



Digital verktygslåda för god ljudmiljö i stationssamhällen

Krister Larsson

RISE Rapport 2019:93

Digital verktygslåda för god ljudmiljö i stationssamhällen

Krister Larsson

Abstract

A digital toolbox for good sound environment in station communities

Densification around railway stations and near infrastructure can lead to benefits from the climate and resource efficiency point of view. Living near infrastructure nodes can reduce car dependency and enable more sustainable travel. At the same time, noise from rail traffic causes annoyance and negative health effects for residents, and densification can therefore lead to an increase in the number of people exposed to noise, with increased social costs as a result.

The purpose of the project is to facilitate the implementation of noise measures in the infrastructure at railway stations, thereby enabling climate smart and sustainable densification in public transport-related locations, as well as efficient use of resources at the source. The goal is to compile a digital toolbox with methodology and sample collection for demonstration of technical noise-reducing measures in railway infrastructure.

The digital toolbox contains auralization of different track-close noise measures for different train types, which can be used as a complement to traditional noise predictions to create a more realistic experience of the sound environment. The auralizations are based on recordings of train passages in station-close locations, which have been corrected with calculated insertion losses for the various measures.

In addition, the socio-economic costs of noise and the corresponding benefits for a noise measure are calculated using updated valuation models based on WHO's latest recommendations. The results are compared with the current official Swedish valuation model ASEK.

The project uses co-creation to develop the tool where design and content are prioritized at a workshop together with the intended target group. The tool is openly available and an executable version for PC can be downloaded via <https://sourceforge.net/projects/ljudmiljo-i-stationssamhallen/>. The source code is openly accessible via <https://github.com/larssonkrister/Stationsnara/>.

Key words: Ljudmiljö, järnvag, buller, stationssamhälle, planering, auralisering

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport 2019:93

ISBN 978-91-89049-23-9:

Borås 2019

Innehåll

Abstract	1
Innehåll	2
Förord	3
Sammanfattning	4
1 Introduktion	5
1.1 Bakgrund.....	5
1.1.1 Nyttor och hinder vid förtätning runt stationer och infrastruktur	5
1.1.2 Dagens hantering av bullerfrågan.....	6
1.1.3 Innovativa bulleråtgärder och forskningsbehov	6
1.2 Syfte och mål.....	8
1.3 Avgränsningar.....	8
2 Digitalt verktyg för ljudplanering	9
2.1 Urban ljudplanering.	9
2.2 Fallexemplet Ytterby.....	11
2.3 Co-creation workshop.....	15
2.4 Verktuget.....	16
3 Virtuellt akustik - auralisering	18
3.1 Metod.....	18
3.2 Mätningar och inspelningar	18
3.3 Ljudreproduktion	20
3.3.1 Hörlurar – binauralt.....	21
3.3.2 Högtalare – ambisonics.....	21
4 Samhällsnyttor och kostnader	23
4.1 Metod.....	23
4.2 Resultat.....	23
5 Utvecklingsbehov	26
6 Referenser	27
Bilaga 1 Auralisering av rörliga källor	1
Bilaga 2 Auralisering av åtgärder	1
Bilaga 3 Inspelningar och mätningar	1
Bilaga 4 Samhällsekonomiska nyttor och kostnader	1

Förord

Projektet har genomförts dels inom ramen för kunskapsprocessen ”Det urbana stationssamhället – vägen mot ett resurssnålt resande” inom Mistraprogrammet Urban Futures (MURF), och dels för att stärka och utveckla SIPen InfraSweden2030. Inom kunskapsprocessen har tidigare ett kunskapsseminarium om buller och vibrationer arrangerats av SP, Trafikverket samt Länsstyrelsen i Västra Götaland, samt en förstudie om ”säkerhet och god ljudmiljö i det urbana stationssamhället” genomförts av SP, White Arkitekter och Trafikverket. I förstudien identifierades och kartlades de ingående aktörernas ansvarsområden och befogenheter samt exempel på innovativa lösningar och hur goda ljudmiljöer kan skapas i stationsnära lägen. Förstudien presenterades 2015 vid ett Urban Lunch-time seminarium i Göteborg samt vid workshops om pendelparkeringar och buller tillsammans med kommuner inom Göteborgsregionen. Vidare har seminarier inom kunskapsprocessen ”det urbana stationssamhället” anordnats för att belysa möjligheter till åtgärder på kort, medellång och lång sikt med tillämpning av backcasting (2015) och möjligheter att förbättra samverkan mellan aktörer som berörs av bulleråtgärder med verktyget POOLA (2016).

Detta projekt bygger vidare på de kunskaper och erfarenheter som byggts upp i tidigare delar, vilket också skapat det kontaktnät och den projektgrupp som genomfört projektet.

Projektet delfinansieras av parter inom Mistra Urban Futures, och dels av InfraSweden2030 genom Vinnova.

Sammanfattning

Förtätning runt stationer och nära infrastruktur kan leda till fördelar ur klimat- och resurseffektivitetssynpunkt. Att bo i närheten av infrastrukturnoder kan minska bilberoendet och möjliggöra mer hållbara resor. Samtidigt orsakar buller från järnvägstrafiken störningar och negativa hälsoeffekter för de boende och förtätningen kan därför leda till att antalet exponerade för buller ökar, med ökade samhällskostnader som följd.

Projektets syfte är att underlätta implementeringen av bulleråtgärder i infrastrukturen vid järnvägsstationer och därigenom möjliggöra klimatsmart och hållbar förtätning i kollektivtrafiknära lägen, samt effektivt resursutnyttjande av åtgärder vid källan. Målet är att sammanställa en digital verktygslåda med metodik och exempelsamling för demonstration av tekniska bullerdämpande åtgärder i järnvägsinfrastruktur.

Den digitala verktygslådan innehåller auralisering av olika spårnära bulleråtgärder för olika tågtyper, vilket kan användas som komplement till traditionella bullerberäkningar för att skapa en mer realistisk upplevelse av ljudmiljön. Auraliseringarna är baserade på inspelningar av tågpassager i stationsnära lägen, vilka har korrigerats med beräknade insättningsdämpningar för de olika åtgärderna.

Dessutom beräknas de samhällsekonomiska kostnaderna för buller och motsvarande nyttor för en bulleråtgärd med hjälp av uppdaterade värderingsmodeller baserade på WHO:s senaste rekommendationer. Resultaten jämförs med den nu gällande officiella värderingsmodellen ASEK.

Projektet använder sig av co-creation för att utveckla verktyget där utformning och innehåll prioriteras vid en workshop tillsammans med den tänkta målgruppen. Verktyget är öppet tillgängligt och en exekverbar version för PC kan laddas ner via <https://sourceforge.net/projects/ljudmiljo-i-stationssamhallen/>. Källkoden är öppet tillgänglig via <https://github.com/larssonkrister/Stationsnara/>.

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Väl fungerande transporter är en förutsättning för att samhället ska fungera. Buller är samtidigt ett miljöproblem som kan öka i takt med ökad urbanisering i bullerutsatta lägen nära det nationella transportsystemet. Hjärtinfarkt och stroke till följd av trafikbuller uppskattas årligen orsaka hälsoförluster med cirka 500 förtida dödsfall enbart i Sverige [1]. Buller är det miljöproblem som drabbar flest människor i Sverige idag [2] och utvecklingen går mot en försämring av situationen där andelen av befolkningen som besväras av trafikbuller riskerar att öka och de miljömål som satts upp inte kommer att uppfyllas [3].

Regeringens mål är att Sverige ska bli ett av världens första fossilfria välfärdsländer och att de nationella miljö kvalitetsmålen ska nås [4]. För att nå målen är effektiva transporter på järnväg viktiga, både ur klimatsynpunkt för minskat fossilberoende och CO₂ utsläpp, men också för näringslivets framtida utveckling och nyindustrialisering. Transportinfrastruktur och klimatsmarta boende- och arbetsmiljöer som skapar förutsättningar för god mobilitet, arbetspendling och effektiv logistik är därför avgörande, inte minst smart vardagslogistik för att få livspusslet att gå ihop. Stationssamhällen med goda kommunikationer och förtätning runt stationen kan skapa förutsättningar för en mer klimatsmart utveckling [5]. Många städer och samhällen runt om i Sverige vill förtäta runt stationer och det pågår redan flera projekt med den inriktningen. Men buller och vibrationer är ofta en komplex utmaning att hantera och att hitta ekonomiskt hållbara bulleråtgärder och systemlösningar är på många orter en begränsande faktor för möjligheterna att förtäta på ett miljö- och hälsomässigt godtagbart sätt.

För att nå målet med minskad klimatbelastning bedöms järnvägstrafiken öka de närmaste decennierna, samtidigt som underhållet av den befintliga infrastrukturen är eftersatt och stora investeringar i underhåll och nya höghastighetsbanor planeras. Ökad järnvägstrafik för också med sig fler bullerhändelser och fler godståg som ger buller på nätterna, vilket kan orsaka mer sömnstörningar och därmed också långsiktiga hälsoeffekter.

1.1.1 Nyttor och hinder vid förtätning runt stationer och infrastruktur

Förtätning runt stationer och nära infrastruktur är förknippat med fördelar med avseende på klimat och resurseffektivitet. Att bo i närheten av infrastrukturnoder kan minska bilberoendet och möjliggöra mer hållbara resor. Förtätning skulle också kunna resultera i lägre bullernivåer under förutsättning att trafikarbetet samtidigt kan minskas, d.v.s. att resorna i större utsträckning övergår från bil till cykel eller gång [6]. Men dagens utveckling går mot att trafikarbeten och bullernivåer inte minskar, utan tvärtom att fler människor bor i mer bullerutsatta områden.

