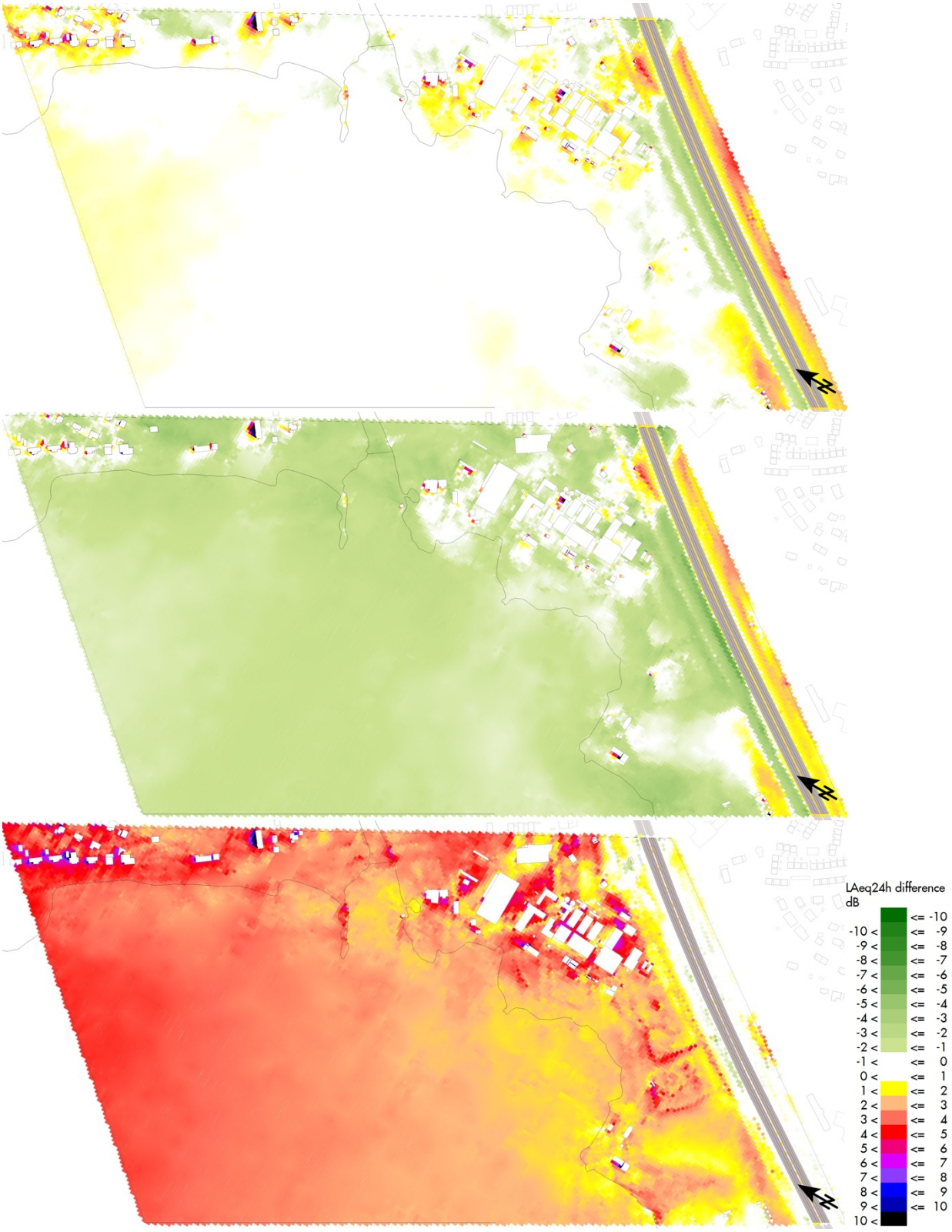


Figur 92. Nivåskillnader Lerum S (h=1,5m). Uppifrån: Nord96 – CNOSSOS-EU med p_f =50/75/100%, Nord96 – CNOSSOS-EU med p_f =100/100/100%, Nord96 – Nord2000 (meteo Nord96).

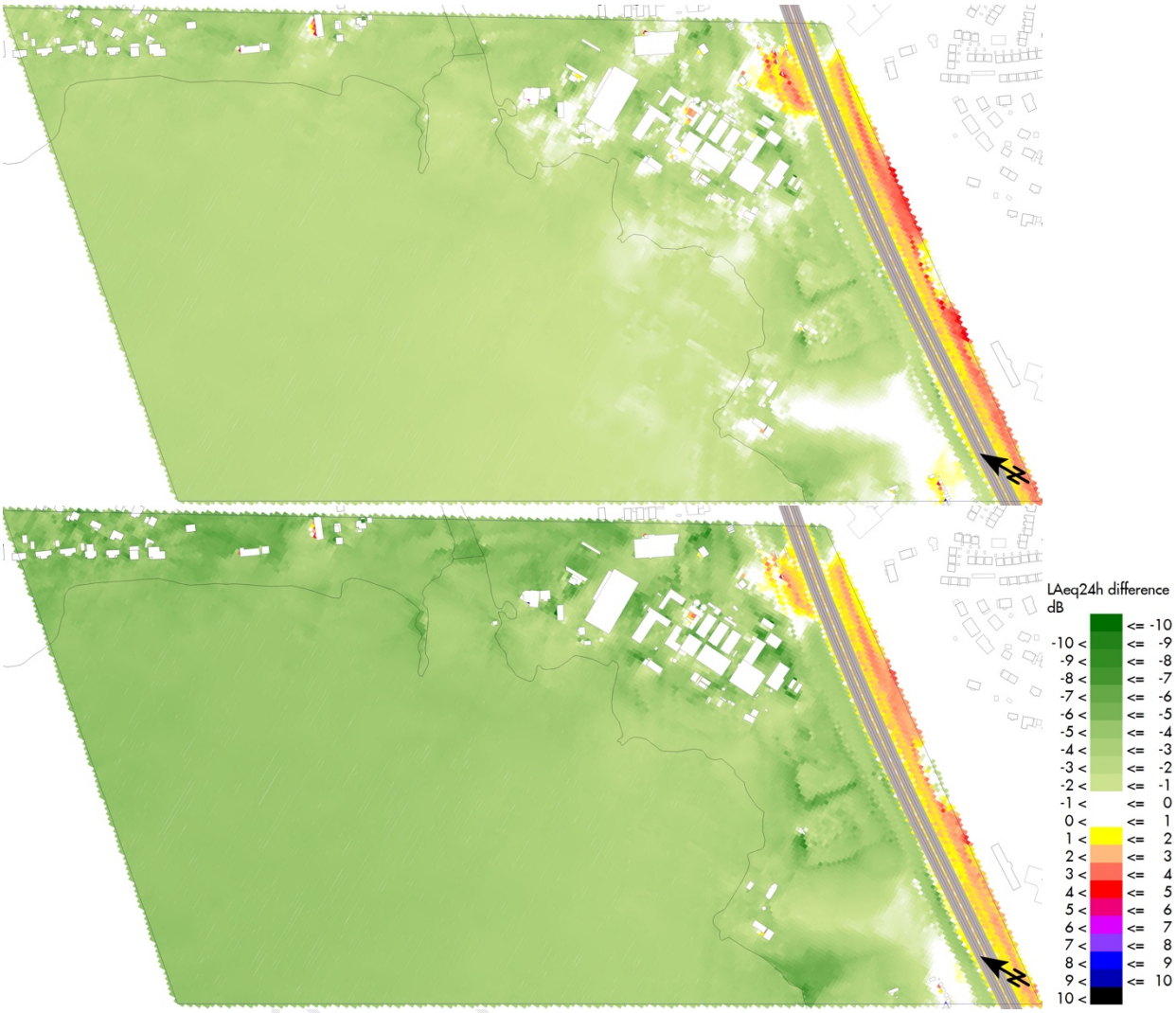


Figur 93. Nivåskillnader Lerum S (h=1,5m). Uppifrån: Nord2000 (meteo Nord96) – CNOSSOS-EU med p_f =50/75/100%, Nord2000 (meteo Nord96) – CNOSSOS-EU med p_f =100/100/100%.

Godkänd
Invänta

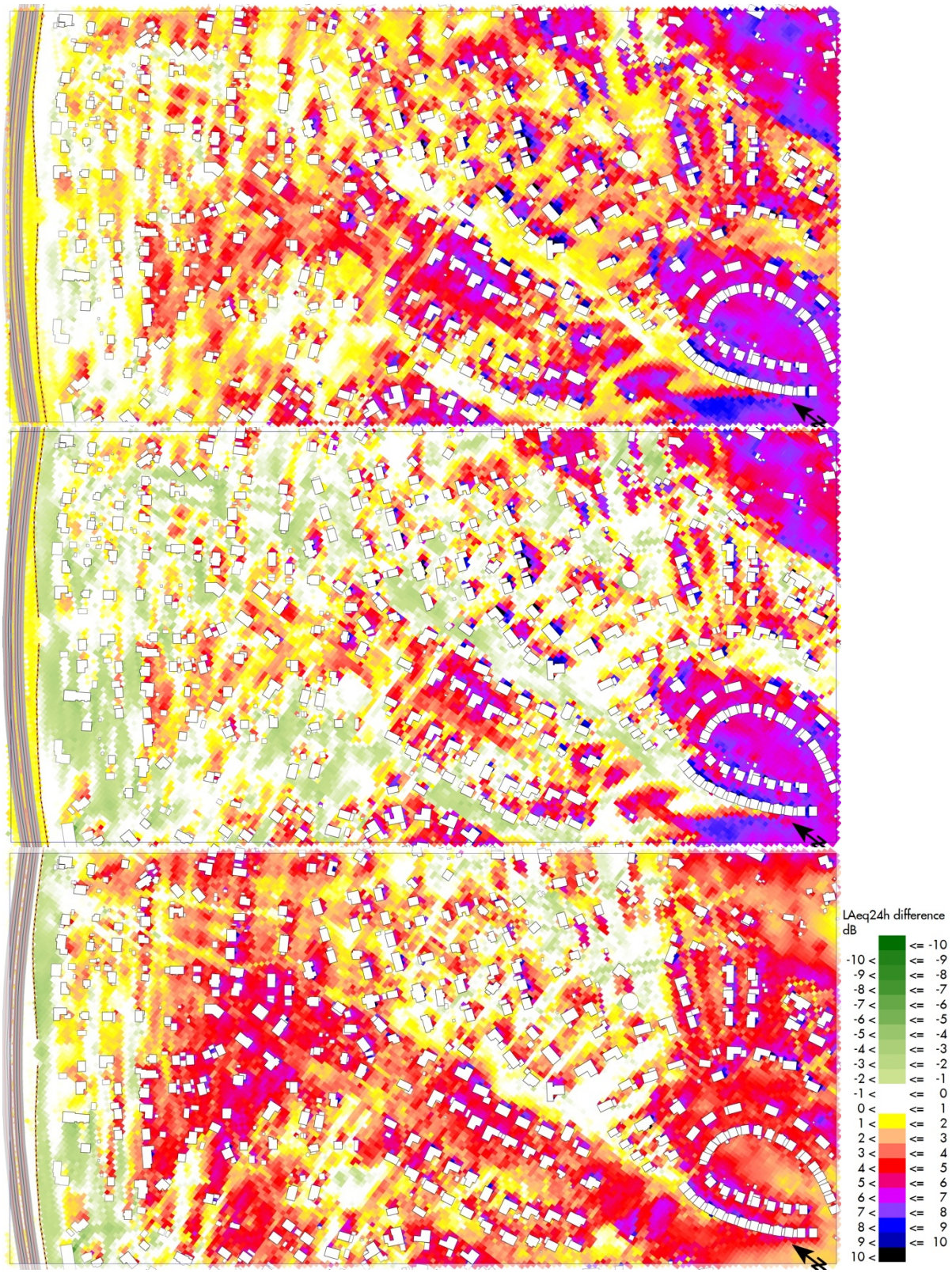


Figur 94. Nivåskillnader Lerum M (h=1,5m). Uppifrån: Nord96 – CNOSSOS-EU med p_f =50/75/100%, Nord96 – CNOSSOS-EU med p_f =100/100/100%, Nord96 – Nord2000 (meteo Nord96).

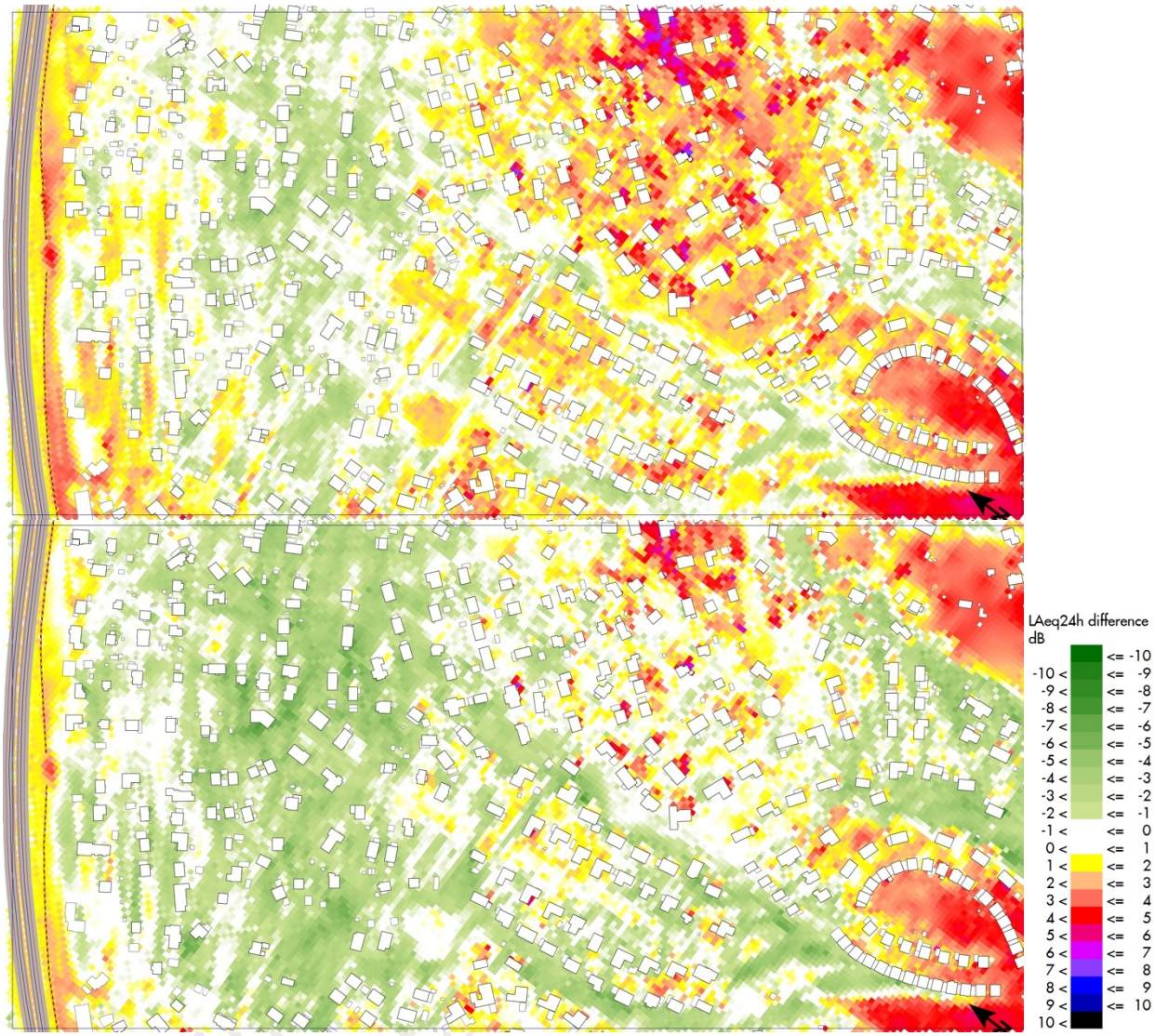


Figur 95. Nivåskillnader Lerum M (h=1,5m). Uppifrån: Nord2000 (meteo Nord96) – CNOSSOS-EU med p_f =50/75/100%, Nord2000 (meteo Nord96) – CNOSSOS-EU med p_f =100/100/100%.

Godkänd
Invänta

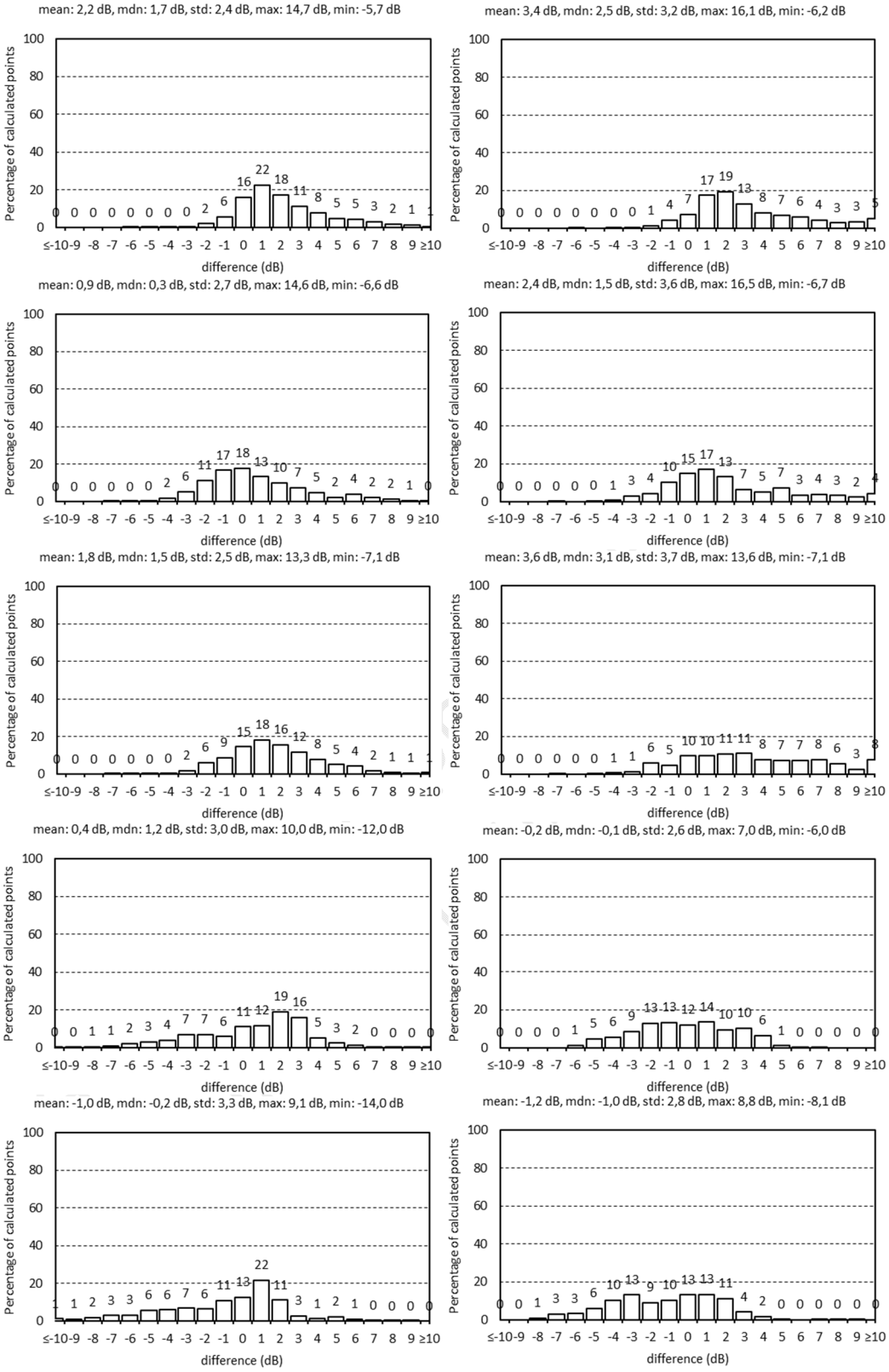


Figur 96. Nivåskillnader Lerum N (h=1,5m). Uppifrån: Nord96 – CNOSSOS-EU med p_f =50/75/100%, Nord96 – CNOSSOS-EU med p_f =100/100/100%, Nord96 – Nord2000 (meteo Nord96).