Nyligen införde regeringen en förordning med preciserade bullerriktvärden och regler för hantering av avsteg vid bostadsbyggande som möjliggör att mark som tidigare inte

kunde användas för bostäder numera kan bebyggas under förutsättning att kraven för bullernivåer inomhus uppfylls samt att bostäderna utformas med hänsyn till bullersituationen [7]. I bullerutsatta miljöer är det därför idag i vissa fall bullernivåerna som är dimensionerande för fasader och fönster, speciellt där lågfrekvent buller förekommer. För att klara att uppfylla rimliga inomhusnivåer behöver mer isoleringsmaterial och dyrare fönster väljas än vad som är motiverat enbart ur värmeisolerings- och energieffektivitetssynpunkt. Projektet kan därmed skapa förutsättningar för fler bostäder i klimatsmarta lägen och resurseffektivisering genom att underlätta för val av åtgärder vid källan och infrastrukturen i stället för vid byggnaderna.

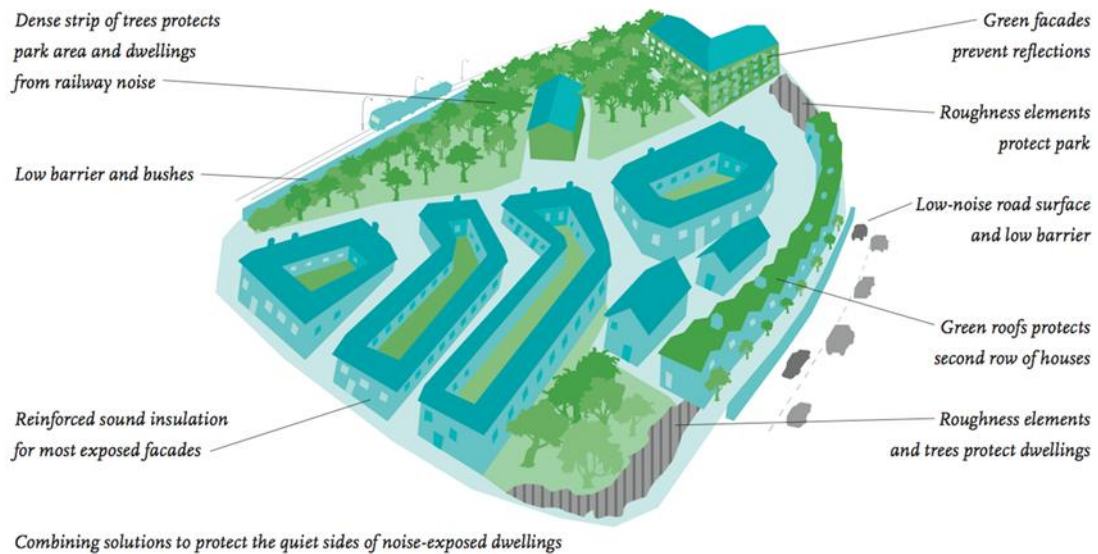
Fastighetsvärden ökar vid etableringar och exploatering nära kollektivtrafiknoder, som järnvägsstationer och tunnelbanestationer. Dessutom ger sänkta bullernivåer också en ökning av fastighetsvärden, vilket avspeglar sig t.ex. i ASEK, Trafikverkets modell för samhällsekonomiska kostnader för buller [8]. Värdeökningen ger möjligheter till olika finansieringsalternativ för investeringar i bulleråtgärder. Investeringar i miljöförbättrande åtgärder i infrastrukturen i närmiljön runt stationer och järnväg kan därmed genomföras av exploatören. Nya samarbetsformer, ekonomiska modeller och innovativa finansieringsmodeller behöver också utvecklas och testas för svenska förhållanden.

1.1.2 Dagens hantering av bullerfrågan

Ansvar för buller och åtgärder är fördelat på olika aktörer och myndigheter beroende på typ av bullerkälla och situation. För att samordna frågan och skapa enhetliga och förutsägbara regelverk pågår en bullersamordning mellan myndigheterna, vilken leds av Naturvårdsverket [9]. När det kommer till infrastruktur och specifikt järnväg har Trafikverket ett ansvar för bulleråtgärder i den befintliga bebyggelsen. Kommunen har kostnadsansvar för de bullerskyddsåtgärder som krävs för att den nya bebyggelsen ska klara lagstadgade riktvärden. Boverket ansvarar för bullerskydd vid byggande av bostäder och lokaler och ger ut allmänna råd i BBR, samtidigt som Folkhälsomyndigheten och arbetsmiljöverket ansvarar för tillsyn och buller ur hälsosynpunkt i befintliga bostäder respektive arbetsplatser. För närvarande pågår arbete vid flera myndigheter att ta fram stödmaterial för hur bullerfrågan ska hanteras vid infrastruktursatsningar och bostadsbyggande. Boverket har bland annat tagit fram ett material om god ljudmiljö och akustisk design [10] och arbetar med att uppdatera sin handbok om buller i planeringen. Förutom myndigheter, kommuner och infrastrukturhållare har också operatörerna ett ansvar för sina fordon.

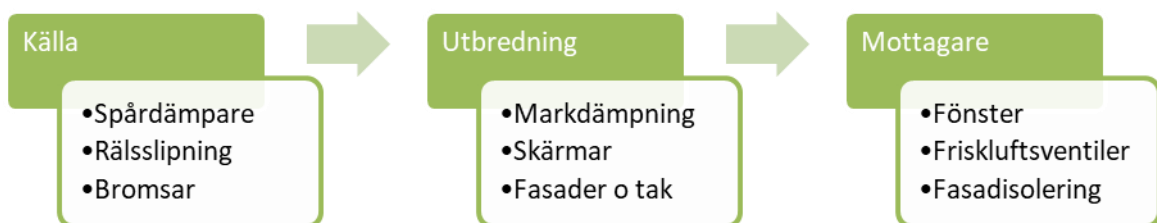
1.1.3 Innovativa bulleråtgärder och forskningsbehov

Inom EU-projektet HOSANNA studerades flera olika typer av innovativa bulleråtgärder som skärmar, fasader och markåtgärder [11]. Åtgärderna kan användas för att dämpa både vägtrafik- och järnvägsbuller, men fokuserar framförallt på att påverka ljudutbredningen mellan källan och mottagaren. Framförallt kan en kombination av åtgärder vara effektiva, se Figur 1. Kunskap om direkta åtgärder på infrastruktur och mer specifikt spår och spårfordon saknas i större utsträckning än för vägtrafikbuller idag.



Figur 1 Kombination av åtgärder för att hantera buller, www.greener-cities.eu [11]

Åtgärder vid källan där ljudet uppstår är normalt mest effektivt i den meningen att de åtgärderna resulterar i en global minskning av bullernivåer. Ju närmare mottagaren åtgärderna i stället sätts in desto mer lokal bullerdämpande effekt uppnås, se Figur 2. Åtgärder nära källan är därför resurseffektivare tack vare att mindre insatser nära källan ger en större bullerdämpande effekt och sparar in resurser för senare åtgärder. Sänkta bullernivåer i omgivningen bidrar också till ett större ökat fastighetsvärde i ett större område, jämfört med lokala åtgärder vid mottagaren.



Figur 2 Exempel på bulleråtgärder från källa till mottagare

Kostnaden för bulleråtgärder är starkt kopplade till när i planeringsprocessen bullerfrågan beaktas, se Figur 3 [12]. I befintlig miljö är det ofta svårt att åstadkomma stora reduktioner av bullernivåer och vanligtvis är de åtgärder som är praktiskt genomförbara åtgärder vid mottagaren, som fönsterbyten och fasadåtgärder. I planeringsskedet är det emellertid enklare att genomföra mer genomtänkta åtgärder som placering, rälsåtgärder, försänkning eller separata spår för godstransporter.



Figur 3 Kostnad för bulleråtgärder. Handlingsplan mot buller SOU 1993:65 [12]

1.2 Syfte och mål

Projektets syfte är att underlätta implementeringen av bulleråtgärder i infrastrukturen vid järnvägsstationer och därigenom möjliggöra klimatsmart och hållbar förtätning i kollektivtrafikhöga lägen, samt effektivt resursutnyttjande av åtgärder vid källan.

Målet är att sammanställa en digital verktygslåda med metodik och exempelsamling för demonstration av tekniska bullerdämpande åtgärder i järnvägsinfrastruktur. Exempelsamlingen ska innehålla:

- befintliga tekniska åtgärder från källa till mottagare
- beräknade effekter för åtgärderna enskilt och i kombination
- beräknade nyttor (värden) och kostnader för åtgärderna

Exempelsamlingen ska ge stöd för uppskattning av effekt och kostnader av en enskild åtgärd eller en sammanvägd effekt och kostnad vid kombinationer av olika åtgärder. Målgruppen för exempelsamlingen är i första hand kommunernas planavdelningar, som vill finansiera bullerdämpande åtgärder på järnvägen. Andra målgrupper är Trafikverket vid ny infrastruktur eller åtgärder hos mottagarna, kollektivtrafikmyndigheter som upphandlar kollektivtrafik med järnvägsfordon. Inför satsningar på utveckling av stationsnära lägen i bullerutsatta miljöer behövs en exempelsamling som paketeras i ett avgränsat och greppbart format med konkreta genomförbara effektiva åtgärder.

Projektets syfte och mål strävar mot InfraSweden2030s mål om minskad miljö- och klimatpåverkan samtidigt som det också stödjer utveckling av innovationer för kostnadseffektiva spårnära åtgärder.

1.3 Avgränsningar

Projektets finansiella och tidsmässiga ramar gjorde att projektet fick avgränsas och prioriteras under utförandet. Endast ett testcase (Ytterby) användes under projektet och i utvecklingen av verktyget. Kostnader och nyttor för genomförande av åtgärder på fastigheter som exempelvis fönsterbyten eller ventiler för jämförelser med åtgärder i infrastrukturen har inte tagits med i detta skede. Effekter på mark- och fastighetsvärden tack vare bulleråtgärder har endast hanterats avseende bostäder.

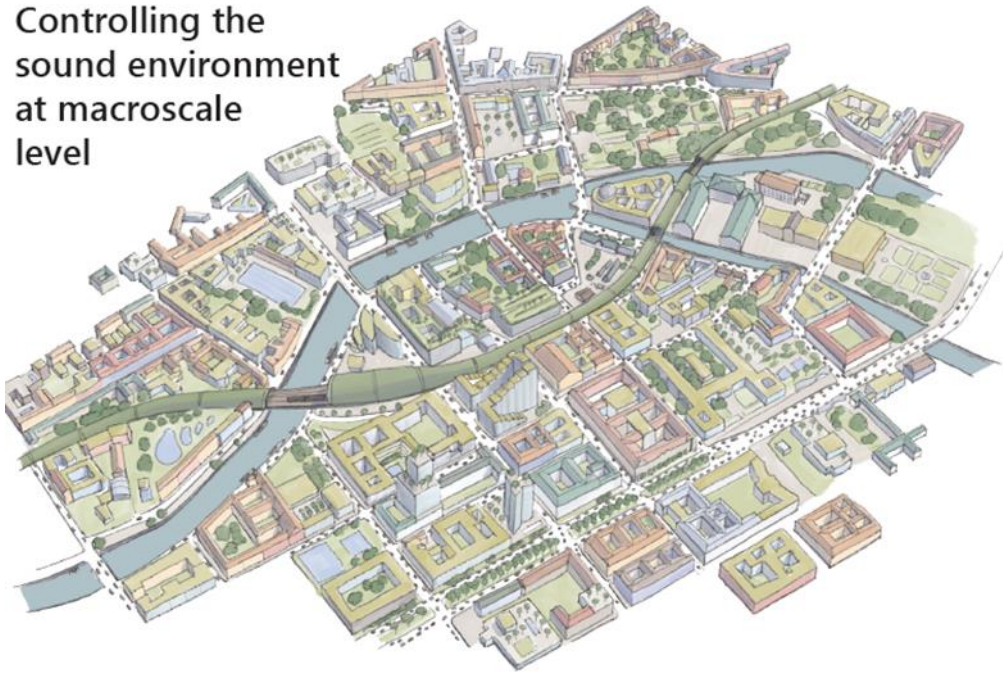
2 Digitalt verktyg för ljudplanering

2.1 Urban ljudplanering.

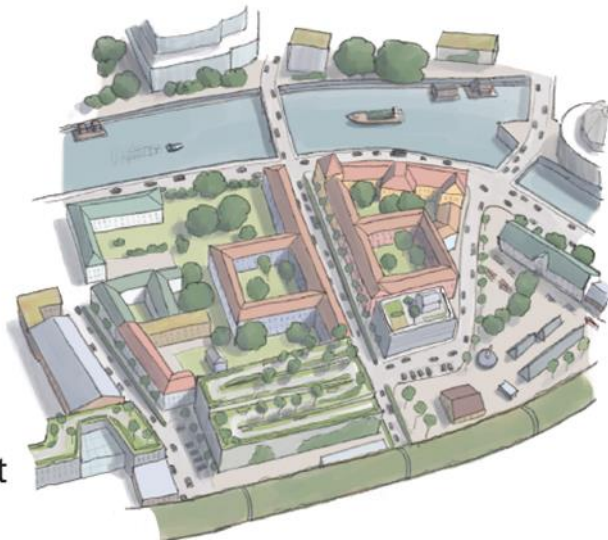
För att hitta kostnadseffektiva lösningar för att skapa goda ljudmiljöer i närheten av transportinfrastruktur behöver bullerfrågan tas med på ett tidigt stadium i planeringsprocessen och prioriteras när olika egenskaper och intressen ska vägas mot varandra. Inom det europeiska projektet SONORUS [13] utvecklades en planeringsprocess och verktyg för urban ljudplanering för att förbättra och förenkla för att ta hänsyn till bullerfrågan i planeringen. SONORUS genomfördes som ett ITN projekt, Initial Training Network, där syftet var att utbilda unga europeiska forskare inom ljud och planeringsprocessen. Projektet lyfte fram auralisering, dvs att skapa virtuella ljudmiljöer för lyssningsändamål, som ett viktigt verktyg för att effektivisera planeringsprocessen och för att åskådliggöra bullerfrågan och göra det möjligt för icke-specialister att kunna samverka och förstå problemställningarna och nyttan med åtgärder.

SONORUS delade in hanteringen av bullerfrågan i tre olika nivåer eller skalor; Makro-, Meso-, och Mikroskala. Olika åtgärder är relevanta för de olika skalorna och de hanteras vid olika tidpunkter i planeringsprocessen i den fysiska planeringen. Makroskalan hanterar hela stadsdelar eller områden där markanvändning, industriverksamheter, transporter, transportleder och bebyggelsestruktur är viktiga parametrar som påverkar ljudmiljön, vilket kan tas hänsyn till i samband med översiktsplaner eller fördjupade översiktsplaner. Mesoskalan hanterar utformning och placering av bebyggelse inom en stadsdel eller kvarter. Även här är transporter och vägar en av de mest relevanta bullerkällorna, men även bebyggelsens utformning med exempelvis kvartersstruktur och förtätning är viktiga aspekter som påverkar ljudmiljön och kan tas hänsyn till exempelvis i detaljplaneskedet. Med Mikroskala avses utformningen av enskilda byggnader eller kvarter, där exempelvis utformning av fasader eller bullerskärmar är exempel på åtgärder som kan hanteras i samband med projektering vid bygglovsärenden eller detaljplaneringen.

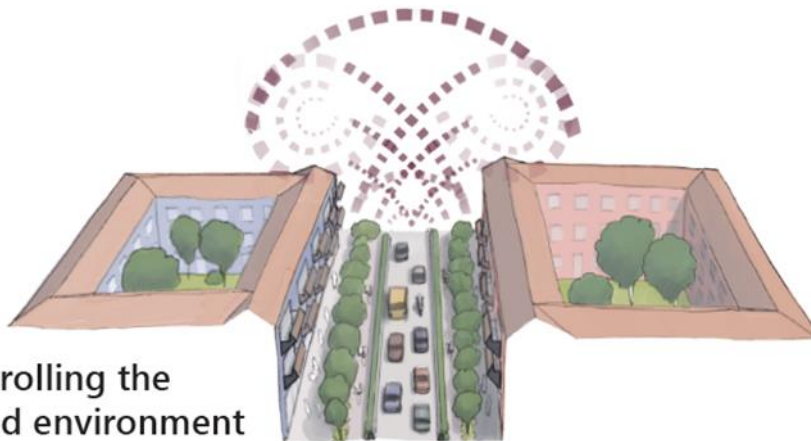
Controlling the
sound environment
at macroscale
level



Controlling the
sound environment
at mesoscale level



Controlling the
sound environment
at microscale level



Figur 4. Urban ljudplanering kan ske med olika detaljnivå på makro-, meso- och mikroskala i planprocessen. [från referens 13]

För samtliga skalor och steg i planeringsprocessen behövs verktyg som möjliggör att ljudfrågorna kan hanteras på ett adekvat sätt och så tidigt som möjligt i processen. I samband med detaljplanering görs bullerutredningar avseende omgivningsbuller med syfte att kartlägga bullersituationen och beräkna dimensionerande ljudnivåer. Dessa bullerutredningar görs idag med hjälp av befintliga beräkningsmodeller för trafikbuller och industribuller som ger mått på årsmedelvärde av den ekvivalenta ljudnivån och maximalnivåer utomhus. Dessa mått kan också användas för att estimerar bullerkostnader och att göra samhällsekonomiska värderingar, exempelvis med hjälp av ASEK (se vidare avsnitt 4), men säger inte speciellt mycket om karaktären på ljudmiljön och hur den kommer att upplevas. Auralisering av ljudmiljöer som ett komplement till de mer standardiserade bullerberäkningarna är därför ett attraktivt verktyg för att öka medvetenheten om ljudsituationen i planeringsprocessen och därigenom underlätta för införandet av relevanta bulleråtgärder.

Inom SONORUS projektet användes workshops som ett verktyg där akustikexperter arbetade tillsammans intressenter från städer för att hitta möjliga lösningar på bullerproblematik. Dessa workshops var uppskattade av deltagarna och bidrog till nya tänkesätt kring lösningar på aktuella bullerproblem i de städer som deltog.