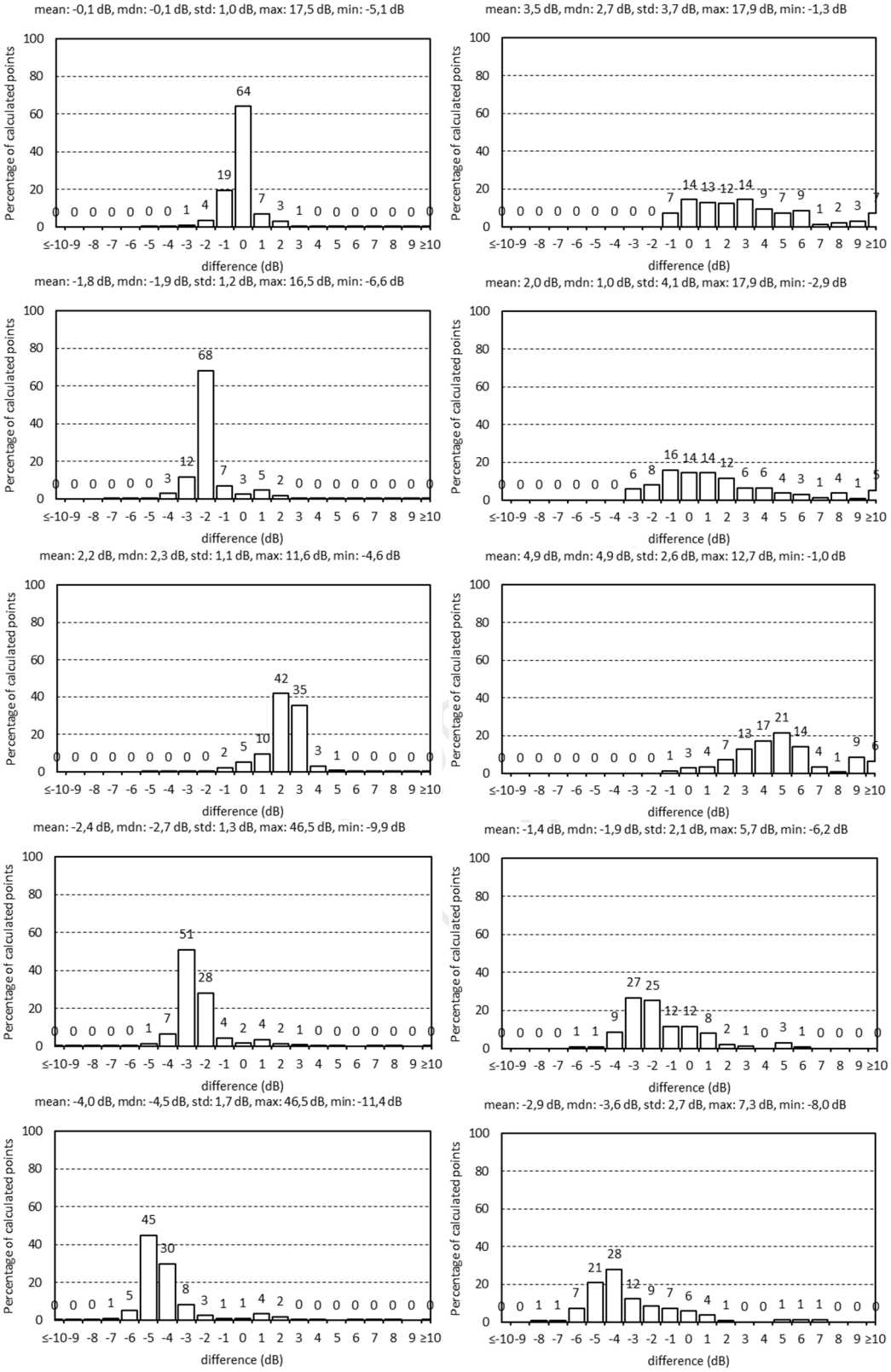


Figur 97. Nivåskillnader Lerum N (h=1,5m). Uppifrån: Nord2000 (meteo Nord96) – CNOSSOS-EU med p_f =50/75/100%, Nord2000 (meteo Nord96) – CNOSSOS-EU med p_f =100/100/100%,

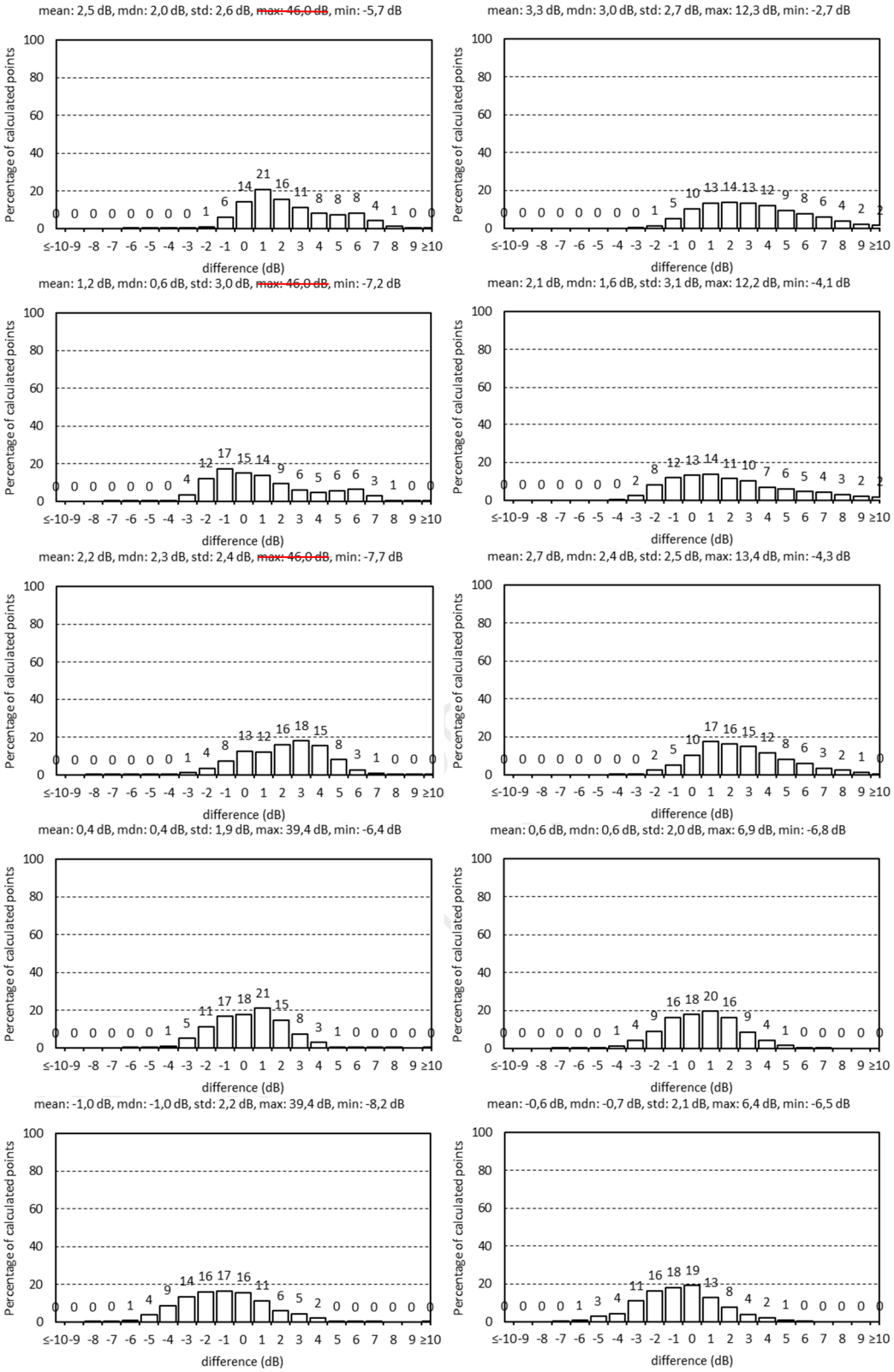
Godkänd
Invänta



Figur 98. Lerum S, fördelning nivåskillnader. Till vänster rasterberäkning h=1,5 m, till höger fasadnivå per våningsplan. Uppifrån: Nord96 – CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%, Nord96 – CNOSSOS-EU med p_f=100% hela dygnet, Nord96 – Nord2000 (meteo Nord96), Nord2000 (meteo Nord96) – CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%, Nord2000 (meteo Nord96) – CNOSSOS-EU med p_f=100% hela dygnet.



Figur 99. Lerum M, fördelning nivåskillnader. Till vänster rasterberäkning h=1,5 m, till höger fasadnivå per våningsplan. Uppifrån: Nord96 – CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%, Nord96 – CNOSSOS-EU med p_f=100% hela dygnet, Nord96 – Nord2000 (meteo Nord96), Nord2000 (meteo Nord96) – CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%, Nord2000 (meteo Nord96) – CNOSSOS-EU med p_f=100% hela dygnet.



Figur 100 Lerum N, fördelning nivåskillnader. Till vänster rasterberäkning h=1,5 m, till höger fasadnivå per våningsplan. Uppifrån: Nord96 – CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%, Nord96 – CNOSSOS-EU med p_f=100% hela dygnet, Nord96 – Nord2000 (meteo Nord96), Nord2000 (meteo Nord96) – CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%, Nord2000 (meteo Nord96) – CNOSSOS-EU med p_f=100% hela dygnet.

område	*beräkning*	*differens Nord96 minus…*	*meteo*	*mv (dB)*	*s (dB)*	*max (dB)*	*min (dB)*
Högsbo	raster	CNOSSOS-EU	p_f=50/75/100%	**+1,1**	**1,6**	+15,2	–15,7
Högsbo	fasad	CNOSSOS-EU	p_f=50/75/100%	–0,2	**1,4**	+6,6	–7,5
Högsbo	raster	CNOSSOS-EU	p_f =100/100/100%	+0,4	**1,9**	+13,0	–18,0
Högsbo	fasad	CNOSSOS-EU	p_f =100/100/100%	–0,9	**1,6**	+7,1	–9,3
Högsbo	raster	Nord2000	Nord96	**+1,2**	**1,5**	+26,5	–3,5
Högsbo	fasad	Nord2000	Nord96	+0,9	**1,3**	+9,5	–4,7
Lerum S	raster	CNOSSOS-EU	p_f =50/75/100%	**+2,2**	**2,4**	+14,7	–5,7
Lerum S	fasad	CNOSSOS-EU	p_f =50/75/100%	**+3,4**	**3,2**	+16,1	–6,2
Lerum S	raster	CNOSSOS-EU	p_f =100/100/100%	+0,9	**2,7**	+14,6	–6,6
Lerum S	fasad	CNOSSOS-EU	p_f =100/100/100%	**+2,4**	**3,6**	+16,5	–6,7
Lerum S	raster	Nord2000	Nord96	**+1,8**	**2,5**	+13,3	–7,1
Lerum S	fasad	Nord2000	Nord96	**+3,6**	**3,7**	+13,6	–7,1
Lerum M	raster	CNOSSOS-EU	p_f =50/75/100%	–0,1	1,0	+17,5	–5,1
Lerum M	fasad	CNOSSOS-EU	p_f =50/75/100%	**+3,5**	**3,7**	+17,9	–1,3
Lerum M	raster	CNOSSOS-EU	p_f =100/100/100%	**–1,8**	**1,2**	+16,5	–6,6
Lerum M	fasad	CNOSSOS-EU	p_f =100/100/100%	**+2,0**	**4,1**	+17,9	–2,9
Lerum M	raster	Nord2000	Nord96	**+2,2**	**1,1**	+11,6	–4,6
Lerum M	fasad	Nord2000	Nord96	**+4,9**	**2,6**	+12,7	–1,0
Lerum N	raster	CNOSSOS-EU	p_f =50/75/100%	**+2,5**	**2,6**	~~+46,0~~	–5,7
Lerum N	fasad	CNOSSOS-EU	p_f =50/75/100%	**+3,3**	**2,7**	+12,3	–2,7
Lerum N	raster	CNOSSOS-EU	p_f =100/100/100%	**+1,2**	**3,0**	~~+46,0~~	–7,2
Lerum N	fasad	CNOSSOS-EU	p_f =100/100/100%	**+2,1**	**3,1**	+12,2	–4,1
Lerum N	raster	Nord2000	Nord96	**+2,2**	**2,4**	~~+46,0~~	–7,2
Lerum N	fasad	Nord2000	Nord96	**+2,7**	**2,5**	+13,4	–4,3

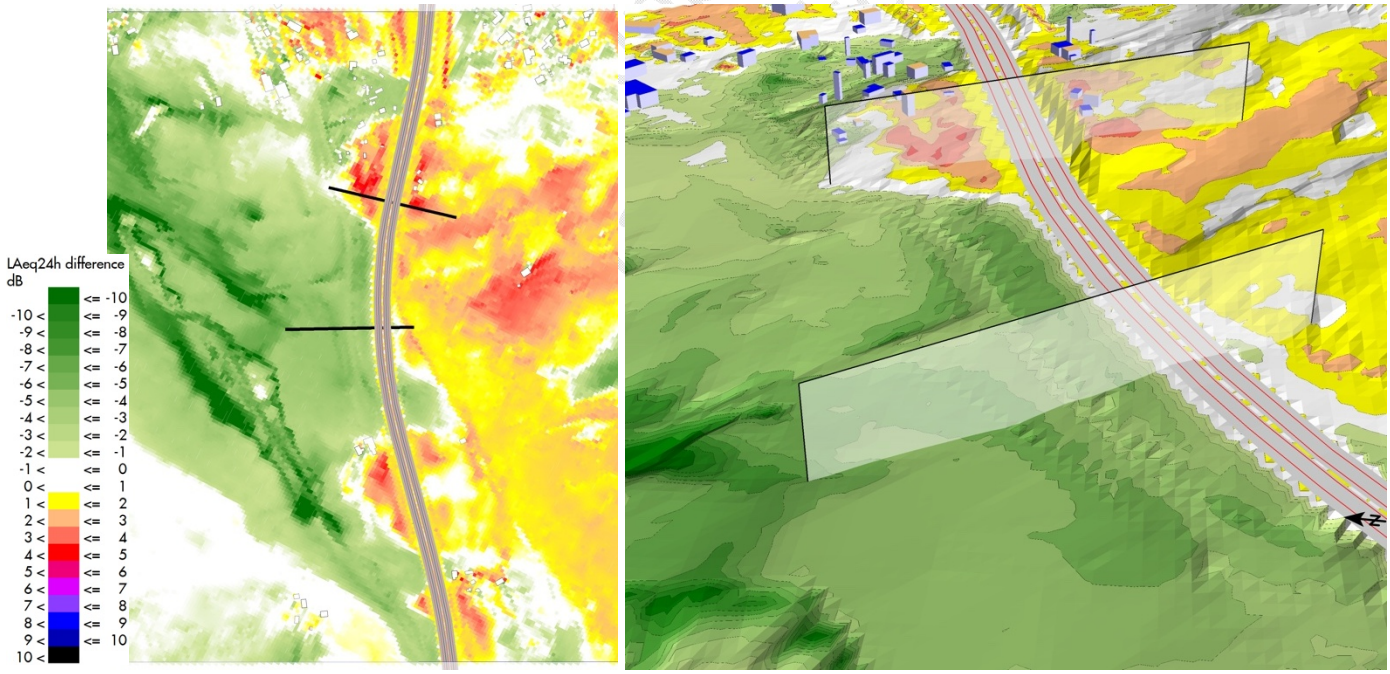
Tabell 9. Högsbo och Lerum, skillnad i ljudnivå beräknad med Nord96, minus ljudnivå beräknad med CNOSSOS-EU eller Nord2000. Sammanställning från de sex översta fördelningarna i Figur 88 resp Figur 98–Figur 100. Medelvärden och standardavvikelser >1 dB har markerats med fet-stil. (Maxnoteringarna med röd överstrykning är felaktigt registrerade[10].)

Godkänd av uppdragsgivare
Inväntar granskning

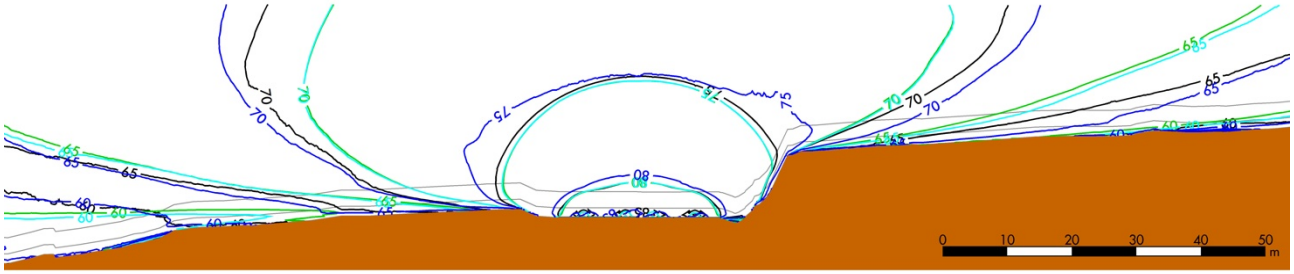
område	*beräkning*	*differens Nord2000 minus…*	*meteo*	*mv (dB)*	*s (dB)*	*max (dB)*	*min (dB)*
Högsbo	raster	CNOSSOS-EU	p_f=50/75/100%	–0,1	**1,4**	+5,1	–17,4
Högsbo	fasad	CNOSSOS-EU	p_f=50/75/100%	**–1,1**	**1,4**	+3,7	–8,3
Högsbo	raster	CNOSSOS-EU	p_f =100/100/100%	–0,8	**1,7**	+4,7	–19,8
Högsbo	fasad	CNOSSOS-EU	p_f =100/100/100%	**–1,8**	**1,7**	+2,6	–10,2
Lerum S	raster	CNOSSOS-EU	p_f =50/75/100%	+0,4	**3,0**	+10,0	–12,0
Lerum S	fasad	CNOSSOS-EU	p_f =50/75/100%	–0,2	**+2,6**	+7,0	–6,0
Lerum S	raster	CNOSSOS-EU	p_f =100/100/100%	–1,0	**3,3**	+9,1	–14,0
Lerum S	fasad	CNOSSOS-EU	p_f =100/100/100%	**–1,2**	**2,8**	+8,8	–8,1
Lerum M	raster	CNOSSOS-EU	p_f =50/75/100%	**–2,4**	**1,3**	~~+46,5~~	–9,9
Lerum M	fasad	CNOSSOS-EU	p_f =50/75/100%	**–1,4**	**2,1**	+5,7	–6,2
Lerum M	raster	CNOSSOS-EU	p_f =100/100/100%	**–4,0**	**1,7**	~~+46,5~~	–11,4
Lerum M	fasad	CNOSSOS-EU	p_f =100/100/100%	**–2,9**	**2,7**	+7,3	–8,0
Lerum N	raster	CNOSSOS-EU	p_f =50/75/100%	+0,4	**1,9**	~~+39,4~~	–6,4
Lerum N	fasad	CNOSSOS-EU	p_f =50/75/100%	+0,6	**2,0**	+6,9	–6,8
Lerum N	raster	CNOSSOS-EU	p_f =100/100/100%	–1,0	**2,2**	~~+39,4~~	–8,2
Lerum N	fasad	CNOSSOS-EU	p_f =100/100/100%	–0,6	**2,1**	+6,4	–6,5

Tabell 10. Högsbo och Lerum, skillnad i ljudnivå beräknad med Nord2000 (meteo Nord96), minus ljudnivå beräknad med CNOSSOS-EU. Sammanställning från de fyra nedre fördelningarna i Figur 88 resp Figur 98–Figur 100. Medelvärden och standardavvikelser >1 dB har markerats med fetstil. (Maxnoteringarna med röd överstrykning är felaktigt registrerade[10].)

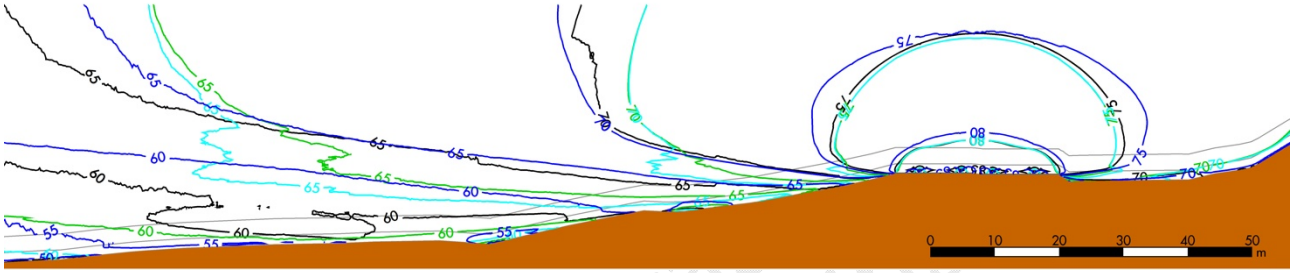
5.3.2.2 Resultat vertikala bullerkonturer



Figur 101. Lerum S. Nord2000 (meteo Nord96), minus CNOSSOS-EU med p_f =100% hela dygnet. Till vänster, utsnitt ur nedre bilden i Figur 93 med placering beräkningssnitt för vertikala buller-konturer; det övre snittet är placerat där vägen går i skärning och det undre med ljudutbredning över en slänt. Till höger, motsvarande i 3D.



Figur 102. Lerum S, ljudutbredning i vertikalled (L_{Aeq24h}), vid snitt med där vägen går i skärning. Grå linjer markerar 1,5 m och 4 m höjd över marken. Svarta linjer: Nord96. Gröna linjer: CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%. Turkosa linjer: CNOSSOS-EU med p_f=100% hela dygnet. Blå linjer: Nord2000 med meteo Nord96.



Figur 103. Lerum S, ljudutbredning i vertikalled (L_{Aeq24h}), vid snitt med ljudutbredning över en slänt. Grå linjer markerar 1,5 m och 4 m höjd över marken. Svarta linjer: Nord96. Gröna linjer: CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%. Turkosa linjer: CNOSSOS-EU med p_f=100% hela dygnet. Blå linjer: Nord2000 med meteo Nord96.

5.3.3 Högsbo och Lerum, L_{den} vid (eventuella framtida) inhemska beräkningar

Detta avsnitt redovisar jämförelser mellan årsmedelvärden beräknade som L_{den} med CNOSSOS-EU respektive Nord2000. För att begränsa redovisningen presenteras inga resultat för L_{night}. Beräkningarna gjordes dock inte 4 m över mark som i den strategiska kartläggningen, utan på höjden 1,5 m för bullerkonturer respektive per våningsplan för fasadnivåer, vilket är vanligt förekommande i inhemska utredningar. Notera att årsmedelvärden av L_{den} och L_{night} för närvarande inte används vid inhemska utredningar, och måtten kommer kanske heller inte att bli aktuella i framtiden. Avsikten är att tillhandahålla exempel på vad L_{den} skulle kunna bli i svenska utredningar (att jämföra med motsvarande resultat för L_{eq24h} i denna rapport), samt att belysa i vilken utsträckning CNOSSOS-EU predikterar samma värden som Nord2000.

Redovisade ljudnivåer representerar årsmedelvärden med avseende på refraktion och luftabsorption. Lokala utbredningsparametrar för refraktionen (framtagna från lokal väderstatistik) har inte funnits tillgängliga, varför beräkningarna med CNOSSOS-EU istället använder en schablon (p_f = 50/75/100% för dag/kväll/natt), medan beräkningarna med Nord2000 inkluderar dansk väderstatistik representerad av fyra utbredningsklasser (se del 1 avsnitt 3.1). För Lerum N görs även ett känslighetstest där den danska väderstatistiken förskjuts 90 grader. Även underlaget för atmosfärisk absorption utgörs av schablonvärden till CNOSSOS-EU

respektive verklig väderstatistik till Nord2000 (data som ingår i den danska officiella väderstatistiken).

Vidare har inga korrektioner gjorts för andel tid av året med snötäckt mark, vägytetemperaturens årsmedelvärde (angiven som lufttemperatur), andel lätta fordon med dubbdäck under ett år, eller andel tid under ett år med våt vägyta. Utelämnandet av korrektion för vägytetemperatur och dubbdäck bör ha liten betydelse för jämförelserna eftersom snarlika korrektioner görs i båda metoderna. Likaså korrektionen för våt vägyta, som visserligen bara Nord2000 har stöd för, men som skulle gå att inkludera som vägytekorrektioner för CNOSSOS-EU om behov finns. Korrektion för andel av året med snötäcke skulle däremot kunna ha viss påverkan på utfallet av jämförelserna, eftersom CNOSSOS-EU har begränsade möjligheter att inkludera snöns absorption.

Trots ovanstående förenklingar bedöms ändå underlaget som tillräckligt för att fungera bra som illustration av vilka skillnader som kan förväntas uppstå.

Markabsorption/-impedans definierades med hjälp av Fastighetskarta.

5.3.3.1 Resultat

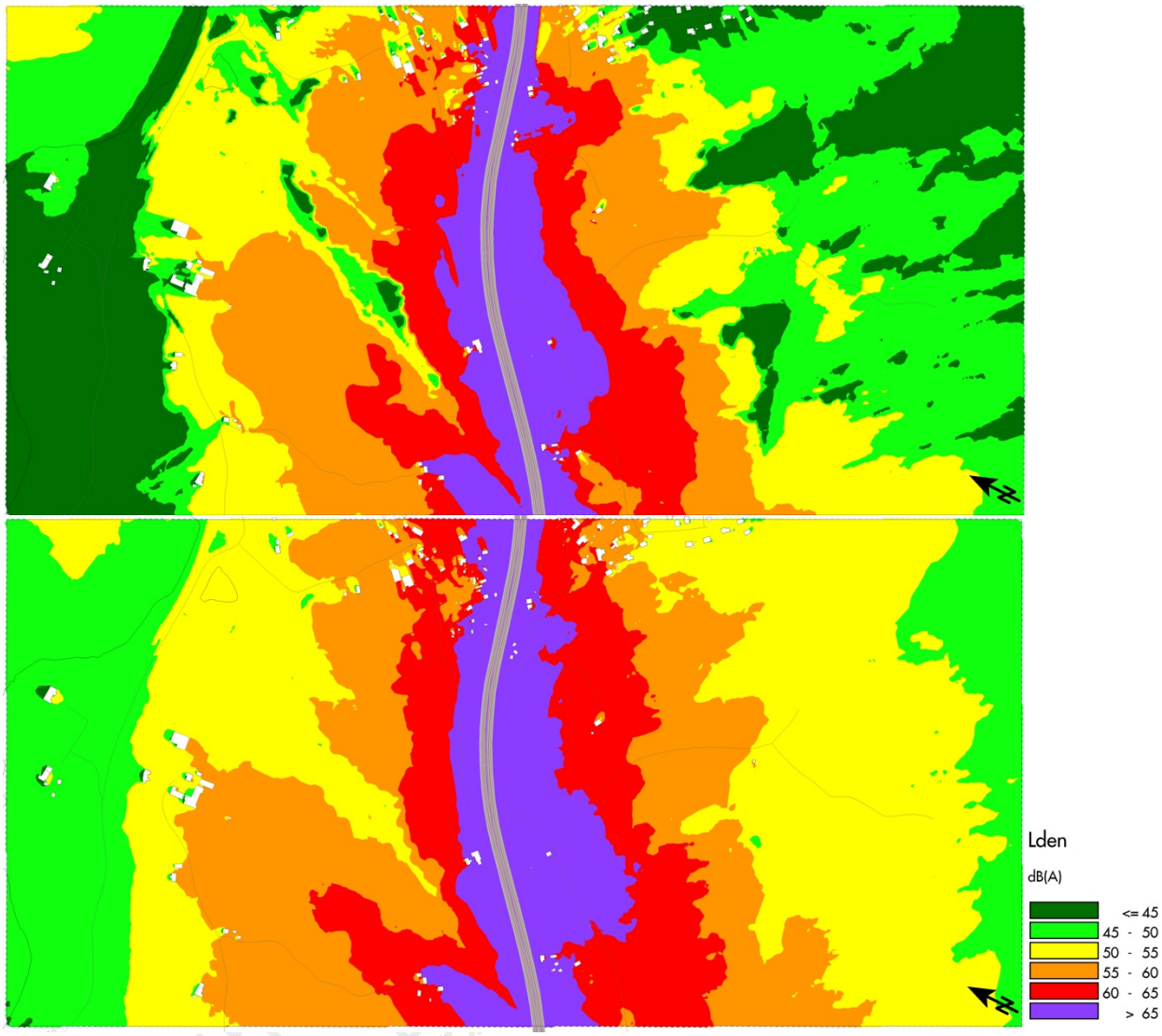
Skillnaderna mellan CNOSSOS-EU och Nord2000 är till en stor del avsevärda. Särskilt jämförelsen i Lerum N sticker ut där CNOSSOS-EU i medeltal beräknar ca 8 dB lägre nivåer än Nord2000, se Figur 111. Resultaten är i linje med motsvarande jämförelser gjorda i Danmark [47].

Användandet av den danska väderstatistiken i Nord2000-beräkningarna innebär att refraktionen har större påverkan på markeffekt och skärmning än i beräkningarna av L_{Aeq24h} i avsnitt 5.3.2, där refraktionen var en simulering av Nord96. Lägg därtill att ljudnivåerna beräknas som L_{den} som viktar kväll- och nattnivåer högre, då förekomsten av utbredningsklass M18 och M24 är vanligare (gynnsam respektive mycket gynnsam ljudutbredning).

Att refraktionen har stor påverkan framgår även av de vertikala bullerkonturerna för det enkla typfallet med rak väg och en skärm i Figur 117 och Figur 118. Nivåerna är beräknade som L_{den}, dels med CNOSSOS-EU och p_{f}=50/75/100%, och dels med Nord2000 och var och en av de fyra danska utbredningsklasserna. Intressant är exempelvis att observera hur bullerkonturerna ser ut kring höjden 1,5 m över mark och konstatera hur de approximativa modellerna för markeffekt och skärmning i CNOSSOS-EU avviker från de mer exakta beräkningarna i Nord2000.

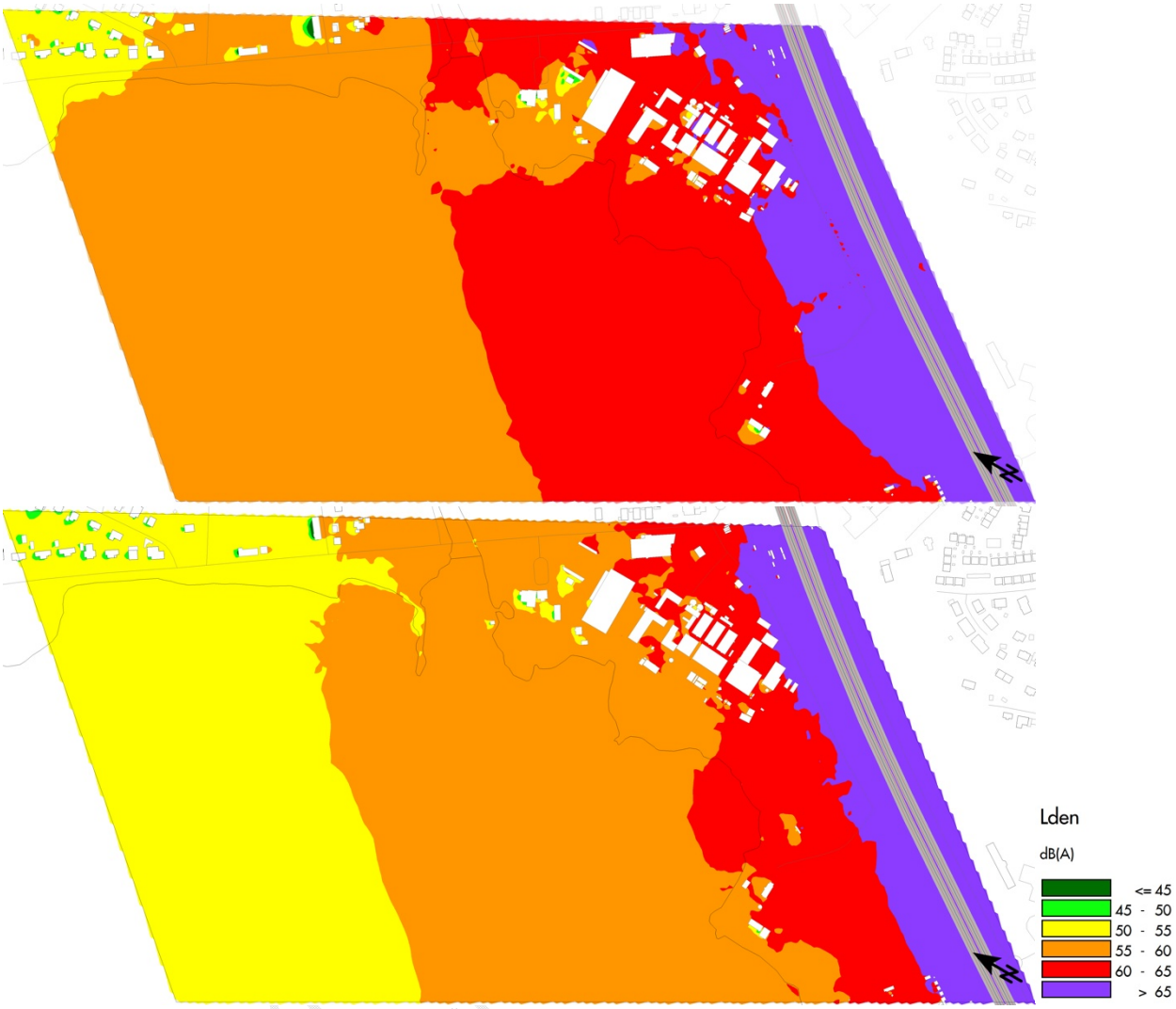
Godkänd av uppdragsgivare
Invänta publicering

Figur 104. Högsbo, L_{den} 1,5 m över mark. Övre plott: CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%. Undre plott: Nord2000 (meteo: fyra danska utbredningsklasser).



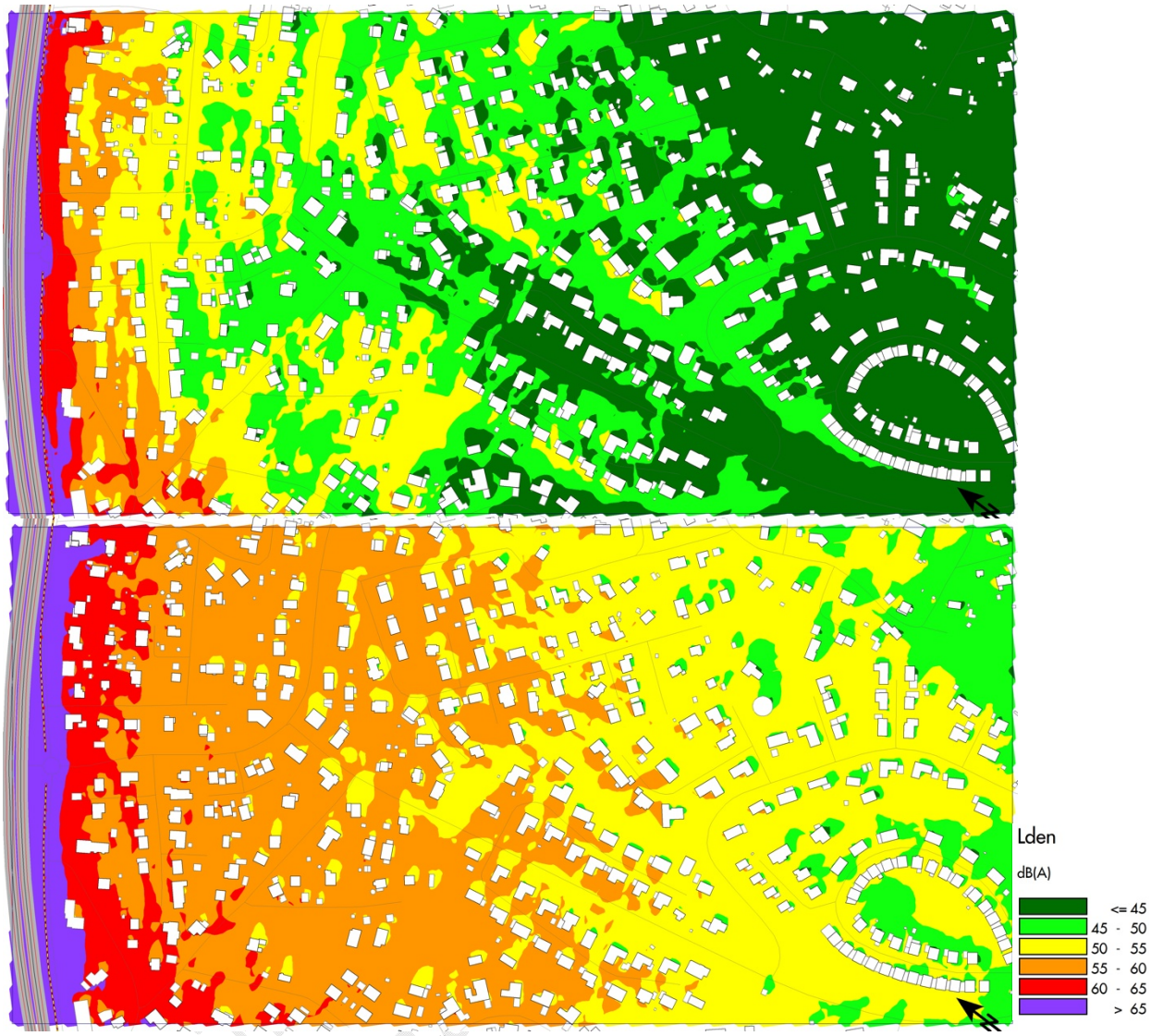
Figur 105. Lerum S, L_{den} 1,5 m över mark. Övre plott: CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%. Undre plott: Nord2000 (meteo: fyra danska utbredningsklasser).

Godkänd
Invänta



Figur 106. Lerum M, L_{den} 1,5 m över mark. Övre plott: CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%. Undre plott: Nord2000 (meteo: fyra danska utbredningsklasser).