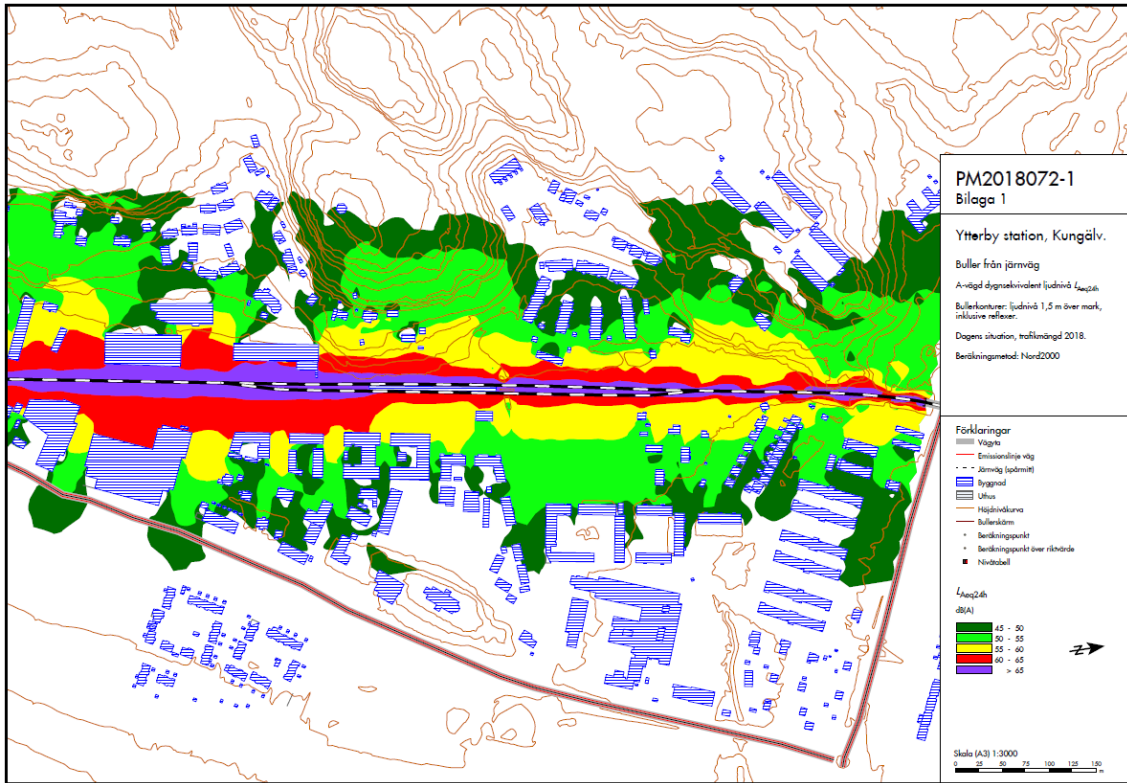
Inom detta projekt om God ljudmiljö i stationssamhällen har metodiken som arbetades fram under SONORUS projektet tillämpats praktiskt och utvecklats ytterligare.

2.2 Fallexemplet Ytterby

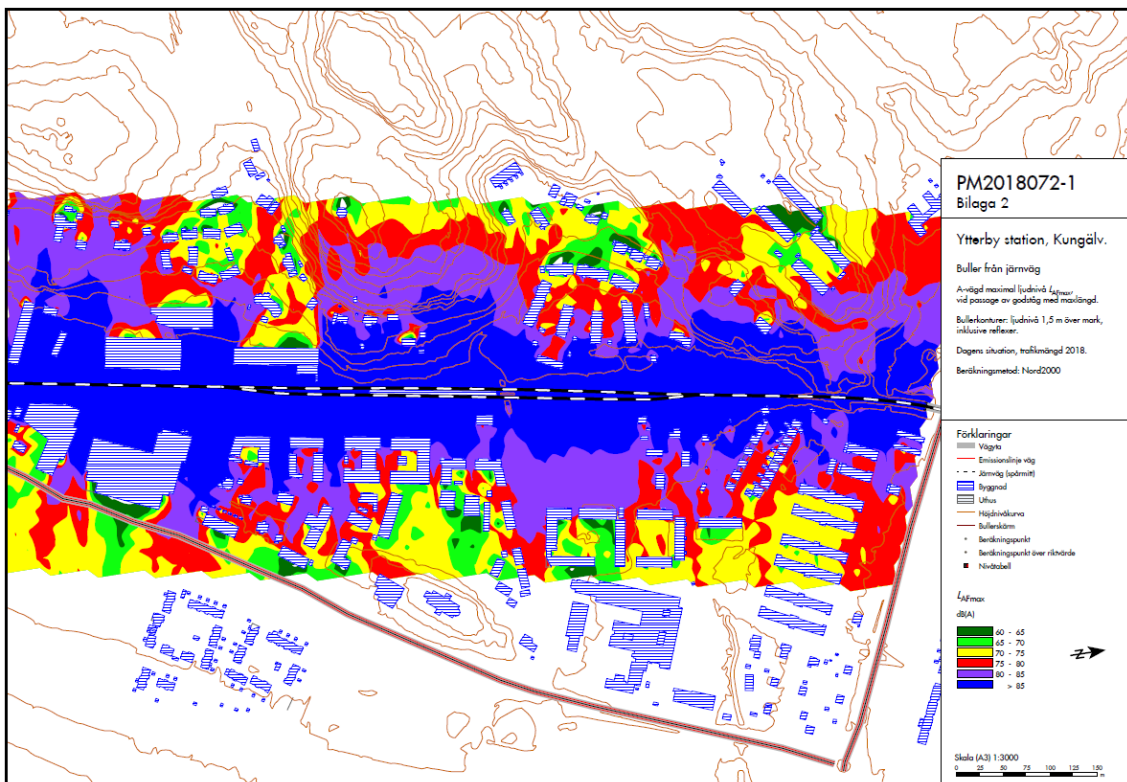
Inom kunskapsprocessen ”Det Urbana Stationssamhället” i Mistra Urban Futures ingår ett nätverk av kommuner i Göteborgsregionen med tätorter som planerar att förtäta runt stationsområden. Genom nätverket kontaktades relevanta kommuner med en förfrågan om att ingå som fallexempel i projektet. Arbetet med att ta fram en fördjupad översiktsplan för Ytterby pågick under projektets gång, varför samhället valdes ut som fallexempel för att illustrera och tillämpa projektets resultat.

Ytterby är en tätort i Kungälv kommun drygt 2 mil norr om Göteborg. Enligt planerna kommer samhället att förtätas och expandera där nyttjandet av järnvägen som pendlingsnod till och från Göteborg är en central del. I planerna finns bl.a. utbyggnad av järnvägen till dubbelspår samt ökad turtäthet till kvartstrafik undre rusningstid med som alternativ. Samtidigt finns planer för ny bostadsbyggnad i anslutning till stationsområdet med en risk för hög bullerexponering.

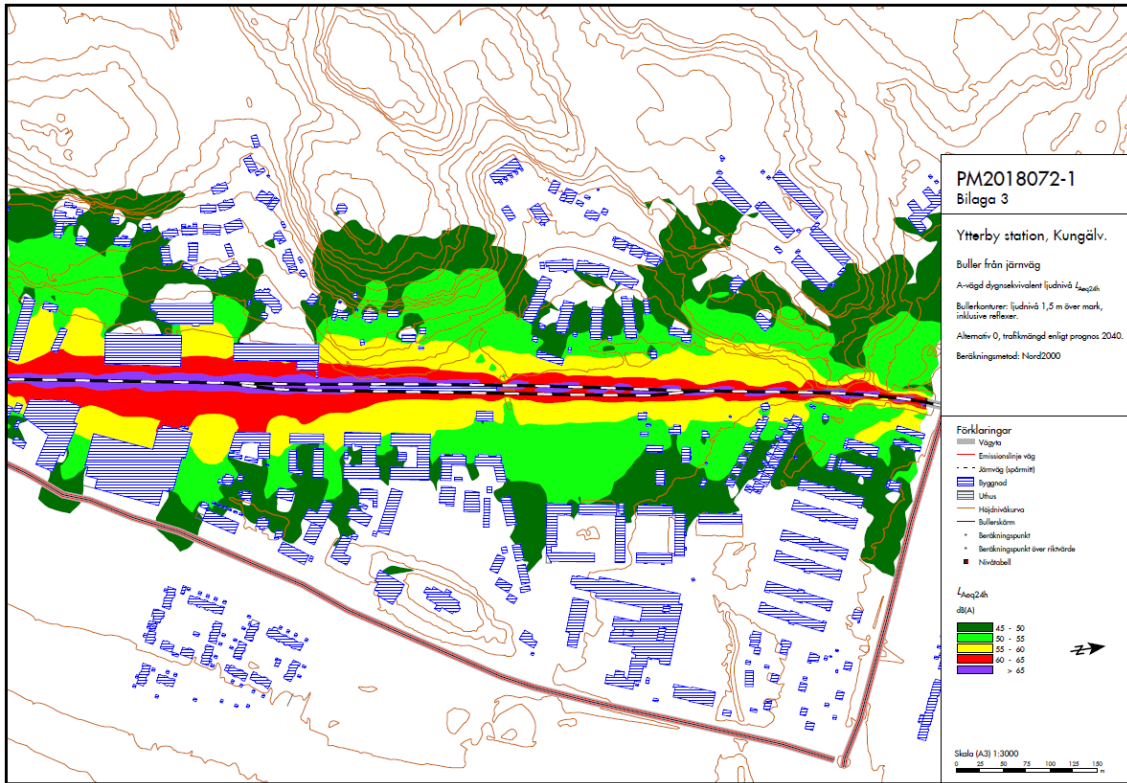
För Ytterby genomfördes bullerberäkningar av järnvägsbuller med hjälp av beräkningsmodellen Nord2000 i verktyget SoundPlan. Beräkningarna gjordes för befintlig bebyggelse för tre olika scenarier och bulleråtgärder, för att kunna beräkna samhällsekonomiska nyttor (se avsnitt 4) och för att använda som exempel i det digitala verktyget. Resultaten visas i figurerna 5-10 nedan för de tre scenarierna; dagens situation, noll-alternativ scenariot med beräknad trafikökning enligt Trafikverkets prognoser fram till 2040, samt för kvartstrafikscenariot med planerad utbyggnad till dubbelspår samt med ökad turtäthet.