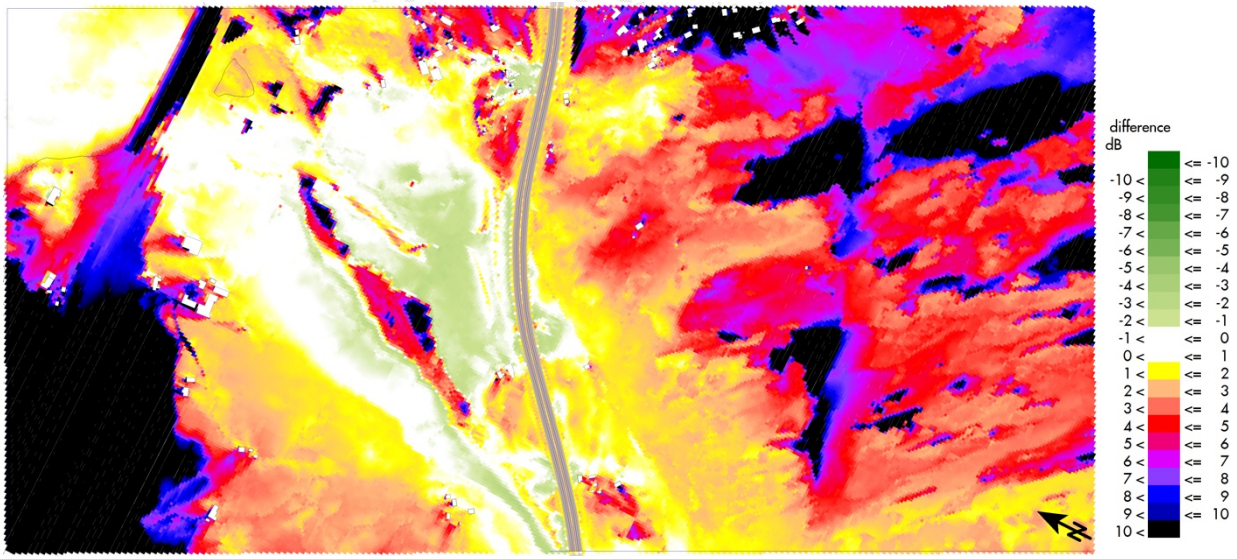
Godkänt
Invänt



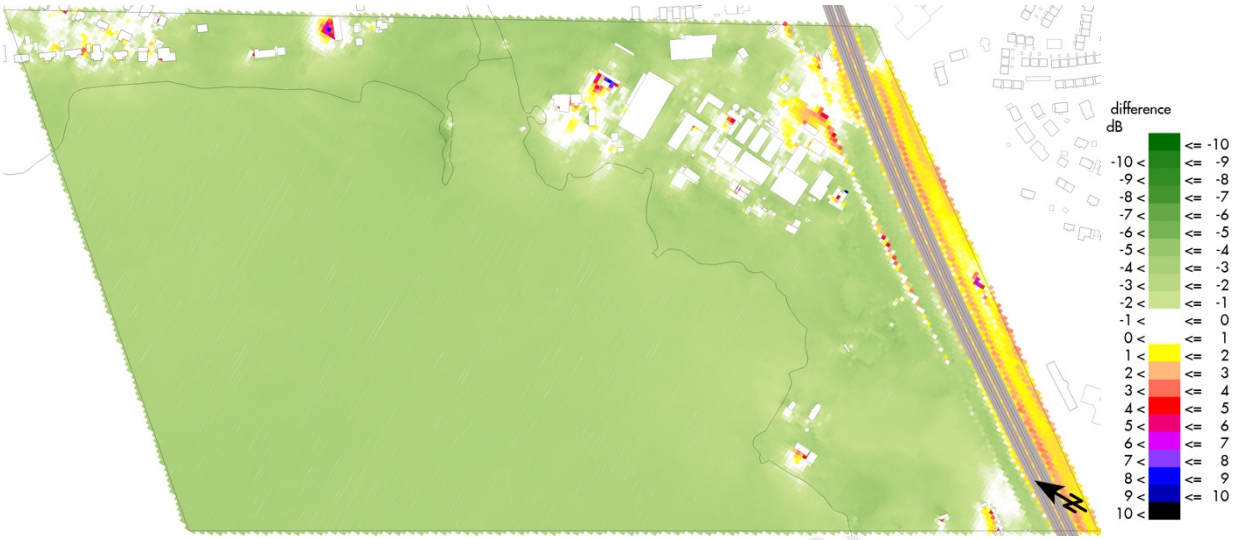
Figur 107. Lerum N, L_{den} 1,5 m över mark. Övre plott: CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%. Undre plott: Nord2000 (meteo: fyra danska utbredningsklasser).

Godkänd
Invariant

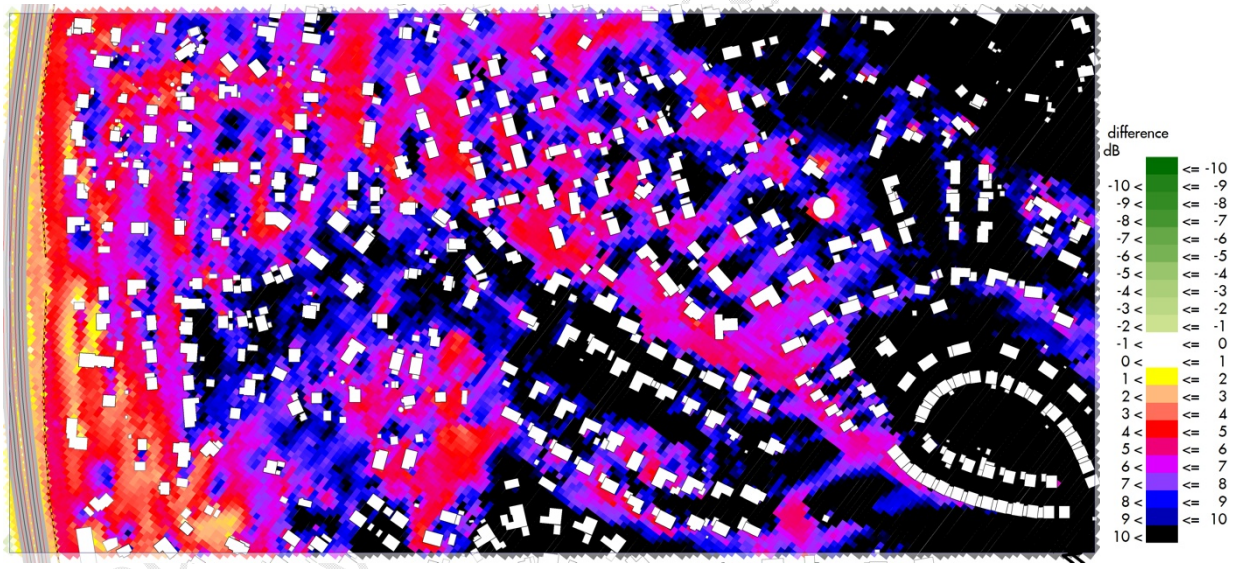
Figur 108. Nivåskillnader Högsbo, L_{den} h=1,5 m.
Nord2000 (meteo: fyra danska utbredningsklasser) – CNOSSOS-EU med p_f =50/75/100%.



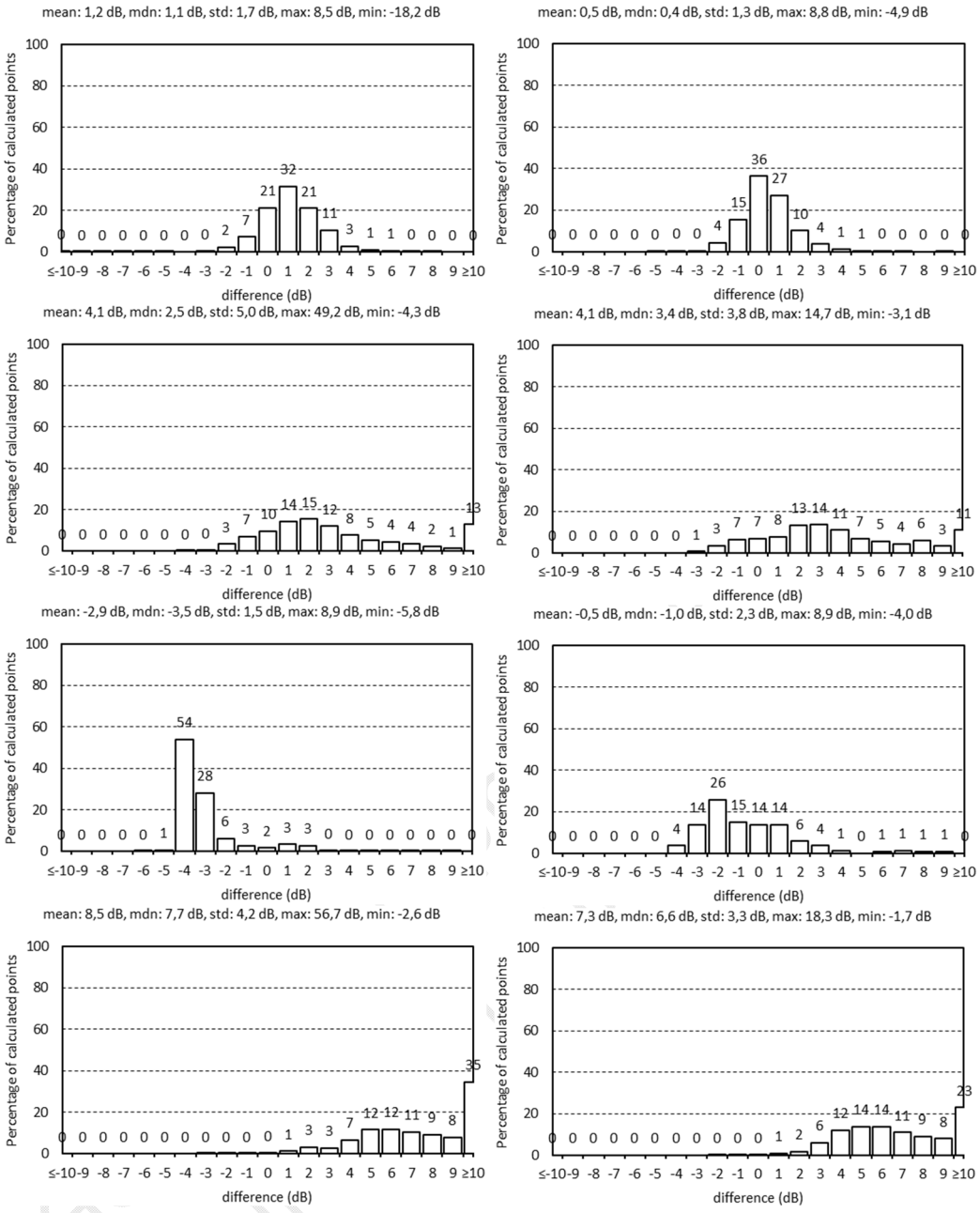
Figur 109. Nivåskillnader Lerum S, L_{den} h=1,5 m.
Nord2000 (meteo: fyra danska utbredningsklasser) – CNOSSOS-EU med p_f =50/75/100%.



Figur 110. Nivåskillnader Lerum M, L_{den} h=1,5 m.
Nord2000 (meteo: fyra danska utbredningsklasser) – CNOSSOS-EU med p_f =50/75/100%.



Figur 111. Nivåskillnader Lerum N, L_{den} h=1,5 m.
Nord2000 (meteo: fyra danska utbredningsklasser) – CNOSSOS-EU med p_f =50/75/100%.



Figur 112. Fördelning nivåskillnader L_{den}. Nord2000 (meteo: fyra danska utbredningsklasser) – CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%. Till vänster rasterberäkning h=1,5 m, till höger fasadnivå per våningsplan. Uppifrån: Högsbo, Lerum S, Lerum M, Lerum N.

område	*beräkning*	*mv (dB)*	*s (dB)*	*max (dB)*	*min (dB)*
Högsbo	raster	**+1,2**	**1,7**	+8,5	–18,2
Högsbo	fasad	+0,5	**1,3**	+8,8	–4,9
Lerum S	raster	**+4,1**	**5,0**	~~+49,2~~	–4,3
Lerum S	fasad	**+4,3**	**3,8**	+14,7	–3,1
Lerum M	raster	**–2,9**	**1,5**	+8,9	–5,8
Lerum M	fasad	–0,5	**2,3**	+8,9	–4,0
Lerum N	raster	**+8,5**	**4,2**	~~+56,7~~	–2,6
Lerum N	fasad	**+7,3**	**3,3**	+18,3	–1,7

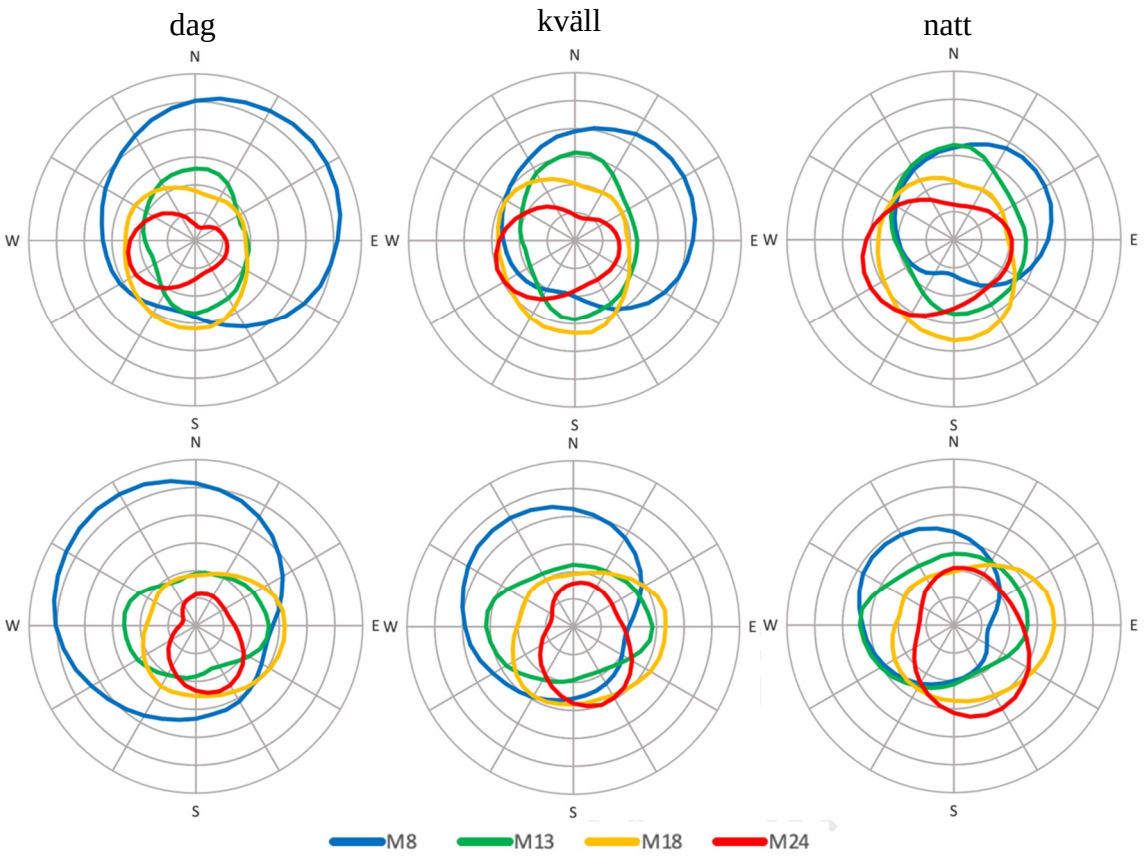
Tabell 11. Högsbo och Lerum, skillnad i ljudnivå beräknad med Nord2000 (meteo: fyra danska utbredningsklasser), minus ljudnivå beräknad med CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%. Sammanställning av värden från Figur 112. Medelvärden och standardavvikelser >1 dB har markerats med fetstil. (Maxnoteringarna med röd överstrykning är felaktigt registrerade[10].)

5.3.3.2 Resultat Lerum N, dansk väderstatistik förskjuten 90 grader

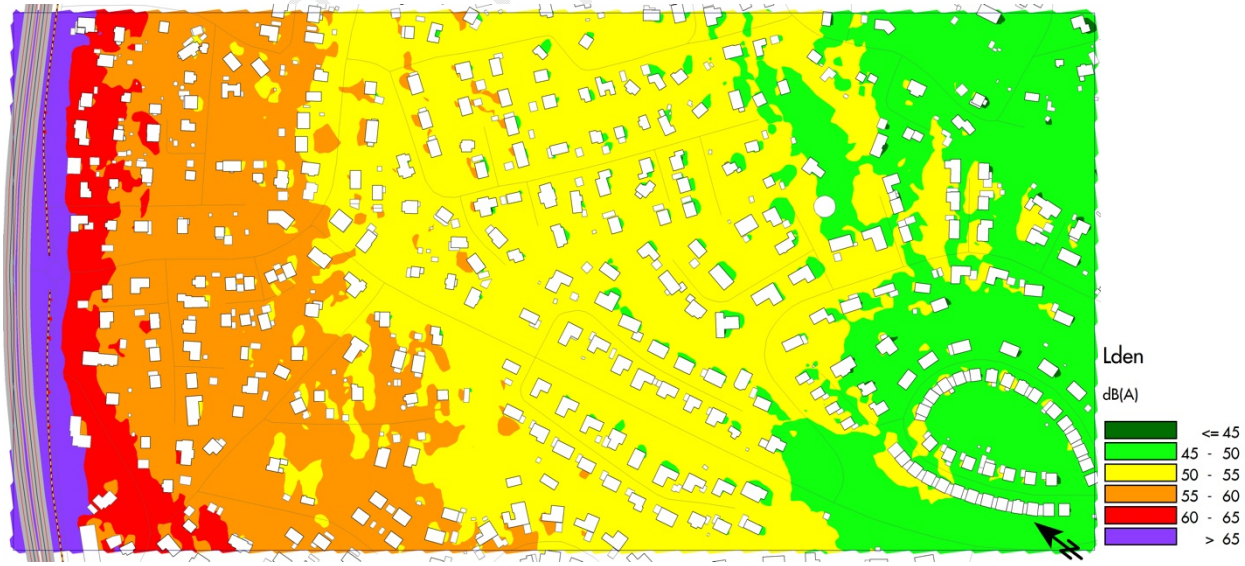
Den danska väderstatistiken motsvarar ungefär situationen på svenska västkusten med dominans för gynnsam ljudutbredning från väst till öst (mer vanligt med västliga vindar). I området Lerum N, som är beläget sydöst om motorvägen (jämför Figur 16), blir det därmed mer vanligt med gynnsam ljudutbredning från motorvägen än om det exempelvis hade varit mer vanligt med sydliga vindar, och därmed också högre L_{den}.

För att belysa storleksordningen hos sådana skillnader beräknades L_{den} på höjden 1,5 m för Lerum N med den danska väderstatistiken roterad 90° motsols. Ursprunglig och roterad väderstatistik redovisas i Figur 113.