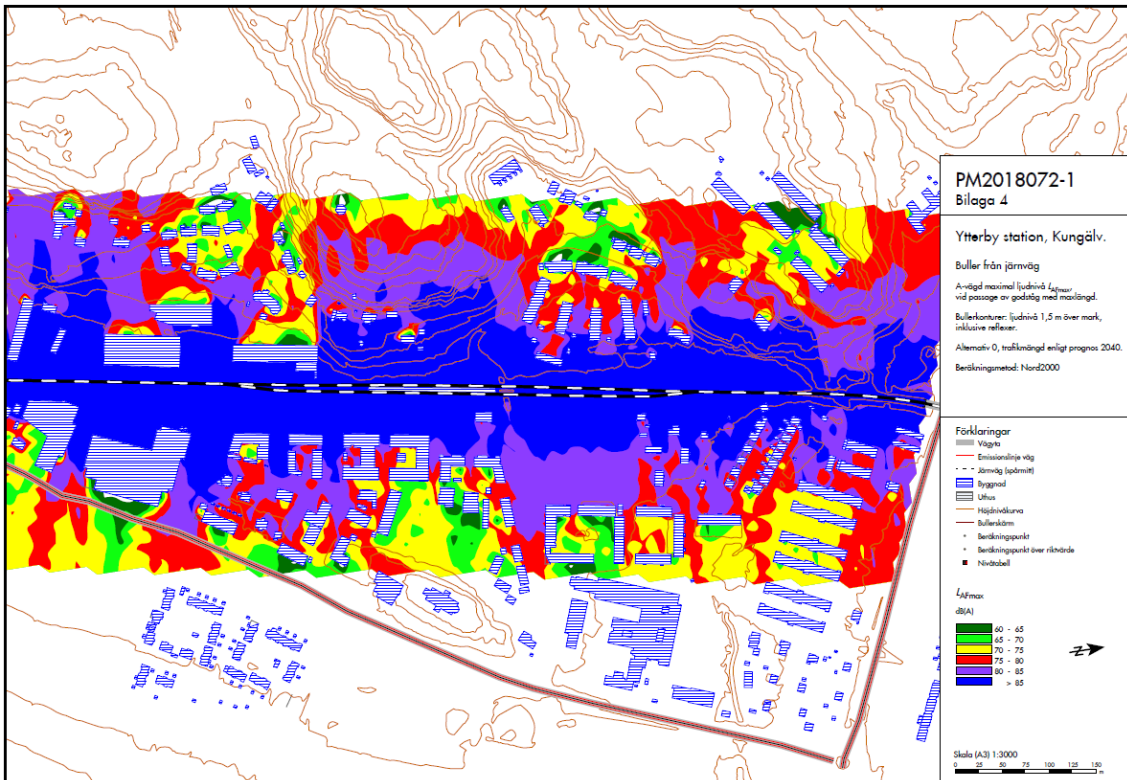
Figur 5. Beräknad A-vägd ekvivalent ljudnivå i Ytterby med dagens trafiksituation



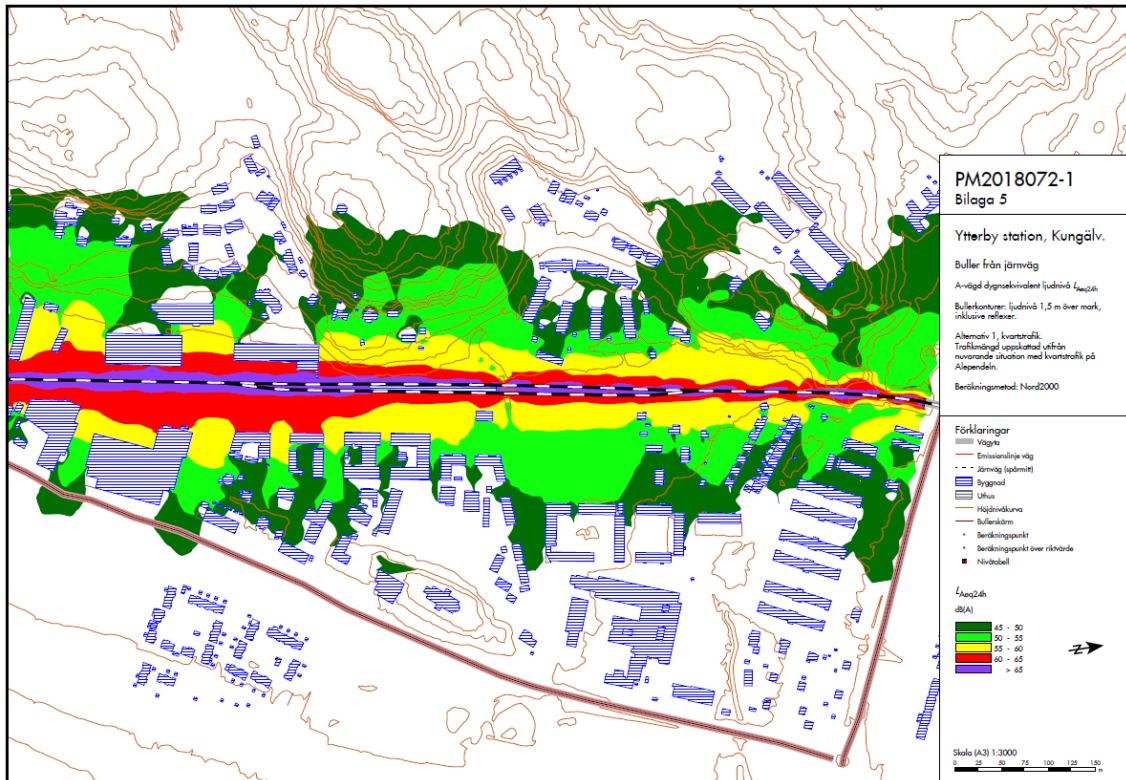
Figur 6. Beräknad A-vägd maximal ljudnivå i Ytterby med dagens trafiksituation



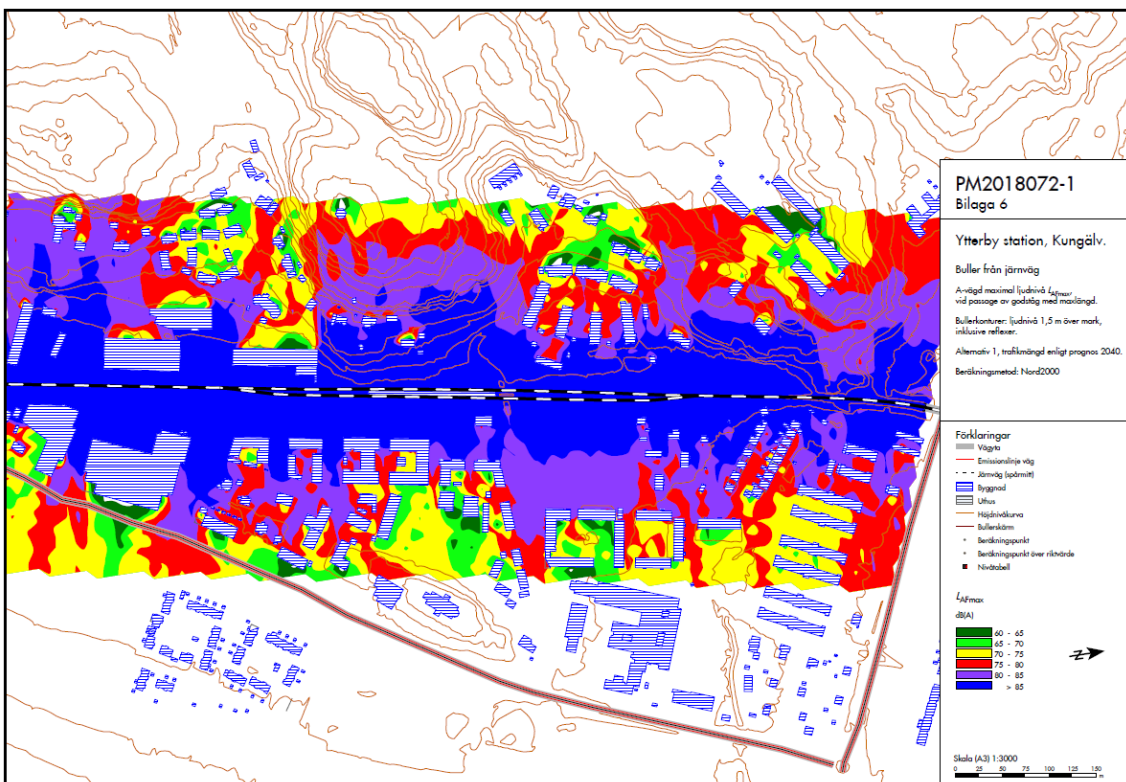
Figur 7. Beräknad A-vägd ekvivalent ljudnivå i Ytterby för noll-alternativ scenariot trafiksituation 2040.



Figur 8. Beräknad A-vägd maximal ljudnivå i Ytterby för 0-alternativ scenariot trafiksituation 2040.



Figur 9. Beräknad A-vägd ekvivalent ljudnivå i Ytterby för scenariot med kvartstrafik.



Figur 10. Beräknad A-vägd maximal ljudnivå i Ytterby för scenariot med kvartstrafik.

Resultaten för bullerberäkningarna visar att de ekvivalenta ljudnivåerna förväntas öka något, medan maximalnivåerna knappast påverkas av trafikökningen. Då maximalnivån

utgår från den bullrigaste tågtypen ges den i detta fallet av godståg, vilket kan förklara att maximalnivån är oförändrad i beräkningarna.


2.3 Co-creation workshop









Som en del i projektet att utveckla den digitala verktygslådan genomfördes en co-creation workshop där deltagare från verktygets tänkta målgrupp var representerade för att aktivt kunna påverka utformningen av slutprodukten och för att prioritera och avgränsa vilka åtgärder och delar som tas med i verktyget inom ramen för projektet.

Under workshopen fick deltagarna lära sig mer om ljud i planeringsprocessen, diskutera vilka utmaningar som kan uppkomma vid förtätning och även prova på auralisering av bulleråtgärder genom lyssningsförsök i en tidig version av det digitala verktyget. I enkla lyssningsförsök utförda både i grupp i ett lyssningsrum och individuellt med hörlurar fick deltagarna utvärdera realismen och nyttan hos verktyget.