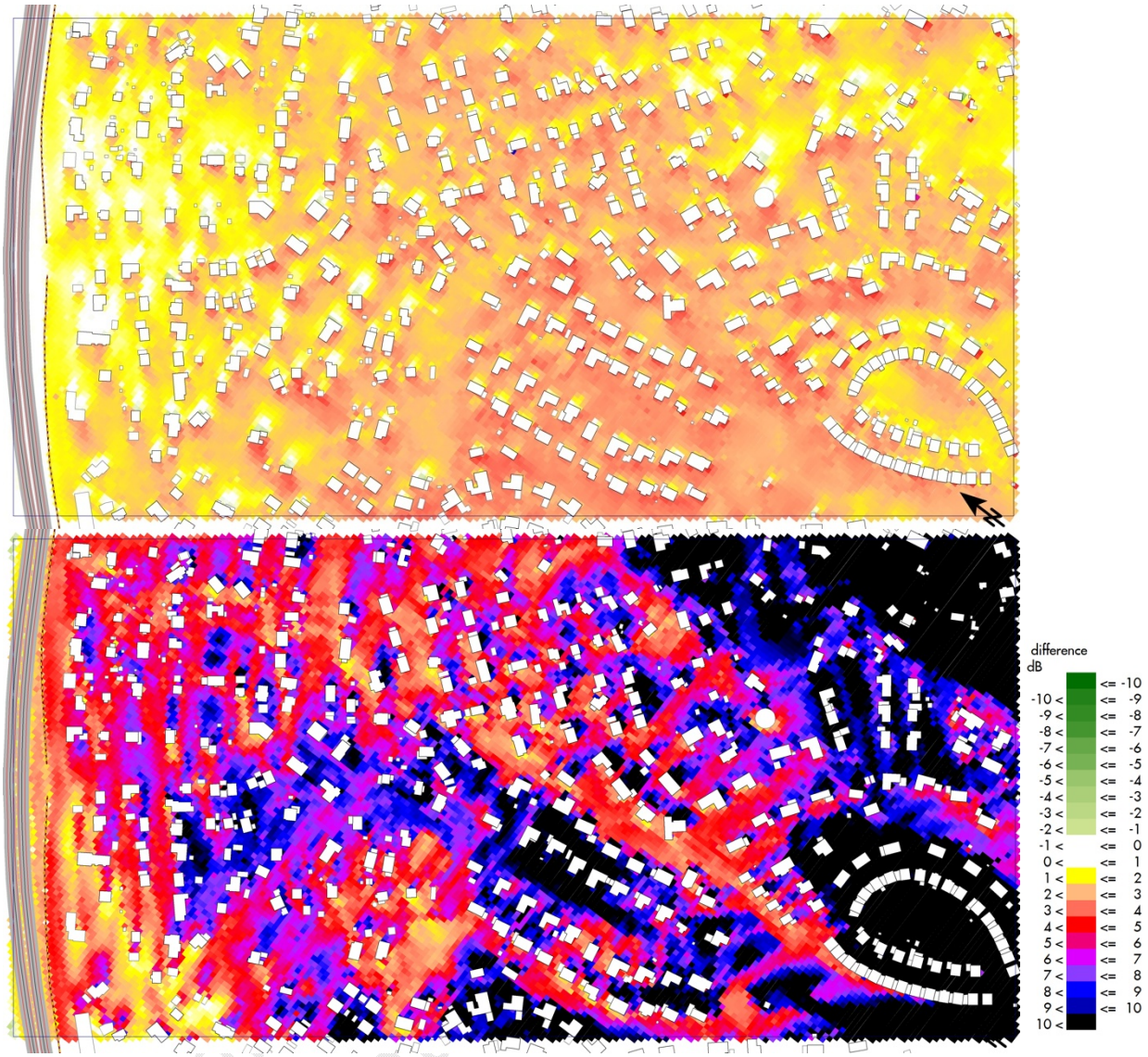
Godkänd av uppdragsgivare
Inväntar publicering



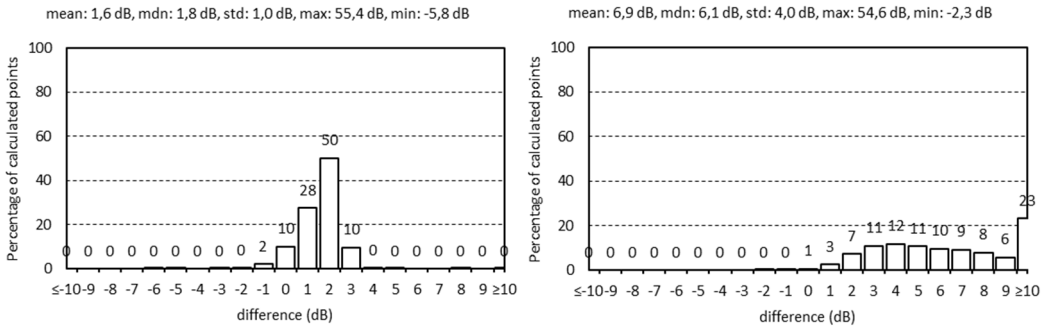
Figur 113. Dansk väderstatistik dag/kväll/natt med procentuell förekomst av fyra utbredningsklasser i olika väderstreck: M8 (ogynnsam), M13 (neutral), M18 (gynnsam) och M24 (mycket gynnsam). Övre raden: ursprunglig statistik. Nedre raden: roterad 90° motsols. Ett skalstreck i polärdiagrammet motsvarar 10%, med 0% i origo och 60% ytterst.



Figur 114. Lerum N, L_{den} 1,5 m över mark beräknat med Nord2000. Meteo: fyra danska utbredningsklasser, roterade 90° motsols enligt nedre raden i Figur 113.



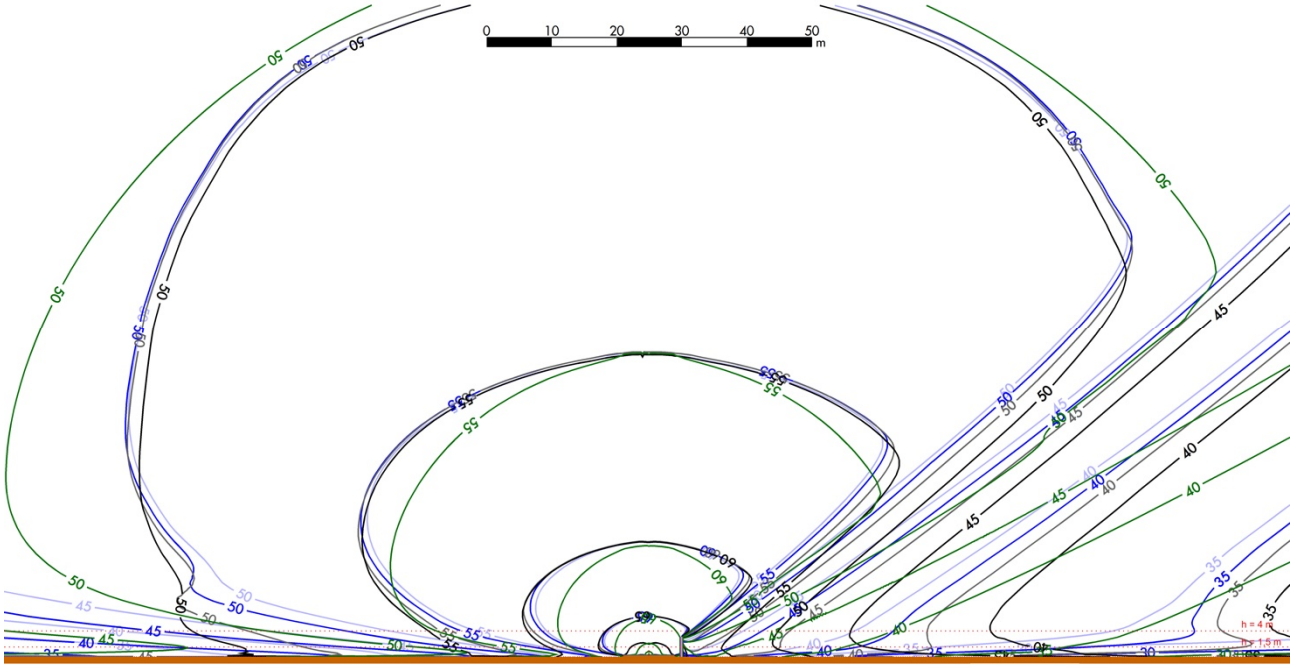
Figur 115. Nivåskillnader Lerum N, L_{den} h=1,5 m.
Övre plott: Nord2000 (meteo fyra danska utbredningsklasser) – Nord2000 (meteo: fyra danska utbredningsklasser roterade 90° motsols enligt nedre raden i Figur 113).
Undre plott: Nord2000 (meteo: fyra danska utbredningsklasser roterade 90° motsols enligt nedre raden i Figur 113) – CNOSSOS-EU med p_f =50/75/100%.



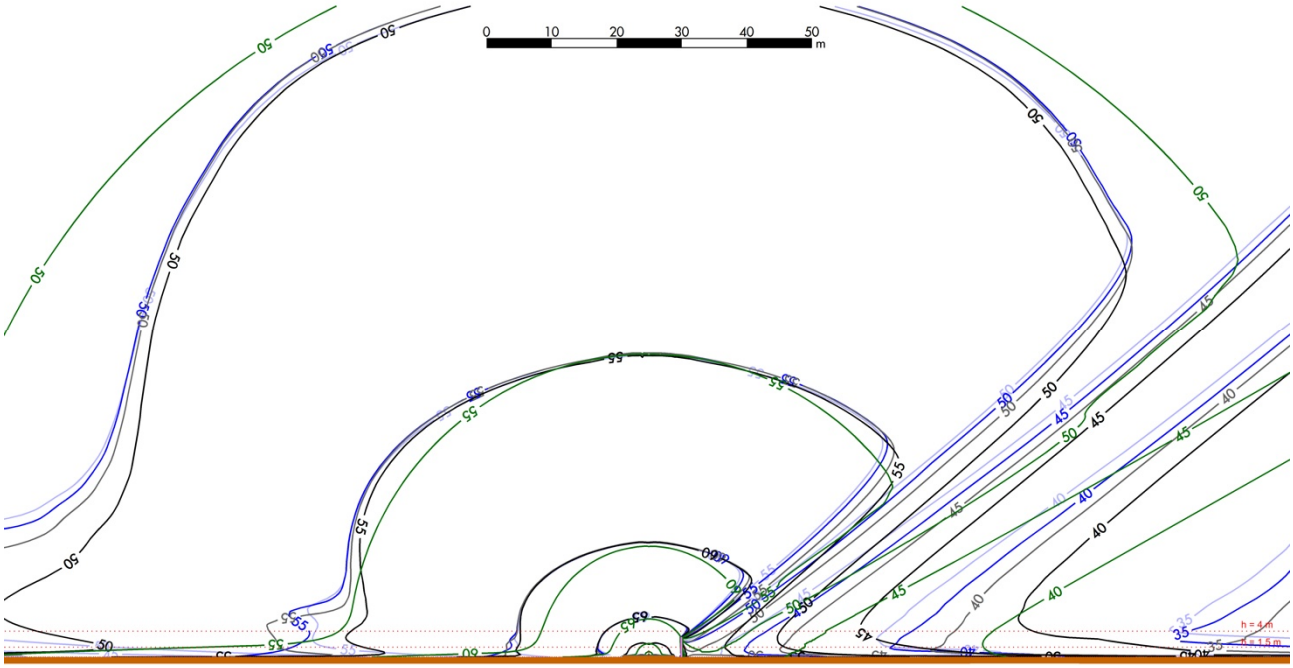
Figur 116. Lerum N, fördelning nivåskillnader L_{den} 1,5 m över mark.
Vänstra histogrammet: Nord2000 (meteo fyra danska utbredningsklasser) – Nord2000 (meteo: fyra danska utbredningsklasser roterade 90° motsols enligt nedre raden i Figur 113).
Högra histogrammet: Nord2000 (meteo: fyra danska utbredningsklasser roterade 90° motsols enligt nedre raden i Figur 113) – CNOSSOS-EU med p_f =50/75/100%.

differens Nord2000, meteo 4 danska utbredningsklasser, minus…	*mv (dB)*	*s (dB)*	*max (dB)*	*min (dB)*
Nord2000, meteo 4 danska utbr.klasser rot 90°	**–1,6**	1,0	~~+55,4~~	–5,8
CNOSSOS-EU, pf = 50/75/100%	**+6,9**	**4,0**	~~+54,6~~	–2,3

Tabell 12. Lerum N, nivåskillnader L_{den} h=1,5m, beräknad med Nord2000 (meteo: fyra danska utbredningsklasser), minus ljudnivå beräknad med CNOSSOS-EU med p_f = 50/75/100%. Sammanställning från de fyra nedre fördelningarna i Figur 88 resp Figur 98–Figur 100. Medelvärden och standardavvikelser >1 dB har markerats med fetstil. (Maxnoteringarna med röd överstrykning är felaktigt registrerade[10].)



Figur 117. Ljudutbredning i vertikalled (L_{den}), mjuk mark. Gröna linjer: CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%. Övriga resultat beräknade med Nord2000 och fyra danska utbredningsklasser: M24, M18, M13 och M8. Svarta linjer: M24. Grå linjer: M18. Mörkblå linjer: M13. Ljusblå linjer: M8. Horisontell brun linje markerar markytan, horisontella punktlinjer markerar 1,5 m och 4 m höjd.



Figur 118. Ljudutbredning i vertikalled (L_{den}), hård mark. Gröna linjer: CNOSSOS-EU med p_f=50/75/100%. Övriga resultat beräknade med Nord2000 och fyra danska utbredningsklasser: M24, M18, M13 och M8. Svarta linjer: M24. Grå linjer: M18. Mörkblå linjer: M13. Ljusblå linjer: M8. Horisontell brun linje markerar markytan, horisontella punktlinjer markerar 1,5 m och 4 m höjd.

5.3.4 Sammanfattning av jämförelserna mellan metoderna

5.3.4.1 Beräkning av L_{Aeq24h} för ett testfall med rak väg på plan mark, med/utan skärm

Vid jämförelse av horisontella bullerkonturer på höjderna 1,5 m och 4 m höjd förefaller det inte finnas någon enkel förklaring till skillnaderna i resultat mellan de olika metoderna. Utan skärm blir skillnaderna minst för hård mark på höjden 4 m och störst på höjden 1,5 m med mjuk mark. Med en 3 m hög skärm och mjuk mark blir ljudnivåer beräknade med CNOSSOS-EU och Nord2000 samma eller lägre än med Nord96. Med skärm och hård mark beräknar Nord2000 generellt lägre nivåer än de andra (som mest 5 dB skillnad), samtidigt som CNOSSOS-EU bitvis beräknar de högsta nivåerna.

Motsvarande vertikala konturer avslöjar hur metodernas olika modellering av markeffekt i själva verket har stor betydelse för resultatet, och hur ljudnivån kan variera mycket mellan olika höjder. Nord2000 har den mest sofistikerade modelleringen, med en exakt formulering för interaktion mellan direkt och markreflekterat ljud, och övergångar mellan olika markimpedanser hanteras med Fresnelzoner. I CNOSSOS-EU modelleras markeffekt med en approximation av den i Nord2000, men begränsat till flacka vinklar, utan korrelation mellan direkt och reflekterat ljud och med en enklare hantering av övergångar mellan olika marktyper, vilket sammantaget gör att resultaten kan avvika ganska mycket från Nord2000. Nord96 avviker bitvis stort från Nord2000, vilket är fullt förståeligt då den har

Godkänd av uppdragsinvänter publicering

den enklaste modelleringen av markeffekt, bl a med diskontinuiteter vid övergångar mellan olika marktyper.

Föga förvånande kvarstår de principiella skillnaderna mellan CNOSSOS-EU och Nord2000 även i ett jämförande test när Nord2000 använder samma ljudhastighetsprofil som det gynnsamma ljudutbredningsfallet i CNOSSOS-EU.

5.3.4.2 Beräkning av L_{Aeq24h} i Högsbo och Lerum

I de verkliga fall med normal komplexitet som hämtats från Högsbo och Lerum ger metoderna ofta olika resultat. Eftersom använda ljudhastighetsgradienter är valda att vara så lika som möjligt, bör skillnaderna främst bero på olika sätt att beräkna markeffekt och skärmning. Skillnader högst ±1 dB är i minoritet, och skillnader >3 dB är mycket vanligt förekommande. Även större skillnader, >5 dB, är vanliga inslag, särskilt i Lerumberäkningarna.

Vertikala bullerkonturer beräknade för två tvärsnitt i Lerum med delvis olika terrängprofiler visualiserar hur de enklare metoderna för hantering av markeffekt i Nord96 och CNOSSOS-EU ger avvikelser relativt Nord2000.

Att som vid strategisk kartläggning godta låg noggrannhet, att enskilda beräknade ljudnivåer ofta är felaktiga så länge bara de systematiska felen inte blir orimligt stora, är normalt inte acceptabelt vid inhemska beräkningar (även om t ex översiktliga inventeringar av stora arealer kan utgöra ett undantag). Istället erfordras vanligen god noggrannhet i utredningarna, för att upprätthålla rättssäkerhet och begränsa kostnader för byggnation/åtgärder respektive ohälsa.

5.3.4.3 Beräkning av L_{den} i Högsbo och Lerum (bara CNOSSOS-EU och Nord2000)

För Högsbo och Lerum beräknades även L_{den} med CNOSSOS-EU och Nord2000. Beräkningarna gjordes inte 4 m över mark som vid strategisk kartläggning, utan på höjden 1,5 m för bullerkonturer respektive per våningsplan för fasadnivåer som är vanligt i inhemska utredningar.

Skillnaderna mellan CNOSSOS-EU och Nord2000 blir här avsevärt större än vid jämförelsen av L_{Aeq24h}. Särskilt jämförelsen i Lerum N sticker ut, där CNOSSOS-EU *i medeltal* beräknar hela 8 dB lägre nivåer än Nord2000. Eftersom skillnaderna är så stora rekommenderas att en fördjupad analys genomförs.

En orsak är att metoderna hanterar refraktion på fundamentalt olika sätt, framförallt förekomsten av mycket gynnsam ljudutbredning som kan ha ett relativt stort inflytande på L_{den}. Till skillnad mot Nord2000 kan CNOSSOS-EU som mest bara modellera måttligt gynnsam refraktion, och den begränsningen bedöms ha haft ett stort genomslag i de utförda beräkningarna, trots att de gjordes med en schablon som antar högre andel gynnsam ljudutbredning över året än verklig väderstatistik. Nord2000-beräkningarna använde väderstatistik från Danmark, som bl a inkluderar verklig förekomst av mycket gynnsam ljudutbredning. I och med att

Godkänd av uppdragsgivare
Invänter publicering

ljudnivåerna beräknas som L_{den} läggs också större vikt vid kväll- och nattnivåer då gynnsam och mycket gynnsam ljudutbredning är vanligast.

Slutsatsen är att det inte är möjligt att beräkna L_{den} noggrant med CNOSSOS-EU, men däremot med Nord2000, vilket för svensk del är betydelsefullt eftersom det inte är osannolikt att L_{den} kan komma att användas som inhemskt ljudmått i framtiden.

6 Beräkningsbörda vägbullerberäkningar

6.1 Uppmätta beräkningstider

De olika beräkningsmetodernas beräkningsbörda har utvärderats m h a 164 av de beräkningar av ekvivalentnivå från vägtrafik som utförts inom projektet, fördelade över 28 olika beräkningsfall. Resultaten bör även vara representativa för beräkning av maximalnivå från vägtrafik[11]. Se Tabell 13 för en översiktlig beskrivning över beräkningsfallen.

För Nord2000 gjordes beräkningar med några varianter på meteorologiska indata

- *N96*: meteorologi motsvarande Nord96.
- *4 mk*: Dansk officiell väderstatistik, fyra utbredningsklasser.
- *M8, M13, M18, M24*: Dansk officiell väderstatistik, fyra utbredningsklasser redovisade var för sig. M8 svarar mot ogynnsam ljudutbredning, M13 neutral ljudutbredning, M18 gynnsam ljudutbredning, och M24 mycket gynnsam ljudutbredning.
- *dT/dz=0 respektive 0,02*: Neutral respektive svagt positiv temperaturgradient, från [45] (ej redovisade resultat).
- dc*/dz=0,7*: gynnsam ljudutbredning, motsvarar CNOSSOS-EU.

Skattad beräkningsbörda baseras på uppmätta beräkningstider i SoundPLAN. Tiderna redovisas grafiskt i Figur 119–Figur 121, dels som antal sekunder per beräkningspunkt, dels som tidsåtgång relativt den tid det tog för Nord96 (<1 betyder snabbare än Nord96 och >1 långsammare).

De redovisade beräkningstiderna innehåller relativt stora osäkerheter. Nästan alla beräkningar har använt SoundPLAN:s funktion Distributed Computing som fördelar beräkningsbördan över kontorets datorer på det lokala nätverket. Hur många datorer som bidragit, och vilken ledig kapacitet respektive dator har haft, har inte varit konstant. Tillgänglig kapacitet bedöms till största delen ha varierat inom intervallet 10–20 processorkärnor, men enstaka beräkningar och delar av beräkningar har utförts av färre processorkärnor, ned till som lägst två. Andra

[11] I grova drag skiljer utbredningsberäkningen genom att en maxoperation samlar ihop ljudbidrag från olika riktningar istället för energiaddition, samt att det krävs särskild hantering av reflekterat relativt direkt ljud. Då förutsätts att maximalnivå på kort avstånd till långa fordon inte behöver bestämmas med samma beräkningsteknik som används för spårtrafik.

störningar har också förekommit på samtliga datorer, exempelvis då uppdateringar pushats ut av Microsoft.