Genom fallexemplet Ytterby diskuterades resultaten från bullerberäkningarna för de 3 scenarierna, och ideer och förslag på åtgärder för att hantera bullersituationen och möjliggöra den framtida förtätningen togs fram i grupparbeten.

I workshopen aggregerades resultaten från grupparbeten och ett prioriteringsförslag för den fortsatta utvecklingen av det digitala verktyget togs fram för att nyttiggöra resultatet av projektet.

VAD KAN INFRIAS TILL JUNI 2019 (KORT SIKT) SE MARKERING MÖJLIG  DELVIS MÖJLIG 

Kort sikt Juni 2019		Medium sikt 2022		Lång sikt 2025	
"Need to have"	"Nice to have"	"Need to have"	"Nice to have"	"Need to have"	"Nice to have"
Typ av skärm (betong, jord) 	Handledning för användning av verktyget. För tjänstemän att använda och presentera för politiker. 	Modell av stadsområdet	Många olika bullerdämpande åtgärder	Fler bullerdämpande åtgärder	VR i stadsmiljö
Program med hörlurar 	Ska visa dB-nivå och frekvens 	Lägga in mer ljudvägbuller - Jämfå fall i Borås	Buller ifrån vägtrafik med och utan en elbil/lastbil 	Makronivå grundläggande planeringsförutsättningar	
Hastighet på tåget 	Makronivå grundläggande planeringsförutsättningar	Från 2 d till 3d	VR-möjlighet 		
Gränssnitt med bullernivå och avstånd till bullerkälla och eventuell åtgärd 	Växande databas av åtgärder (bullerskyddsåtgärder) 	Möjlig pilotstudie på plannivå/projekteringsnivå i Stenungssund 2020 (2019)			
Påverkande åtgärder mot tågleverantör 		Produktifierat verktyg. Allmänt accepterat			
Ev möjligt pilottest i FÖP-Ytterby i Meso-skala under q1 2019 					

Figur 11. Utfall från co-creation workshop för prioritering av utveckling av verktyget.

Resultaten från de enkla lyssningsförsöken tyder på att deltagarna upplevde auraliseringarna som mer realistiska i lyssningsrummet med högtalarreproduktion, jämfört med hörlurar, och de föredrog lyssningsrummet i detta fall. Detta har dock inte studerats närmare och inga slutgiltiga slutsatser kan dras baserat på dessa försök då de

inte är kontrollerade för inverkan av samverkande variabler eller följer ett standardiserat förfarande.



Figur 12. Utfall av lyssningsförsöken från co-creation workshop. Överst i grupp i lyssningsrum, underst individuellt med hörlurar.

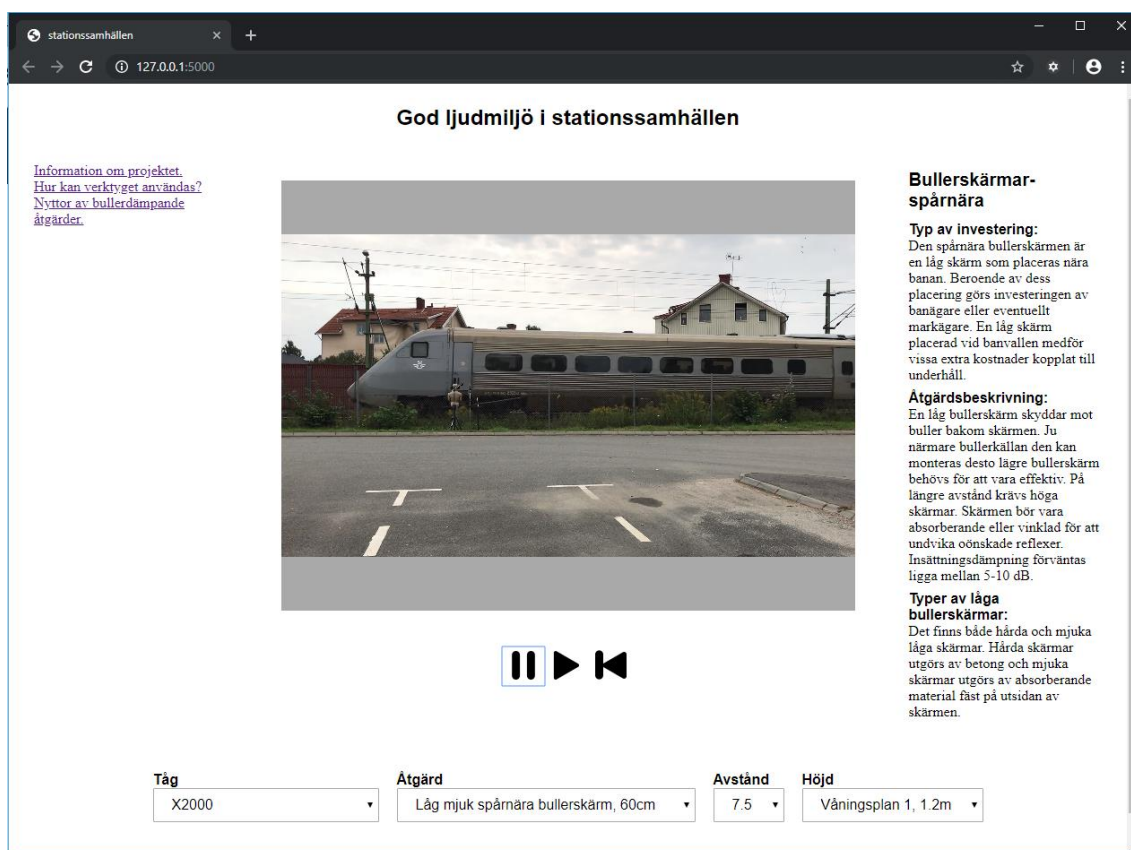
2.4 Verktöget

Projektets huvudleverans är ett digitalt verktyg för auralisering av åtgärder vid järnvägsinfrastruktur som finns tillgängligt som öppen källkod på Github <https://github.com/larssonkriste/Stationsnara>. En kompilerad exe-fil för windows operativsystem finns för nedladdning på Sourceforge,

<https://sourceforge.net/projects/ljudmiljo-i-stationssamhallen/>. Verktøget är utvecklat för att fungera i webläsaren Chrome.

Verktøget ska användas som ett komplement till de bullerutredningar som görs i samband med detaljplanering och bygglovsärenden och ska inte ersätta dessa. I det webbaserade verktøget kan man i realtid lyssna på effekten av ett flertal olika bulleråtgärder på karaktären hos ljudet av passerande tåg och vanliga stationshändelser.

Figur 13 visar en screenshot från verktøget. Uppspelingen startas med knapparna och en video visar tågpassager för den valda tågtypen med synkroniserat ljud. I rullgardinsmenyn nederst till vänster väljs aktuell tågtyp. Intill den kan olika åtgärder väljas och ljudet kan spelas upp vid olika avstånd och höjder genom att välja motsvarande menyer nederst till höger. På högersidan finns information om bulleråtgärden som väljs, och till vänster om videofönstret finns länkar till mer information och om nytto- och kostnadsberäkningarna som genomförts inom projektet.



Figur 13. Screenshot från verktøget

En demovideo finns på länken:

https://github.com/larssonkrister/Stationsnara/blob/master/Stationsnara_demo_small.mp4

3 Virtuellt akustik - auralisering

3.1 Metod

Utvecklingen av auraliseringsmetodik som utvecklats inom projektet beskrivs närmare i bilaga 1 och bilaga 2.

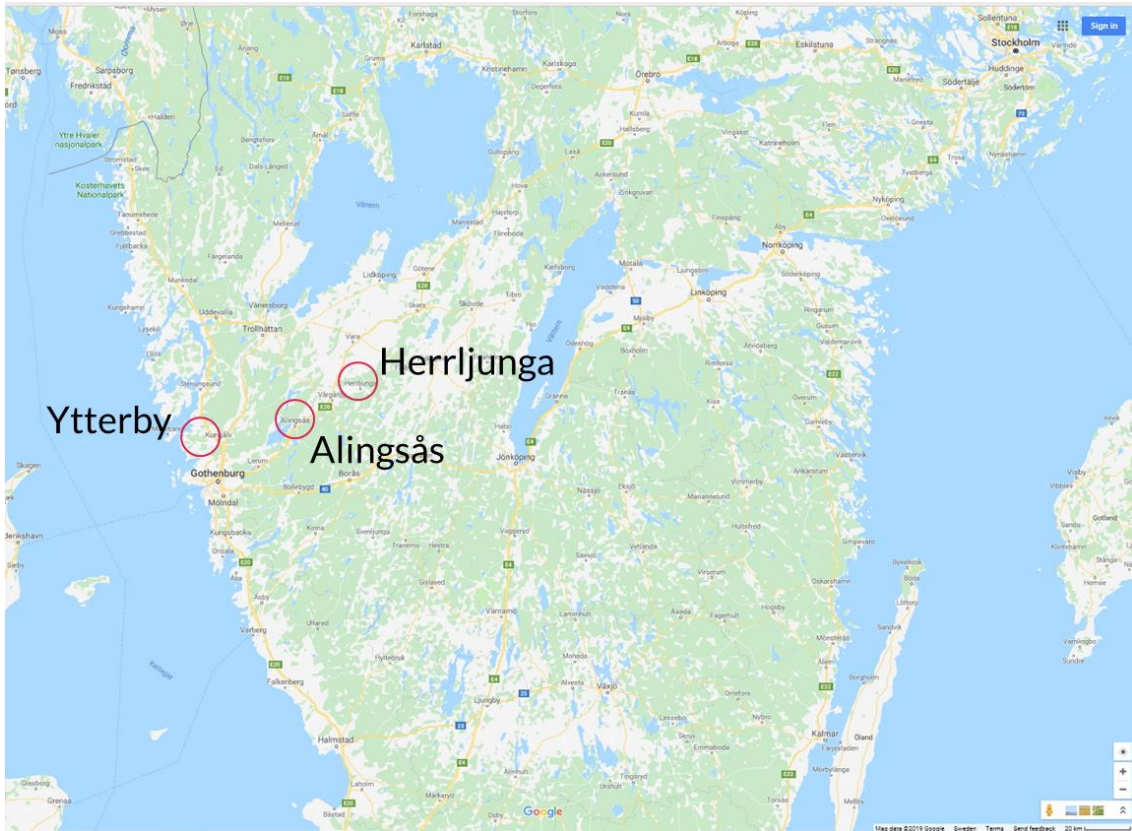
Erfarenhet från tidigare projekt visar att det är svårt att skapa realistiska auraliseringar baserat på enbart fysikalisk modellering av tåg. Auraliseringen av bulleråtgärderna som tagits fram baseras därför i stället på modifiering av inspelningar av tågpassager. Som källmodell användes Nord2000 där tågen modelleras som tre punktkällor där vardera källan associeras med det ljud som orsakas av räls, hjul och fordonet. Med hjälp av existerande överföringsfunktioner för de olika källhöjderna som tagits fram inom det Europeiska Imagine projektet, separerades källdata för respektive källa ur inspelningarna.

Vinkelberoende insättningsdämpning för åtgärder, som exempelvis hårda skärmar, beräknades med Nord2000 i tersband. För att kunna beräkna effekten av mer komplexa skärmar som exempelvis olika skärmkrön eller ljudabsorberande material beräknades förändringen av insättningsdämpningen med hjälp av en numerisk BEM modell.

Slutligen beräknades de resulterande ljudtrycksförloppen genom att integrera ljudbidraget från respektive källa över hela vinkelområdet som når mottagaren med hänsyn tagen till den vinkelberoende dämpningen och hastigheten på tåget.

3.2 Mätningar och inspelningar

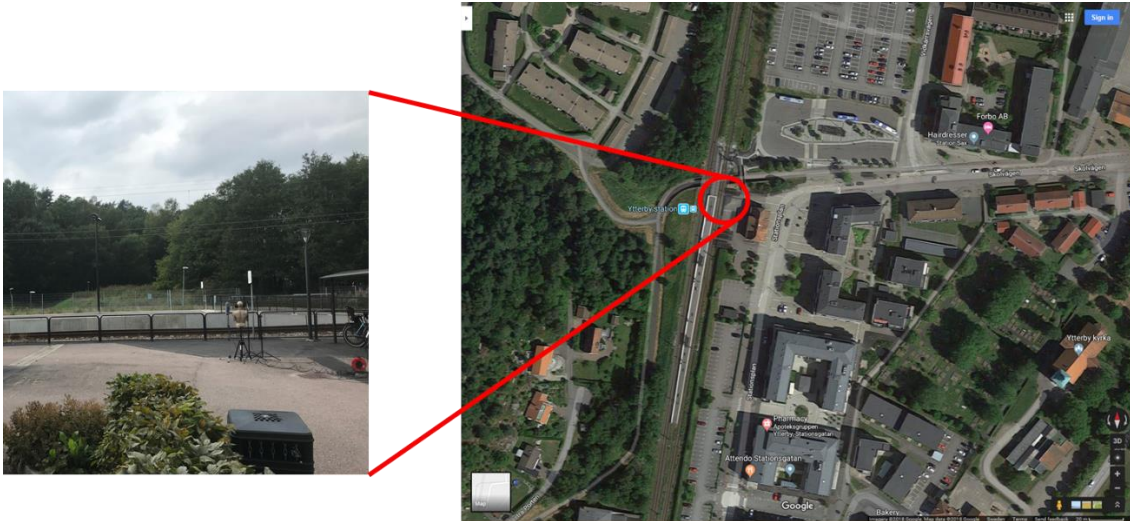
Indata till auraliseringarna baseras på inspelningar gjorda för relevanta tåghändelser som kan uppkomma i närområdet av stationer. Se bilaga 3 för utförligare beskrivning av inspelningarna som ligger till grund för verket. Beroende på ett samhälls läge och förutsättningar kan olika typ av trafik förekomma och för att skapa en databas med relevanta ljudexempel genomfördes mätningar och inspelningar i tre samhällen i Västra Götalandsregionen. Alingsås och Herrljunga ligger längs med Västra Stambanan och trafikeras av både snabbtåg, regionaltåg, pendeltåg och godståg med hög trafiktäthet som lämpar sig för att kunna samla in större mängder data. En nackdel med Alingsås ur ljudmät synpunkt är det relativt höga bakgrundsljudet från andra ljudkällor. I Alingsås valdes två mätplatser, dels intill perrongen vid stationsområdet, men också en position strax öster om stationen där tåghastigheterna är högre. Ytterby ligger längs med Bohusbanan, vilket trafikeras i huvudsak av i pendeltrafik, men även en viss mängd godstrafik. Nackdelen är att turtätheten är relativt låg vilket gör att få passager kan mätas, men samtidigt är bakgrundsnivån från andra storkällor relativt låg på platsen. Genom en kombination av mätplatser kunde ett flertal specifika ljudhändelser relevanta för stationsområden spelas in.



Figur 14. Mätningar och inspelningar genomfördes på tre orter i Västra Götaland.



Figur 15. Mätpositioner i Alingsås



Figur 16. Mätposition i Ytterby



Figur 17 Mätposition i Herrljunga

Mätningarna och inspelningarna gjordes med flera tekniker. Dels med en traditionell ljudmätning med standardmikrofoner, men för auraliseringsändamålen gjordes inspelningar både binauralt med ett Kemar konsthuvud, samt med Ambisonics format.

3.3 Ljudreproduktion

Det sista steget i auraliseringen är att spela upp ljudet för den eller de personer som ska lyssna till ljudexemplen. Inom projektet provades två olika system för reproduktion; dels med hjälp av hörlurar för individuell lyssning, dels med ett mångkanaligt högtalarsystem i ett lyssningsrum för att kunna lyssna i grupp. För att kunna åstadkomma båda varianterna gjordes inspelningarna med hjälp av två olika tekniker där konsthuvudinspelningarna var avsedda för uppspelning i hörlurar, samt med ambisonicsformatet avsett för högtalarreproduktion.

3.3.1 Hörlurar – binauralt

Att använda hörlurar för reproduktionen är i många avseenden praktiskt då tekniken är enkel och tillgänglig för många. För att få en realistisk lyssningsupplevelse ställs det dock krav på kvaliteten på hårdvaran som hörlurar och ljudkort, och på lyssningsmiljön där oönskade bakgrundsljud ska vara så låga som möjligt. Uppspelningen kan göras med slutna eller öppna hörlurar. Fördelen med slutna hörlurar är att de skärmar av en större del av bakgrundsljudet och kan därför användas i miljöer med högre bakgrundsstörningar. Öppna hörlurar släpper igenom större andel ljud från omgivningen vilket kan störa upplevelsen, samtidigt som det möjliggör att kunna sitta tillsammans i grupp och fortfarande kunna uppfatta tal och föra samtal.



Figur 18. Principiell individuell ljudreproduktion med hörlurar

För att simulera de olika åtgärderna filtrerades de binaurala 2-kanals inspelningarna från konsthuvudinspelningarna i tersband med de filter som beräknats enligt metoden beskriven i bilaga 1 och 2. Ljuden spelas upp direkt från datorns ljudkort och tack vare den binaurala tekniken behålls riktningsinformationen i ljudet och skapar en realistisk ljudbild.

3.3.2 Högtalare – ambisonics

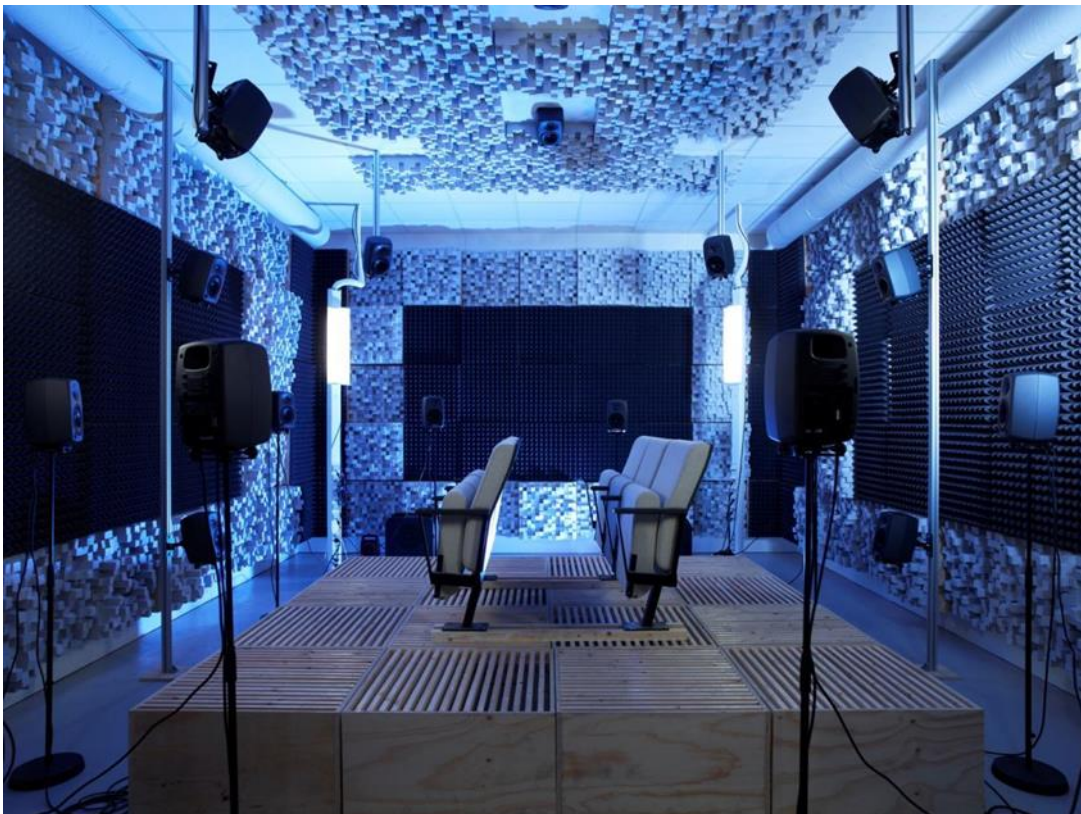
Ambisonics valdes som teknik för att kunna spela upp ljud med ett mångkanaligt högtalarsystem. Inspelningarna gjordes därför med en ambisonicsmikrofon med fyra mikrofonkapslar orienterade som en tetraeder för att bevara riktningsinformationen i ljudet vid inspelningsplatsen. De fyra kanalerna ger möjlighet till första ordningens ambisonics. De inspelade ambisonicssignalerna filtreras i tersband på samma sätt som de binaurala inspelningarna för att simulera de åtgärder som studerades i projektet.