Längst beräkningstider återfinns i Högsbo, vilket inte är helt oväntat eftersom modellen innehåller relativt många källobjekt, samt därtill många byggnader och bullerskärmar som ger upphov till reflexer och skärmning. De kortaste beräkningstiderna, 10–50 gånger snabbare per beräkningspunkt än de i Högsbo, återfinns i Lerum M som bara har ett källobjekt och där merparten av området utgörs av en vattenyta som ger enkla beräkningar av markeffekt, och där det uppstår få reflexer.

Sammanfattningsvis kan man säga att beräkningsbördan hos CNOSSOS-EU är i samma storleksordning som den med Nord96. I de beräknade fallen tar beräkningarna i snitt ca 10% längre tid än Nord96, och värdena varierar från –20% till +180%.

Beräkningarna med Nord2000 är avsevärt tyngre än de med Nord96. De noteringar som sticker ut mest i Figur 120 är de för fall 24 och 27, beräkning av bullerkonturer för Lerum M. Anledningen är dock inte att Nord2000 är särskilt långsam här (jämför Figur 119), utan att Nord96 har använt extremt korta beräkningstider, och de båda noteringarna har därför behandlats separat vid skattningen. För fallet när Nord2000 simulerar ljudutbredningen hos Nord96 är beräkningsbördan i medeltal 16 gånger[12] större än den hos Nord96, men variationen hos noteringarna är stor, värdena varierar mellan 3–26[12]. Används verklig väderstatistik ökar beräkningstiden med antalet utbredningsklasser, och vid beräkningarna med fyra utbredningsklasser är Nord2000 i snitt 48[13] gånger långsammare än Nord96, och värdena varierar mellan 13–122[13].

Godkänd av uppdragsgivare
Inväntar granskning

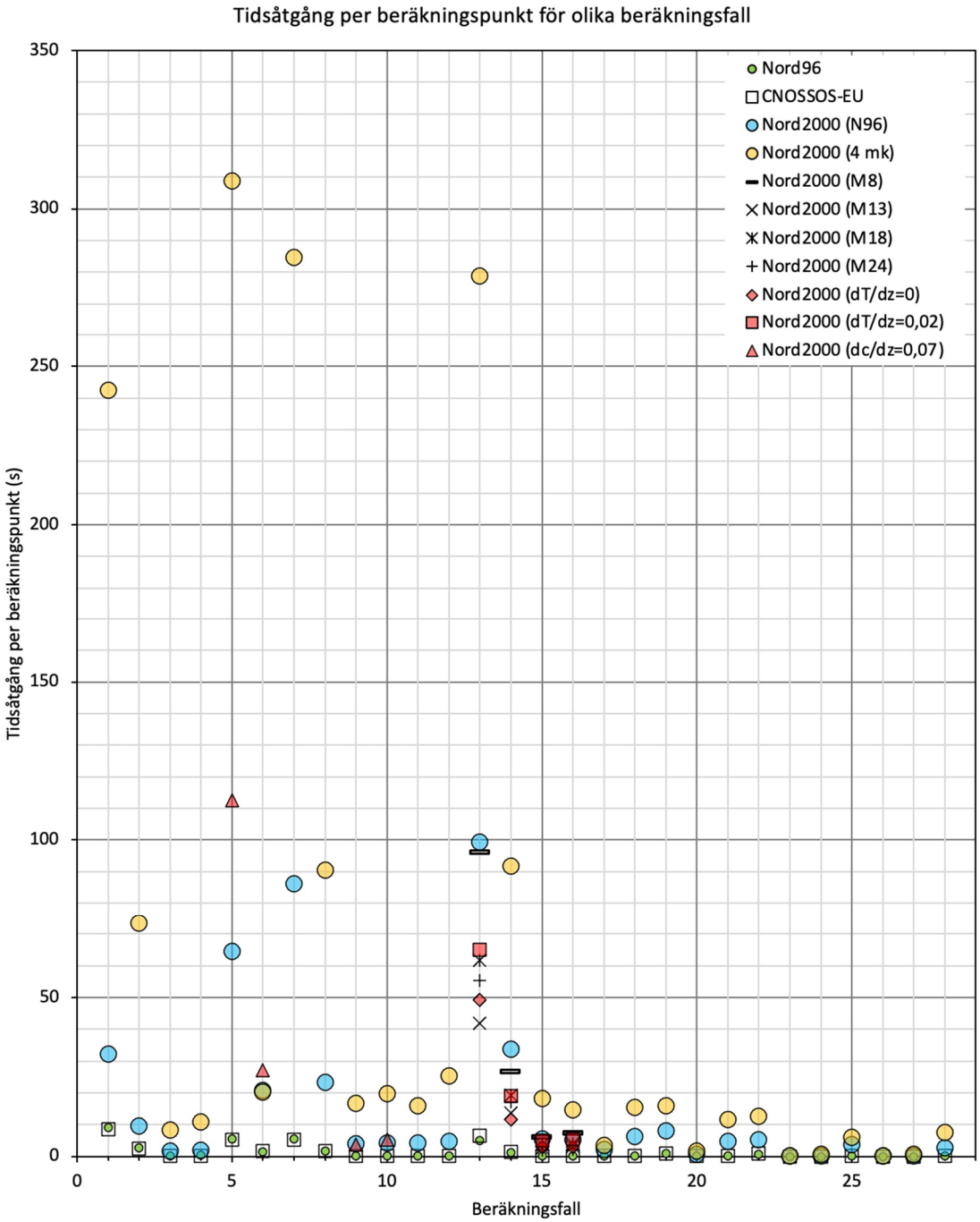
[12] Gäller exklusive fall 24 och 27. När alla fall inkluderas blir medelvärdet 18, och värdena varierar mellan 3–53.

[13] Gäller exklusive fall 24 och 27. När alla fall inkluderas blir medelvärdet 56 och värdena varierar mellan 13–168.

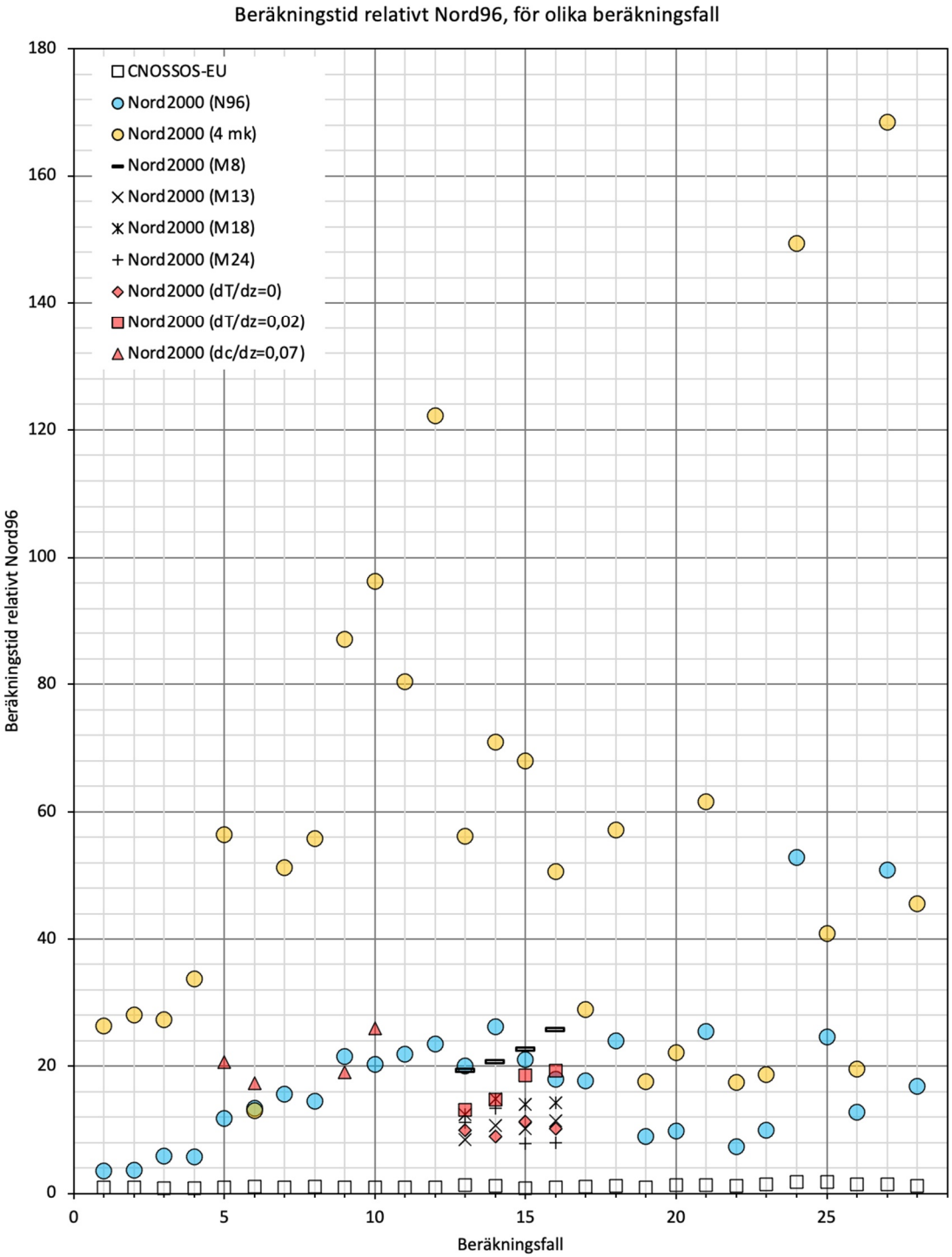
Beräkningsfall	*Område*	*Markabsorption baseras på*	*Beräkningspunkter*
1	Högsbo	e>1 (hård mark)	FNM/våningsplan
2	Högsbo	e>1 (hård mark)	FNM h=4 m
3	Högsbo	e>1 (hård mark)	GNM h=4 m
4	Högsbo	e>1 (hård mark)	GNM h=1,5m
5	Högsbo	Fastighetskarta	FNM/våningsplan
6	Högsbo	Fastighetskarta	FNM h=4 m
7	Högsbo	Fastighetskarta	FNM/våningsplan
8	Högsbo	Fastighetskarta	FNM h=4 m
9	Högsbo	Fastighetskarta	GNM h=4 m
10	Högsbo	Fastighetskarta	GNM h=1,5m
11	Högsbo	Fastighetskarta	GNM h=4 m
12	Högsbo	Fastighetskarta	GNM h=1,5m
13	Högsbo	e≤1 (mjuk mark)	FNM/våningsplan
14	Högsbo	e≤1 (mjuk mark)	FNM h=4 m
15	Högsbo	e≤1 (mjuk mark)	GNM h=4 m
16	Högsbo	e≤1 (mjuk mark)	GNM h=1,5m
17	Lerum S	Fastighetskarta	FNM/våningsplan
18	Lerum M	Fastighetskarta	FNM/våningsplan
19	Lerum N	Fastighetskarta	FNM/våningsplan
20	Lerum S	Fastighetskarta	FNM h=4 m
21	Lerum M	Fastighetskarta	FNM h=4 m
22	Lerum N	Fastighetskarta	FNM h=4 m
23	Lerum S	Fastighetskarta	GNM h=1,5m
24	Lerum M	Fastighetskarta	GNM h=1,5m
25	Lerum N	Fastighetskarta	GNM h=1,5m
26	Lerum S	Fastighetskarta	GNM h=4 m
27	Lerum M	Fastighetskarta	GNM h=4 m
28	Lerum N	Fastighetskarta	GNM h=4 m

Tabell 13. Översiktlig beskrivning av de beräkningsfall som utvärderades med avseende på beräkningshastighet. FNM (facade noise map) står för fasadnivåberäkning och GNM (grid noise map) för bullerkonturberäkning.

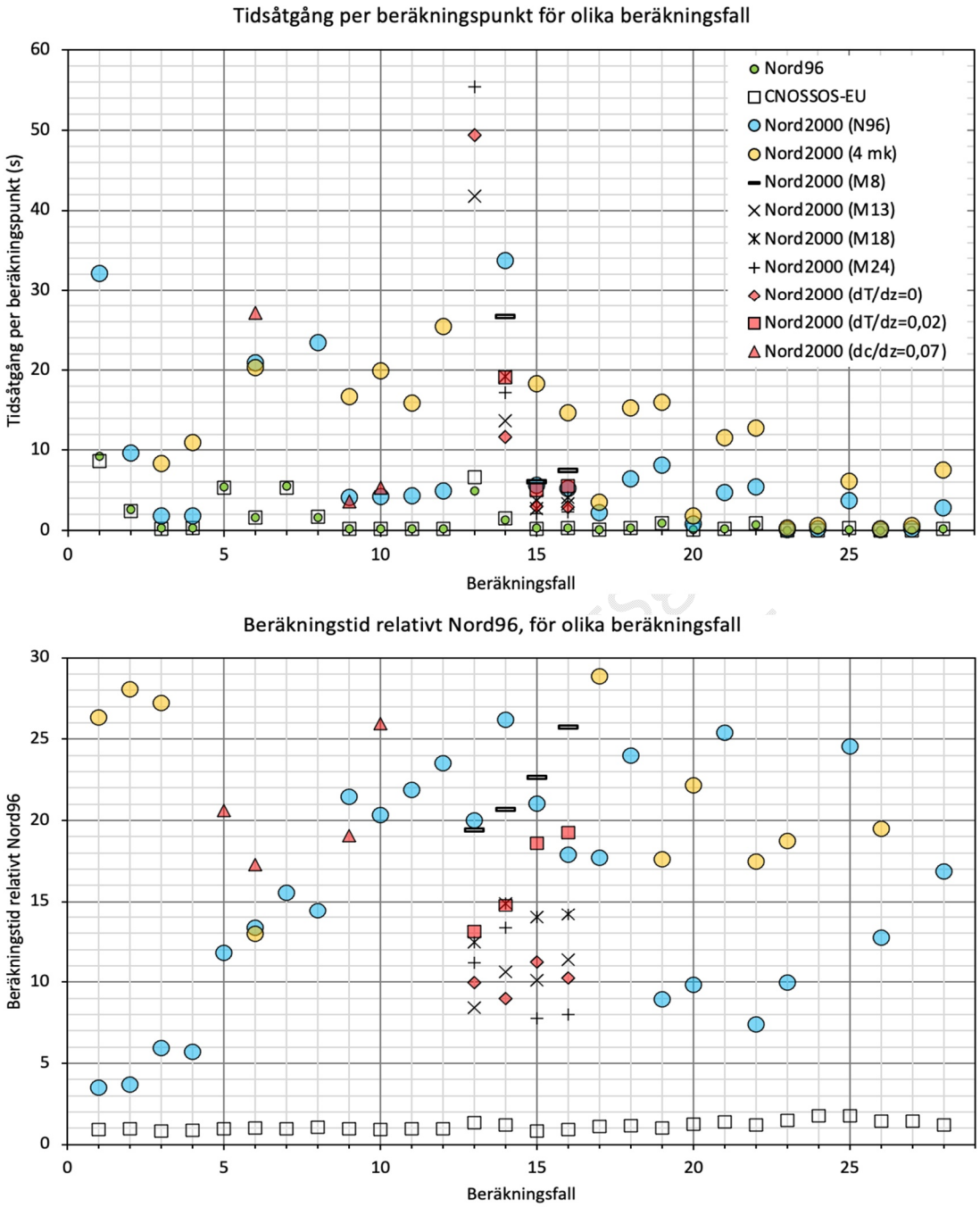
Godkänd av beställaren
Inväntar publicering



Figur 119. Tidsåtgång för att beräkna ekvivalent ljudnivå i en punkt (sekunder). Nord96, CNOSSOS-EU och Nord2000 för 28 olika fall.



Figur 120. Tidsåtgång relativt Nord96 för att beräkna ekvivalent ljudnivå i en punkt. CNOSSOS-EU och Nord2000 för 28 olika fall.



Figur 121. Utsnitt ur Figur 119 och Figur 120.

6.2 Behov av datorkraft

Vilket behov av datorkraft som behövs för beräkningar med Nord96 är sedan länge välkänt hos de som utför beräkningarna. Behovet är i princip detsamma vid beräkning av buller från vägtrafik med CNOSSOS-EU. Vid normalstora beräkningar, t ex ett bygglovs- eller detaljplaneärende med måttlig utbredning och komplexitet, bör det fungera bra att göra beräkningar med Nord96 på en normalt kraftfull bärbar eller stationär dator (≥4 processorkärnor). För att hålla nere beräkningstiderna vid större beräkningar med Nord96, exempelvis stora komplexa

detaljplaner med många beräkningspunkter, källor, reflekterande och skärmande objekt, eller kartläggningar av större områden, används lämpligen särskilt kraftfulla beräkningsdatorer med många processorkärnor eller att flera datorer hjälps åt att göra beräkningarna (s k distributed computing), eller både och.

Den högre beräkningsbördan hos Nord2000 gör att endast mindre beräkningar passar bra att utföra med en vanlig kontorsdator med fyra processorkärnor, exempelvis en mindre industribullerutredning eller en utredning av vägtrafikbuller[14,15] i en modell med låg komplexitet. För att kunna arbeta rationellt med normalstora detaljplaneutredningar och mindre kartläggningar krävs antingen en kraftfull dator med många processorkärnor (t ex ≥14 processorkärnor [48]) eller att beräkningarna distribueras till fler datorer på det lokala nätverket. Även med en kraftfull dator kommer det ändå att ta tydligt längre tid att beräkna ett område med Nord2000 än med Nord96 och en ordinärt snabb kontorsdator. Beräkningar av komplexa modeller över stora områden är fullt genomförbara men kräver ordentligt med datorkraft (gärna ≥50 processorkärnor) och noggrann inställning av beräkningsprogrammets avsökningsalgoritm. Även riktigt stora landsomfattande modeller går att beräkna. Exempelvis har Danmarks strategiska kartläggning av vägtrafikbuller på statliga vägar fram till nu genomförts med Nord2000, i en modell som innehåller ca 1 miljon vägobjekt.

Utvecklingen av tillgänglig beräkningskraft går samtidigt framåt. Vid den strategiska kartläggningen av vägtrafikbuller i Aalborg år 2007 som gjordes med Nord2000, användes totalt 35 datorer med sammanlagt 45 processorkärnor för att beräkningstiden skulle bli rimlig [49]. Idag kan högre beräkningskraft erhållas med två till fyra kraftfulla beräkningsdatorer med traditionella processorer av CPU-typ (central processing unit) [48]. Det kan möjligen också räcka med en enda dator eftersom det numera finns CPU för stationära datorer med 64 processorkärnor. Även bärbara datorer kan erbjuda gott om beräkningskraft, t ex XMG APEX 15 med AMD:s processor Ryzen 9 3950X som har 16 processorkärnor, pris ca 2300 Euro (uppgift från bestware.com, 2020-11-22).

Ett alternativ till de traditionella processorerna som håller på att växa fram är att använda kraftfulla grafikprocessorer (GPU, graphics processing unit) med över 1000 processorkärnor som utför beräkningar parallellt[16]. I jämförelse med en CPU som är konstruerad för att vara mångsidig och utför många olika typer av mer eller mindre komplexa operationer, kan en GPU bara utföra en begränsad uppsättning enklare operationer och får dela upp komplexa problem i mindre deluppgifter. Fördelen med GPU:n är att den kan göra tusentals sådana operationer

[14] Beräkning av maximalnivå från spårtrafik kan bli särskilt resurskrävande i större modeller eftersom resultaten behöver itereras fram med succesiva förflyttningar av källobjektet. Sådana beräkningar har dock inte ingått i testerna av beräkningsbördan.

[15] Beräkningsbördan vid beräkning av maximalnivå från vägtrafik bedöms motsvara den vid beräkning av ekvivalentnivå. Se även fotnot 11.

[16] Exempelvis Nvidia Geforce RTX 3090 med 10 496 steamprocessorer/pipes.

samtidigt, medan CPU:n bara kan utföra en handfull parallella operationer. För problem där det handlar om att utföra många parallella enkla beräkningar kan en GPU vara dramatiskt mycket snabbare än en CPU.

För att ett program ska gå att köra på en GPU behöver programkoden vara anpassad för det. Ett exempel på sådan tillämpning är SoundPLANs modul för rumsakustiska beräkningar som i och med den senaste versionen (8.2) har gjort det möjligt att köra beräkningarna på såväl CPU som GPU. Även omgivningsbullerberäkningar bör vara lämpliga att optimera för GPU.

Ett annat intressant alternativ som de senaste åren ersatt företags behov av att inneha och administrera lokala servrar är s k cloud computing som erbjuder datorkraft som molntjänst, med i princip obegränsad tillgång. De tre största aktörerna på marknaden är för närvarande Amazon Web Services, Microsoft Azure, och Google Cloud Platform. En av fördelarna med cloud computing är möjligheten att erbjuda dynamiskt skalbar beräkningskraft, d v s att mängden beräkningskraft anpassas efter vad som behövs i stunden, en funktion som passar bra i beräkningsprogram för omgivningsbuller.

6.3 Tillgänglighet i beräkningsprogram

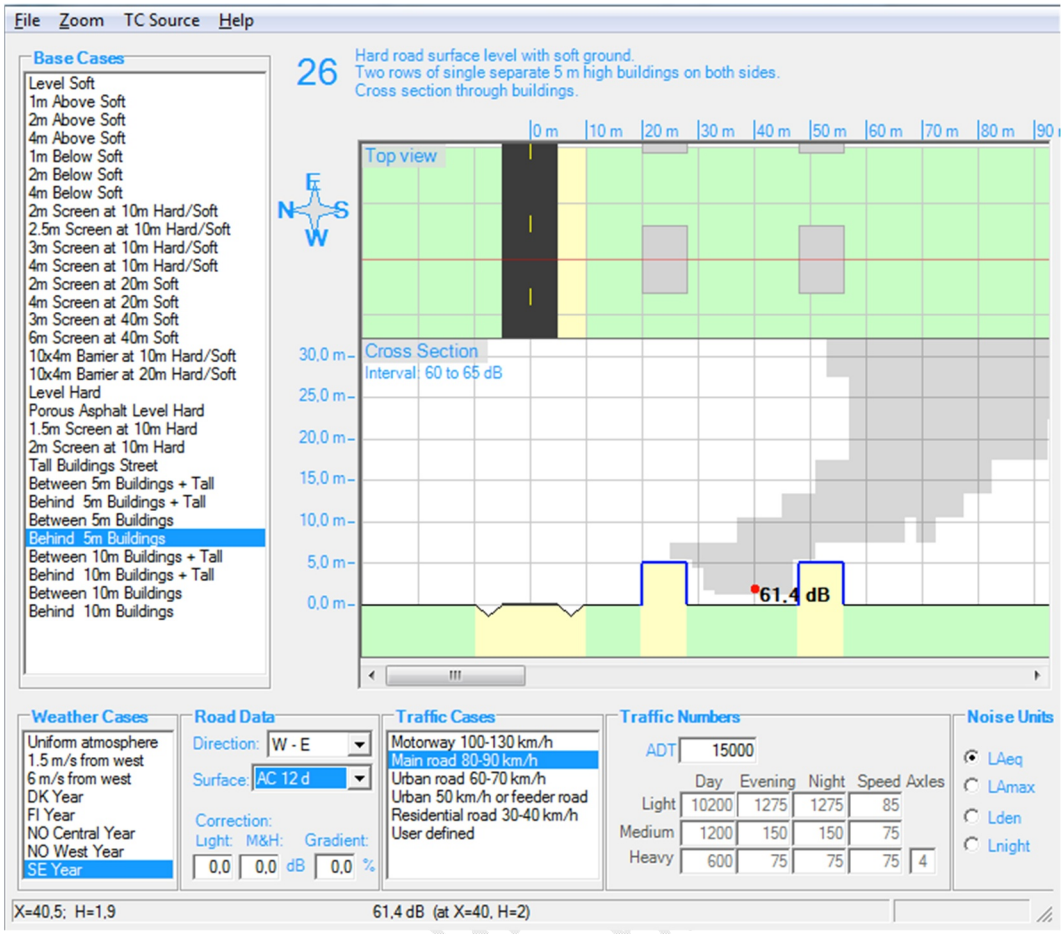
Av de fyra större kommersiella kartläggningsprogrammen är det i dagsläget bara CadnaA och SoundPLAN som används till svenska kartläggningar. CNOSSOS-EU finns implementerat i båda dessa, och finns även att tillgå i programvarorna IMMI och Predictor-LimA.

Nord2000 finns i SoundPLAN och CadnaA. Implementeringen i SoundPLAN är komplett sedan ca 15 år tillbaka, med såväl utbredningsmodell som källmodeller för väg- och spårtrafik, dock inte maximalnivå för vägtrafik eftersom detta inte efterfrågats vare sig i Danmark eller Norge, där Nord2000 är nationella metoder. I CadnaA finns i dagsläget enbart utbredningsmodellen för Nord2000, inte källmodeller för väg- och spårtrafik.

Nord2000 för vägtrafik finns också implementerad i den norska mjukvaran NorStøy som har utvecklats av forskningsinstitutet SINTEF och IT-företaget Triona för att passa norsk offentlig sektor. Programmet ägs av Statens vegvesen som använder NorStøy för kartläggning av vägtrafikbuller på statliga vägar [46]. NorStøy är inte kommersiellt tillgängligt, möjligen skulle Statens vegvesen vara öppna för ett samarbete med andra trafikmyndigheter.

Med typfallsprogramvaran N2kR-TC som utvecklades av SINTEF under forskningsprojektet Nord2000 Road går det att bilda sig en uppfattning om ljudnivån från vägtrafik utan att behöva utföra några beräkningar. Programmet baseras på en databas med ett stort antal förberäknade situationer. N2kR-TC kan laddas ned kostnadsfritt från SINTEFs hemsida (www.sintef.no/n2kr).

godkänd av uppdragsgivare
ej för vidare publicering



Figur 122. Användargränssnitt hos typfallsprogrammet N2kR-TC.

6.4 Sammanfattning

Beräkningsbördan för CNOSSOS-EU är i paritet med Nord96, varför strategiska kartläggningsberäkningar bör gå normalt smidigt.

Nord2000 har betydligt högre beräkningsbörda, i testerna var den i medeltal ca 16 gånger den hos Nord96 när beräkningarna görs med meteorologiska parametrar motsvarande Nord96. Detta bör inte utgöra ett väsentligt hinder vid normalstora utredningar förutsatt att de datorer som används har god beräkningskapacitet. Vid mer krävande beräkningar, som i särskilt komplexa modeller eller större kartläggningar, är det nödvändigt att distribuera beräkningarna till flera datorer med god beräkningskapacitet.

Nya tekniker för ökad beräkningskapacitet som håller på att vinna mark (GPU, cloud computing) kan vara alternativ till CPU:er med många processorkärnor.

CNOSSOS-EU finns i de fyra större kommersiella beräkningsprogrammen. I dagsläget är det bara SoundPLAN som erbjuder en komplett implementering av Nord2000, medan CadnaA än så länge enbart har Nord2000 som utbredningsmodell. De övriga två programmen saknar implementering av Nord2000. Nord2000

för vägtrafik finns även i norska Statens vegvesens egen programvara NorStøy, samt i typfallsprogramvaran N2kR-TC.

7 Arbetsbörda för beräkningsutföraren

Arbetet med att beräkna trafikbuller brukar bestå av: insamling av kart- och trafikunderlag, bygga upp en modell med terräng, byggnader, källobjekt, bullerskärmar och markegenskaper i ett beräkningsprogram, göra beräkningar, och redovisa beräkningsresultat. Ifall projektets kravnivåer inte klaras prövas åtgärder med ändringar i modellen och nya beräkningar, vilket kan behöva göras iterativt. Slutligen skrivs en rapport om utredningen.

De flesta arbetsmomenten är desamma oavsett beräkningsmetod, men några skillnader finns eftersom CNOSSOS-EU och Nord2000 har stöd för fler inparametrar än Nord96. En detaljerad redovisning av skillnaderna finns i denna rapports första del.

Flera av parametrarna kommer normalt ansättas med schablonvärden, som eventuellt i viss mån kan variera mellan olika delar av landet, men som innebär försumbar eller ingen arbetsinsats för beräkningsutföraren (kan sparas som mall i programmet). Detta gäller meteorologi (för refraktion och atmosfärisk absorption), andel fordon med dubbdäck, vägytans temperatur, vägytans ålder, samt förekomst av våt vägbana (de två sistnämnda bara i Nord2000).

Något som behöver hanteras är att CNOSSOS-EU och Nord2000 har fem fordonskategorier istället för två som i Nord96. I dagsläget är det dock bara tre av dem som är aktuella att använda i beräkningar. För statliga vägar arbetar Trafikverket på en att ta fram en produkt där trafikmängder är indelade i de nya fordonsklasserna. Vid kommunala utredningar kan schabloner användas för att fördela uppmätta trafikdata till de olika fordonsklasserna, och det kan krävas ett manuellt arbete med att bedöma vägtyp i kommuner där sådan indelning inte redan finns. På sikt kan kommunerna behöva ändra sin redovisning av uppmätta trafikdata till att stämma med fordonsklasser som används av CNOSSOS-EU eller Nord2000.

CNOSSOS-EU och Nord2000 har fler klasser för definition av markabsorption respektive markimpedans. Här finns möjlighet att arbeta rationellt genom att använda underlag från Fastighetskartan, och möjligen även från Nationella Marktäckedata[17] förutsatt att produkten görs tillgänglig på ett format som lämpar sig för bullerberäkningsprogram. Det går också att bedöma markabsorptionen okulärt från ortofoton (med reservation för att metoden kan innebära ökad onoggrannhet).

Godkänd av uppdragsgivare
Inväntar publicering

[17] Metod behöver i så fall tas fram för att importera NMD från GeoTiff till beräkningsprogrammens markabsorptionsobjekt.

Sven Hultins Plats 1–2, 412 58 Göteborg tel: +46 31 3091900 info@gardhagen.se
Org.nr: 556643-2414 *Momsnr:* SE556643241401 innehar F-skattsedel

Båda metoderna har stöd för att korrigera emissionen vid korsningar och cirkulationsplatser. Detta är dock i egentlig mening ingen nyhet eftersom det även går att göra i Nord96 genom att följa rekommendationer i Nord2000.

Konsulter brukar inte ta betalt för datorernas beräkningstid, annat än för den hantering som krävs för att administrera beräkningarna. I vissa fall kan dock långa beräkningstider även påverka antalet arbetade timmar, exempelvis vid utprövning av åtgärder med upprepade editeringar och beräkningar.

Sammanfattningsvis är CNOSSOS-EU och Nord2000 snarlika vad gäller tidsåtgång för utföraren. Efter utbildning på den nya metoden bör skillnaden i nedlagd arbetstid till att göra en vanlig trafikbullerutredning med Nord96 i praktiken bli liten. En förutsättning är att det finns anvisningar, underlag och schabloner för tydlig och rationell hantering av de parametrar som tillkommit relativt Nord96.

8 Slutsatser

8.1 Sammanfattande diskussion

Nuvarande svenska mått och riktvärden för buller från vägtrafik avser ett specifikt väder och årsmedeldygnstrafik. Nord96 och mätmetoderna Nordtest NT ACOU 039 och 056 har designats för att uppmätta och beräknade nivåer ska representera just detta och gå att jämföra direkt mot riktvärde. En ersättare till Nord96 behöver därmed kunna simulera sådana förhållanden, vilket går bra med Nord2000 men fungerar bristfälligt med CNOSSOS-EU.

Beräkningsresultaten uppvisar delvis stora skillnader när metoderna jämförs, även för de måttligt komplicerade fall som ingått i denna utredning. Resultaten kan skilja redan på korta avstånd. Nord2000 har betydligt lägre angiven osäkerhet än CNOSSOS-EU, 1 dB mot ca 2,5 dB (uppskattad), och till skillnad från CNOSSOS-EU har Nord2000 dessutom särskilt designats för att kunna hantera normalt komplexa situationer, t ex icke-slät terräng och ljudutbredning över dalgångar, eller lägre bullerskärmars effekt på tunga fordon.

Resultaten från beräkning av L_{den} skiljer särskilt mycket mellan CNOSSOS-EU och Nord2000 (se t ex Figur 111), vilket reser frågetecken för om den förenklade hanteringen av refraktion i CNOSSOS-EU verkligen är användbar för att räkna ett rättvisande årsmedelvärde.

I och med att metoderna ger så olika resultat är det svårt att se hur det ska kunna fungera att låta användare fritt få välja bland flera tillåtna metoder. Tvärtom bör rimligen ett myndighetsbeslut tas om att en enda beräkningsmetod ska användas generellt vid inhemska utredningar vars resultat ska utgöra underlag för planarbete, bygglovsärenden, dimensionering av infrastruktur och åtgärdsarbete, samt vid bedömning av bullrande verksamheter.

Godkänd av uppdragsgivare
Ej för extern publicering

Vid ett eventuellt framtida byte till ny inhemsk beräkningsmetod behöver övergångsregler tas fram för att undvika problem i pågående projekt – det kan ofta vara olämpligt att byta beräkningsmetod mitt i pågående arbete eftersom det sannolikt ger nya ljudnivåer att förhålla sig till. Av samma anledning kan det finnas behov av särskilda regler för befintliga industriers löpande bullerredovisning.

CNOSSOS-EU och Nord2000 använder i stort sett samma indata, vilka är mer detaljerade än de i Nord96. Den högre detaljeringsgraden ökar möjligheterna att bygga upp verklighetstrogna modeller och erhålla resultat med högre noggrannhet än vad som varit möjligt med Nord96, vilket är positivt. Det ställer samtidigt krav på tydliga officiella anvisningar för val av parametrar och underlag för att undvika att olika beräkningsutförare räknar fram olika resultat. Här kan erfarenheter hämtas från det danska arbetet med Nord2000, som bl a har renderat i Håndbog Nord2000 [44]. I Danmark erbjuds också certifiering för beräkningskonsulter, med uppdelning inom olika ämnesområden [11].

Beräkningar går ungefär lika snabbt med CNOSSOS-EU som med Nord96, medan Nord2000 har betydligt högre, men ändå hanterbar, beräkningsbörda.

Undersökningen pekar på att ljudnivåer överskattas med i medeltal ca 2 dB om schablondata används som underlag för refraktion vid strategisk kartläggning istället för verkliga väderdata. Att använda schablondata för markabsorption vid strategisk kartläggning ger avvikelser som i medeltal är >1 dB.

8.2 Plus och minus per metod

CNOSSOS-EU

+ Tillgänglig i de fyra stora kommersiella programvarorna.
+ Mer utvecklad källmodell än Nord96 med bl a fyra fordonsklasser.
+ Låg beräkningsbörda.
+ Fler parametrar än Nord96, men i praktiken krävs inte mer arbetstid för en vanlig bullerutredning än med Nord96, förutsatt att officiella anvisningar och schabloner finns.

– Bristfällig simulering av väderfallet i Nord96.
– Ny metod som ännu inte använts i skarpa lägen (som dock har mycket gemensamt med etablerade NMPB 2008).
– Beskrivning saknas för beräkning av L_{max} (förslag till metod diskuteras i [6]).
– Medioker noggrannhet.
– Ej giltig för beräkningshöjden 1,5 m som används i svenska utredningar (ej giltig ≤2 m).
– Delvis empirisk utbredningsmodell, inte tydligt vilken osäkerhet som kan förväntas i beräkningsfall som metoden inte designats och validerats för, som t ex hög skärm nära en väg, ej slät (undulerande) terräng, ljudutbredning över dalgång. Beräkningsresultaten uppvisar till viss del stora avvikelser mot

Godkänd av uppdragsgivaren
Inväntar publicering

Nord2000 vilket tyder på problem med att hantera även normalt komplexa fall.
– Det går inte att modellera hög markabsorption korrekt.
– Oktavbandet 31,5 Hz saknas.
– Enklare (mindre noggrann) källmodell än Nord2000 med bara en låg källhöjd.
– Den förenklade metoden att hantera meteorologi förefaller inte vara tillräcklig för att prediktera korrekta årsmedelvärden (uppvisar delvis mycket stora avvikelser mot Nord2000 i detta avseende).

Nord2000

+ State of the art bland ingenjörsmetoder vad gäller flexibilitet och noggrannhet.
+ Utbredningsmodellen omfattar metoder för att hantera alla normalt komplexa situationer och väder, och kan även simulera väderfallet i Nord96.
+ Väletablerad efter lång tids användning i framförallt Danmark, men även i Norge.
+ Beprövad implementation i kommersiella programvaran SoundPLAN. (Finns även i Norska Statens vegvesens egen programvara NorStøy, samt i typfallsprogramvaran N2kR-TC.)
+ Fler parametrar än Nord96, men i praktiken krävs inte mer arbetstid för en vanlig bullerutredning än med Nord96, förutsatt att officiella anvisningar och schabloner finns.

– Hög (men hanterbar) beräkningsbörda.
– Vägtrafikmetoden bara implementerad i en kommersiell programvara (CadnaA har implementerat utbredningsmodellen men inte källmodell för vägtrafik).
– Metod för att beräkna maximalnivå finns, men är ej implementerad i SoundPLAN.

Qside

+ Enda ingenjörsmetoden som kan beräkna ljudnivå från vägtrafik på slutna innergårdar.
– Är f n inte implementerad i någon kommersiell programvara.

8.3 Rekommendationer

Nord2000 rekommenderas som ersättare för Nord96 som ny inhemsk beräkningsmetod, att använda generellt för planarbete och bygglovsärenden, vid dimensionering av infrastruktur och åtgärdsarbete, samt vid bedömning av bullrande verksamheter.

Särskilda övergångsregler behöver formuleras för att en övergång inte ska störa pågående projekt.

Godkänd av uppdragsgivare
Invänta publicering

För att minimera risken att olika beräkningsutförare räknar fram olika resultat behöver det tas fram officiella anvisningar för val av parametrar och underlag. Anvisningar kommer samtidigt effektivisera utredningarna.

Verka för att Qside implementeras i kommersiell programvara. Förslagsvis involveras metodiken i Nord2000. Anvisa därefter att den ska inkluderas vid beräkning av ljudnivå på slutna innergårdar och motsvarande.

9 Referenser

[1] T. Kihlman, *Handlingsplan mot buller*. Betänkande av Utredningen för en handlingsplan mot buller. SOU 1993:65, Miljö- och naturresursdepartementet, 1993.

[2] Europaparlamentet och rådets direktiv 2002/49/EG av den 25 juni 2002 om bedömning och hantering av omgivningsbuller.

[3] K. Larsson, H. G. Jonasson, *Uppdaterade beräkningsmodeller för vägtrafikbuller*, SP 2015.

[4] H. G. Jonasson, *Acoustic Source Modelling of Nordic Road Vehicles*, SP Rapport 2006:12, 2006.

[5] K. Larsson, *Swedish input data for road traffic noise in CNOSSOS-EU*, Proceedings of BNAM 2021, Baltic Nordic Acoustics Meeting, Oslo, 3–5 maj 2021.

[6] M. Ögren, A. Genell, A. Gustafson, *Beräkning av maximal bullernivå med CNOSSOS-EU*, Sahlgrenska Universitetssjukhuset, Arbets- och miljömedicin, 2021.

[7] H. G. Jonasson, *Jämförelse mellan Nord2000 Road och 1996-års modell*, SP Rapport 2009:18, 2009.

[8] J. Kragh et al, *User's Guide Nord2000 Road*, AV 1171/06, DELTA, 2006.

[9] B. Plovsing, *Nord2000. Comprehensive Outdoor Sound Propagation Model. Part 2: Propagation in an Atmosphere with Refraction.* AV 1851/11, DELTA, revised 2006.

[10] D. Van Maercke, *CNOSSOS-EU – Task 2: Propagation software modules. User's and programmer's guide*, CSTB 2014.

[11] Webbsida Referencelaboratoriet – Emnesområder for certificerede personer: referencelaboratoriet.dk/godkendte-laboratorier/emneomrader-for-certificerede-personer.

[12] *Vägtrafikbuller – Nordisk beräkningsmodell, reviderad 1996.* Rapport 4653. Naturvårdsverkets förlag, 1996.

[13] *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*.

[14] G. Dutilleux et al, *Road noise prediction 2: Noise propagation computation method including meteorological effects (NMPB 2008)*. Sétra, 2008.

[15] *Beräkningsmodell för vägtrafikbuller Del I och II*, Statens naturvårdsverk, RR 1979:1, 2.

[16] *Beräkningsmodell för vägtrafikbuller*, Naturvårdsverkets förlag, 1989.

[17] T. Ström, Vägtrafikbuller – Bestämning av beräkningsosäkerhet. SP Rapport 1997:24, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut AB, Borås, 1997.

[18] B. Plovsing, *Forskelle mellem støjniveauer beregnet med de eksisterende metoder for vej- og jernbanestøj og med Nord2000*, AV 1578/03, DELTA, 2003.

[19] *Good practice guide on noise exposure and potential health effects*, EEA Technical report No 11 2010.

Godkänd av uppdragsgivare
Invänta publicering

[20] H. G. Jonasson, X. Zhang, *Bedömning och hantering av omgivningsbuller – Implementering av EU-direktivet*. Rapport ETa6138 ver 2, SP, 2004.

[21] K. Strömmer, *Bullerberäkningsmodellerna Nord2000 och CNOSSOS – Användningsområden för Trafikverket, rekommendation*. Sound Precision AB, 2017-12-10.

[22] *Test scenarios for the determination of sound emissions from road, rail, industry and the calculation of the propagation of sound (BUB), the calculation of environmental noise from airports (BUF) and assessment of the noise exposure of affected persons (BEB) according to Directive (EU) 2015/996*, Umwelt Bundesamt, Texte 74/2019.

[23] W. Probst, *Quality assurance for sound calculation software and its limitations*, InterNoise 2019.

[24] A. Kok, A. van Beek, *Amendments for CNOSSOS-EU – Description of issues and proposed solutions*, RIVM Letter report 2019-0023, 2019.

[25] Personlig kommunikation med Dieter Zollitsch, SoundPLAN GmbH, Backnang, Tyskland, november 2019.

[26] D. van Maercke, E-post 2018-07-12 med förslag till justeringar av utbredningsmodellen i CNOSSOS-EU, med bifogade programfiler för CNOSSOS-2018, CSTB.

[27] *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.

[28] L. Estévez-Mauriz et al, *Incorporation of the quiet side in noise maps*, TecniAcustica 2014.

[29] W. Wei, D. Botteldooren, T. Van Renterghem, M. Hornikx, J. Forssén, E. Salomons, M. Ögren, *Urban background noise mapping: the general model*, Acta Acustica united with Acustica, 2014.

[30] B. Magnusson, U Örnemark, *Metodvalidering – Handbok för laboratoriet*. Utgåva 4. RISE Rapport 2020:1.

[31] J. Defrance, *Benchmark/testing of noise assessment methods Harmonoise / NMPB2008 – A comparison of formulations used for ground and diffraction effects.* Technical report, 2009.

[32] H. G. Jonasson, *A theory of traffic noise propagation with its applications to Leq*, Journal of Sound and Vibration, 1973.

[33] H. G. Jonasson, *The propagation of sound over ground with and without acoustic barriers*, Report 18, Department of Building Technology, Lund Institute of Tehcnology, 1973.

[34] G. Dutilleux et al, NMPB-Routes-2008: *The revision of the French method for road traffic noise prediction.* Acta Acustica united with Acustica, May 2010.

[35] Z. Maekawa, *Noise reduction by screens.* Applied Acoustics 1968.

Godkänd av uppdragsgivare
Invänta publicering

[36] K. Attenborough, K. Li, K. Horoshenkov, *Predicting outdoor sound*. ISBN-10: 0419235108, CRC Press, 2007.

[37] J. Nicolas, *Precise model measurements versus theoretical prediction of barrier insertion loss in presence of the ground*. JASA 1983.

[38] *Selection of the propagation method to be included in the new Annex II of Diective 2002/49/EC*. Technical note, 26 May 2014.

[39] S. Kephalopoulos et al, *Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS_EU)*, Report EUR 25379 EN, European Commission, Joint Research Centre, 2012.

[40] C. Foy et al, *Comparison of 3 engineering methods for outdoor sound propagation.* DAGA 2014.

[41] B. Plovsing, *Nord2000. Comprehensive outdoor sound propagation model. Part 1: Propagation in an atmosphere without significant refraction.* AV 1849/00, DELTA, revised 2006.

[42] B. Plovsing, *Nord2000. Validation of the Propagation Model.* AV 1117/06. DELTA, 2006.

[43] H. G. Jonasson, A. Gustafson, *Anvisningar för kartläggning av buller enligt 2002/49/EG*, SP Rapport 2010:77, 2010-12-16.

[44] J. Kragh et al., *Håndbog Nord2000 – Beregning af vejstøj i Danmark*, Rapport 434 – 2013, Vejdirektoratet.

[45] H. Olsen, *Implementering av CNOSSOS-EU i Norge – Analyse av testberegninger*. Version 1.0, SINTEF, 2019.

[46] Projektsida om NorStøy hos SINTEF, www.sintef.no/en/projects/2012/norstoy/.

[47] J. S. Jørgensen, *Comparison of results of road traffic noise calculations with different standards and weather conditions*. SoundPLAN Nord ApS, 2020.

[48] Personlig kommunikation med Jacob Storm Jørgensen, SoundPLAN Nord ApS, april 2020.

[49] René Hollen Pedersen, *Presentation vid SoundPLAN User Group Meeting*, Aalborg Kommune, 2007.

Godkänd av uppdragsgivare
Inväntar publicering

Appendix 2 – Sammanställning över beräknade fall

I tabellen nedan identifieras fallen med siffror i sju positioner a.b.c.d.e.f.g, där siffrorna i respektive position betecknar:

a) Område:	{1} Högsbo	
	{2} Lerum N (norr), Lerum M (mitt) samt Lerum S (söder)	
	{3} Rak väg med och utan skärm	
b) Beräkningsmetod:	{.1} Nord96	
	{.2} CNOSSOS-EU	
	{.3} Nord2000	
c) Emission:	Nord96:	{.1} Inbyggd
	CNOSSOS-EU:	{.1} SE2015 (SPR2015:72)
		{.2} EU2015 (EU-direktiv 2015/996)
	Nord2000:	{.1} SE2015 (SPR2015:72)
		{.2} SE2006 (Nord2000 Road 2006)
d) Markabsorption/-impedans:	{.1} FK (Fastighetskarta)	
	{.2} Mjuk mark + vatten	
	{.3} Hård mark (ej Lerum)	
	{.4} Simulering snö (enbart Lerum)	
	{.5} FK (Fastighetskarta) men bara mjuk/hård (enbart Högsbo)	
	{.6} Mjuk mark (enbart rak väg)	

Godkänt av uppdragsgivare
Invänta publicering

e) Meteorologi (för refraktion):

Nord96:
{.1} Inbyggd

CNOSSOS-EU:
{.1} Default (p_f=50-75-100%)
{.2} Nantes eller Montélimar
{.3} 0% respektive 100%

Nord2000:
{.1} Simulering Nord96 väg
{.2} DK 4 meteoklasser
p_f = 50/75/100% med två varianter som representerar gynnsam ljudutbredning[18]:
{.3} dt/dz=+0,02°C/m
{.4} Meteoklass M 18
{.5} DK 4 separata meteoklasser (M 8, M 13, M 18, M 24)

f) Beräkningspunkter:
{.1} FNM (fasadnivåer) per våningsplan respektive 4 m över mark samt GNM (bullerkonturer) 1,5 m respektive 4 m över mark
{.2} GNM (bullerkonturer) 1,5 m resp 4 m över mark samt CSM (vertikala bullerkonturer) 0–100 m över mark

g) Ljudnivåmått:
{.1} L_{den} och L_{eq24h}
{.2} Enbart L_{eq24h}

Godkänd av uppdragsgivare
Inväntar publicering

[18] Syftet var att pröva upplägget i CNOSSOS-EU, med en mix av två ljudutbredningsberäkningar, den ena neutral och den andra gynnsam. Den gynnsamma ljudutbredningen representerades i ena fallet av en svagt positiv temperaturgradient på +0,02 C/m hämtad från [45], och i andra fallet användes verklig meteostatistik för utbredningsklass M 18 från det danska datasetet med fyra utbredningsklasser. Båda testerna använde fördelningen p_f = 50% dagtid, 75% kvällstid och 100% nattetid.

#	Fall {a.b.c.d.e.f.g}	Område {a}	Metod {b}	Emission {c}	Markabsorption/ markimpedans {d}	Meteo {e}	Beräknings-punkter {f}	Mått {g}
1	1.1.1.1.1.1.1	Högsbo	Nord96	Inbyggd	FK	Inbyggd	FNM, GNM	Lden, Leq24
2	1.1.1.2.1.1.1	Högsbo	Nord96	Inbyggd	Mjuk + vatten	Inbyggd	FNM, GNM	Lden, Leq24
3	1.1.1.3.1.1.1	Högsbo	Nord96	Inbyggd	Hård	Inbyggd	FNM, GNM	Lden, Leq24
4	1.1.1.5.1.1.1	Högsbo	Nord96	Inbyggd	FK, bara mjuk/hård	Inbyggd	FNM, GNM	Lden, Leq24
5	2.1.1.1.1.1.1	Lerum N/M/S	Nord96	Inbyggd	FK	Inbyggd	FNM, GNM	Lden, Leq24
6	2.1.1.2.1.1.1	Lerum N/M/S	Nord96	Inbyggd	Mjuk + vatten	Inbyggd	FNM, GNM	Lden, Leq24
7	2.1.1.4.1.1.1	Lerum N/M/S	Nord96	Inbyggd	Simulering snö	Inbyggd	FNM, GNM	Lden, Leq24
8	1.2.1.1.1.1.1	Högsbo	CNOSSOS-EU	SE2015	FK	pf=50/75/100%	FNM, GNM	Lden, Leq24
9	1.2.1.2.1.1.1	Högsbo	CNOSSOS-EU	SE2015	Mjuk + vatten	pf=50/75/100%	FNM, GNM	Lden, Leq24
10	1.2.1.3.1.1.1	Högsbo	CNOSSOS-EU	SE2015	Hård	pf=50/75/100%	FNM, GNM	Lden, Leq24
11	1.2.1.5.1.1.1	Högsbo	CNOSSOS-EU	SE2015	FK, bara mjuk/hård	pf=50/75/100%	FNM, GNM	Lden, Leq24
12	1.2.1.1.2.1.1	Högsbo	CNOSSOS-EU	SE2015	FK	Nantes/Montélimar	FNM, GNM	Lden, Leq24
13	1.2.1.2.2.1.1	Högsbo	CNOSSOS-EU	SE2015	Mjuk + vatten	Nantes/Montélimar	FNM, GNM	Lden, Leq24
14	1.2.1.3.2.1.1	Högsbo	CNOSSOS-EU	SE2015	Hård	Nantes/Montélimar	FNM, GNM	Lden, Leq24
15	1.2.1.5.2.1.1	Högsbo	CNOSSOS-EU	SE2015	FK, bara mjuk/hård	Nantes/Montélimar	FNM, GNM	Lden, Leq24
16	1.2.1.1.3.1.1	Högsbo	CNOSSOS-EU	SE2015	FK	pf=0% resp 100%	FNM, GNM	Lden, Leq24
17	1.2.1.2.3.1.1	Högsbo	CNOSSOS-EU	SE2015	Mjuk + vatten	pf=0% resp 100%	FNM, GNM	Lden, Leq24
18	1.2.1.3.3.1.1	Högsbo	CNOSSOS-EU	SE2015	Hård	pf=0% resp 100%	FNM, GNM	Lden, Leq24
19	1.2.1.5.3.1.1	Högsbo	CNOSSOS-EU	SE2015	FK, bara mjuk/hård	pf=0% resp 100%	FNM, GNM	Lden, Leq24
20	1.2.2.1.1.1.1	Högsbo	CNOSSOS-EU	EU2015	FK	pf=50/75/100%	FNM, GNM	Lden, Leq24
21	2.2.1.1.1.1.1	Lerum N/M/S	CNOSSOS-EU	SE2015	FK	pf=50/75/100%	FNM, GNM	Lden, Leq24
22	2.2.2.1.1.1.1	Lerum N/M/S	CNOSSOS-EU	EU2015	FK	pf=50/75/100%	FNM, GNM bara 4 m	Lden, Leq24
22	2.2.1.2.1.1.1	Lerum N/M/S	CNOSSOS-EU	SE2015	Mjuk + vatten	pf=50/75/100%	FNM, GNM	Lden, Leq24
23	2.2.1.4.1.1.1	Lerum N/M/S	CNOSSOS-EU	SE2015	Simulering snö	pf=50/75/100%	FNM, GNM	Lden, Leq24
24	2.2.1.4.1.1.1	Lerum M	CNOSSOS-EU	SE2015	Simulering årsmedel-värde snö med G=0,3 på vatternytor	pf=50/75/100%	FNM, GNM	Lden, Leq24
25	2.2.1.4.1.1.1	Lerum M	CNOSSOS-EU	SE2015	Simulering årsmedel-värde snö med G=0,7 på vatternytor	pf=50/75/100%	FNM, GNM	Lden, Leq24

Godkänd av uppdragsgivare
Invänta publicering

#	Fall {a.b.c.d.e.f.g}	Område {a}	Metod {b}	Emission {c}	Markabsorption/ markimpedans {d}	Meteo {e}	Beräknings-punkter {f}	Mått {g}
26	2.2.1.1.2.1.1	Lerum N/M/S	CNOSSOS-EU	SE2015	FK	Nantes/Montélimar	FNM, GNM	Lden, Leq24
27	2.2.1.2.2.1.1	Lerum N/M/S	CNOSSOS-EU	SE2015	Mjuk + vatten	Nantes/Montélimar	FNM, GNM	Lden, Leq24
28	2.2.1.4.2.1.1	Lerum N/M/S	CNOSSOS-EU	SE2015	Simulering snö	Nantes/Montélimar	FNM, GNM	Lden, Leq24
29	2.2.1.1.3.1.1	Lerum N/M/S	CNOSSOS-EU	SE2015	FK	pf=0% resp 100%	FNM, GNM	Lden, Leq24
30	2.2.1.2.3.1.1	Lerum N/M/S	CNOSSOS-EU	SE2015	Mjuk + vatten	pf=0% resp 100%	FNM, GNM	Lden, Leq24
31	2.2.1.4.3.1.1	Lerum N/M/S	CNOSSOS-EU	SE2015	Simulering snö	pf=0% resp 100%	FNM, GNM	Lden, Leq24
32	1.3.1.1.1.1.1	Högsbo	Nord2000	SE2015	FK	Nord96	FNM, GNM	Lden, Leq24
33	1.3.1.2.1.1.1	Högsbo	Nord2000	SE2015	Mjuk + vatten	Nord96	FNM, GNM	Lden, Leq24
34	1.3.1.3.1.1.1	Högsbo	Nord2000	SE2015	Hård	Nord96	FNM, GNM	Lden, Leq24
35	1.3.1.5.1.1.1	Högsbo	Nord2000	SE2015	FK, bara mjuk/hård	Nord96	FNM, GNM	Lden, Leq24
36	1.3.1.1.2.1.1	Högsbo	Nord2000	SE2015	FK	DK 4 meteoklasser	FNM, GNM	Lden, Leq24
37	1.3.1.2.2.1.1	Högsbo	Nord2000	SE2015	Mjuk + vatten	DK 4 meteoklasser	FNM, GNM	Lden, Leq24
38	1.3.1.3.2.1.1	Högsbo	Nord2000	SE2015	Hård	DK 4 meteoklasser	FNM, GNM	Lden, Leq24
39	1.3.1.5.2.1.1	Högsbo	Nord2000	SE2015	FK, bara mjuk/hård	DK 4 meteoklasser	FNM, GNM	Lden, Leq24
40	1.3.1.2.3.1.1	Högsbo	Nord2000	SE2015	Mjuk + vatten	pf=50/75/100%, med neutral: dtdz=0 fav: dtdz=+0,02°C/m	FNM, GNM	Lden, Leq24
41	1.3.1.2.4.1.1	Högsbo	Nord2000	SE2015	Mjuk + vatten	pf=50/75/100%, med neutral: meteoklass M13 fav: meteoklass M18	FNM, GNM	Lden, Leq24
42	1.3.1.2.5.1.1	Högsbo	Nord2000	SE2015	Mjuk + vatten	DK 4 separata meteoklasser	FNM, GNM	Lden, Leq24
43	2.3.1.1.1.1.1	Lerum N/M/S	Nord2000	SE2015	FK	Nord96	FNM, GNM	Lden, Leq24
44	2.3.1.2.1.1.1	Lerum N/M/S	Nord2000	SE2015	Mjuk + vatten	Nord96	FNM, GNM	Lden, Leq24
45	2.3.1.4.1.1.1	Lerum N/M/S	Nord2000	SE2015	Simulering snö	Nord96	FNM, GNM	Lden, Leq24
46	2.3.1.1.2.1.1	Lerum N/M/S	Nord2000	SE2015	FK	DK 4 meteoklasser	FNM, GNM	Lden, Leq24
47	2.3.1.2.2.1.1	Lerum N/M/S	Nord2000	SE2015	Mjuk + vatten	DK 4 meteoklasser	FNM, GNM	Lden, Leq24
48	2.3.1.4.2.1.1	Lerum N/M/S	Nord2000	SE2015	Simulering snö	DK 4 meteoklasser	FNM, GNM	Lden, Leq24
49	3.1.1.6.1.2.2	Rak väg + skärm	Nord96	Inbyggd	Mjuk	Inbyggd	GNM, CNM	Leq24h
50	3.1.1.3.1.2.2	Rak väg + skärm	Nord96	Inbyggd	Hård	Inbyggd	GNM, CNM	Leq24h
51	3.2.1.6.1.2.2	Rak väg + skärm	CNOSSOS-EU	SE2015	Mjuk	pf=50/75/100%	GNM, CNM	Leq24h
52	3.2.1.3.1.2.2	Rak väg + skärm	CNOSSOS-EU	SE2015	Hård	pf=50/75/100%	GNM, CNM	Leq24h

Godkänd av uppdragsgivare innan publicering

#	Fall {a.b.c.d.e.f.g}	Område {a}	Metod {b}	Emission {c}	Markabsorption/ markimpedans {d}	Meteo {e}	Beräknings-punkter {f}	Mått {g}
53	3.3.1.6.1.2.2	Rak väg + skärm	Nord2000	SE2015	Mjuk	Nord96	GNM, CNM	Leq24h
54	3.3.1.3.1.2.2	Rak väg + skärm	Nord2000	SE2015	Hård	Nord96	GNM, CNM	Leq24h
55	3.3.1.6.2.2.2	Rak väg + skärm	Nord2000	SE2015	Mjuk	DK 4 meteoklasser	GNM, CNM	Leq24h
56	3.3.1.3.2.2.2	Rak väg + skärm	Nord2000	SE2015	Hård	DK 4 meteoklasser	GNM, CNM	Leq24h
57	3.3.1.6.5.2.2	Rak väg + skärm	Nord2000	SE2015	Mjuk	DK 4 separata meteoklasser	GNM, CNM	Leq24h
58	3.3.1.3.5.2.2	Rak väg + skärm	Nord2000	SE2015	Hård	DK 4 separata meteoklasser	GNM, CNM	Leq24h

Godkänd av uppdragsgivare
Inväntar publicering