Ambisonics kodar riktningsinformationen på ett sådant sätt att ljudfältet i mätpunkten senare kan återskapas med hjälp av olika typer av högtalararrangemang. Genom att matematiskt omkoda de 4 ambisonicskanalerna till respektive högtalarsignal, beroende på antalet högtalare och dess placering relativt lyssnaren, kan ljudfältet återskapas.



Figur 19. Principiell ljudreproduktion för grupp i lyssningsrum med högtalare

Hur väl ljudfältet kan återskapas beror av flera saker bl.a. högtalarnas antal, placering och kvalitet. Även rummet där uppspelningen görs påverkar upplevelsens kvalitet då oönskade reflexer från väggar och tak påverkar precisionen i det återskapade ljudfältet. I projektet genomfördes reproduktionen i RISE lyssningsrum som är utrustat med en högtalarrigg bestående av 19 högtalare orienterade i en sfär runt lyssningspositionen, samt 4 st bashögtalare för uppspelning av de lägsta frekvenserna.



Figur 20. RISE Lyssningsrum som användes under workshopen i projektet

4 Samhällsnyttor och kostnader

4.1 Metod

Hösten 2018 publicerade WHO uppdaterade riktlinjer för bedömning av störning och hälsoeffekter på grund av buller från olika typer av källor, bl.a. järnväg [14]. Rapporten innehåller uppdaterade dos-respons samband för störning och hälsoeffekter även för lägre nivåer än tidigare versioner. Genom att kombinera de uppdaterade sambanden från WHO med kostnadsvärderingar av förlorade levnadsår kan bullerkostnaden uppskattas som en funktion av bullerexponeringen. Den officiella metoden för samhällsekonomisk värdering av bl.a. bulleråtgärder är ASEK 6.1 [15], vilken bygger på en hedonisk värdering av fastighetspriser. Den samhällsekonomiska nyttan och inverkan på fastighetsvärdering har inom detta projekt uppskattats för fallexemplet Ytterby och jämförts för båda metoderna. Metoden och resultaten beskrivs i närmare detalj i bilaga 4 där det samtidigt finns en länk till ett beräkningsverktyg i Excel.

4.2 Resultat

Bullernivåer för 3 olika scenarier beräknades för Ytterby, med och utan en bullerskärm längs spåret. Antalet exponerade personer uppskattades utifrån befintlig bebyggelse. En sammanfattning av resultaten presenteras här.

Figur 21 visar en sammanställning av den årliga kostnaden för bullerstörning och motsvarande nytta av en bullerskärm i Ytterby beräknade enligt ASEK. Då beräkningen är gjord med befintligt antal exponerade blir nyttan av skärmen relativt låg då antalet exponerade är relativt lågt, speciellt för de högre bullernivåerna över 58 dB.

$L_{Aeq,24}$ in dB	Yearly cost without Barrier	Yearly cost with Barrier
50	4625	1844
51	8099	5797
52	20726	12090
53	20295	13047
54	30614	23616
55	40527	27632
56	29554	36943
57	47612	26451
58	62314	14901
59	26810	8378
60	22422	22422
61	12186	12186
Total	325785	205309
Yearly benefit with barrier	120476	
Total benefit with barrier (40 years calculation period)	2572770	
Total perpetual benefit with barrier	3394811	

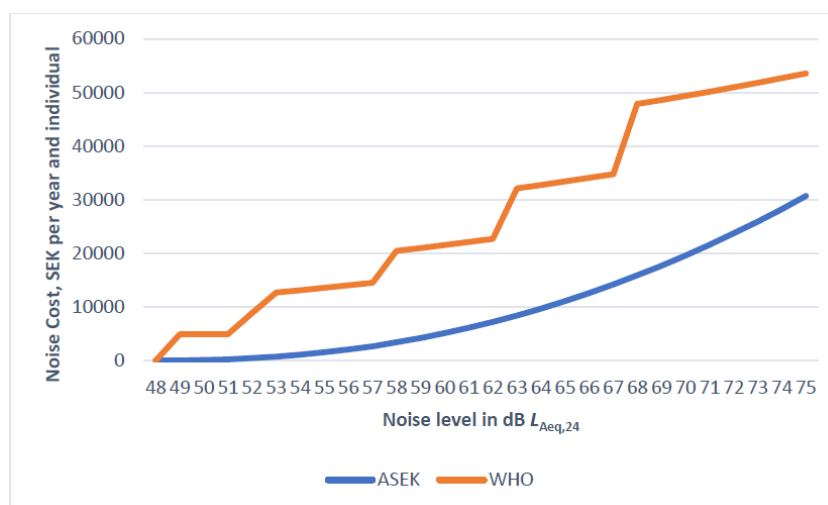
Figur 21. Värdering av bullerkostnad enligt ASEK per år i SEK i 2018 års priser

Figur 22 visar motsvarande beräkning av bullerkostnad och nytta av bullerskärm i Ytterby baserat på WHO:s samband för störning, utan att inkludera hälsoeffekter i form av hjärt- och kärlsjukdomar. Resultaten visar i det här exemplet en stor skillnad jämfört med ASEK och nyttan av skärmen är ca 10 ggr högre. Bullerkostnaden, och därmed nyttan av en bulleråtgärd, blir ännu större om även hjärt- och kärlsjukdomar inkluderas i modellen.

$L_{Aeq,24}$ in dB	Yearly cost without Barrier			Yearly cost with Barrier		
	Sleep disturbance	Annoyance	Total	Sleep disturbance	Annoyance	Total
50	1137735	-	1137735	596425	-	596425
51		-	-		-	
52		187417	187417		109327	109327
53		120511	120511		77471	77471
54		132301	132301		102061	102061
55	961909	136430	1098339	717242	93020	810262
56		81104	81104		101379	101379
57		110129	110129		61183	61183
58		121918	121918		29154	29154
59		45794	45794		14311	14311
60	431558	33908	465466	177050	33908	210958
61		16558	16558		16558	16558
Total	2531202	986070	3517272	1490717	638373	2129090
Yearly benefit with barrier	1388182					
Total benefit with barrier (40 years calculation period)	29644727					

Figur 22. Värdering av bullerkostnad enligt WHO exkl. hjärt- och kärlsjukdomar per år i SEK i 2018 års priser

Den främsta orsaken till den stora skillnaden mellan modellerna är framförallt att WHO tar större hänsyn till störning vid lägre bullernivåer jämfört med ASEK. Figur 23 visar en jämförelse mellan den årliga bullerkostnaden per individ som funktion av bullernivå. Mer resultat och fördjupad analys finns i bilaga 4.



Figur 23. Bullerkostnad per individ och år enligt ASEK respektive WHO

	No of dwellers	Highest exposure level without noise barrier	Highest exposure level with noise barrier	Yearly benefit	Perpetual Benefit
Single-family house	4	57,5 dB	42,4 dB	18605	531585
Apartment building	37	52,1 dB	44,7 dB	2665	76150

Figur 24. Ökning i fastighetsvärde med en bullerskärm i Ytterby. 2018 års priser.

Figur 24 visar ett exempel på beräknad ökning i fastighetsvärden i Ytterby om en åtgärd i form av en bullerskärm byggs längs järnvägen. Beräkningen är baserad på ASEK och befintlig bebyggelse och inkluderar inte andra nyttor i form av möjlighet för exploatering eller nyttan av förtätning runt stationen med ökad pendlingsmöjlighet.

5 Utvecklingsbehov

Baserat på resultat och de inspel som kom fram i co-creation workshopen gjordes prioriteringar och avgränsningar i projektet. De behov och önskemål som inte rymdes inom projektets ramar kan användas som underlag för framtida utvecklingsbehov.

Utvecklingsbehoven för verktyget kan kategoriseras i kategorierna ”behov” och ”önskemål” samt i olika tidshorisonter, kort sikt, mellansikt (ca 3 år) och lång sikt (>5 år). Utvecklingsbehoven sammanfattas i figur 25 nedan (samma som figur 11 men tas med här för att förenkla för läsaren).

VAD KAN INFRIAS TILL JUNI 2019 (KORT SIKT) SE MARKERING MÖJLIG  DELVIS MÖJLIG 

Kort sikt Juni 2019		Mediumsikt 2022		Lång sikt 2025	
"Need to have"	"Nice to have"	"Need to have"	"Nice to have"	"Need to have"	"Nice to have"
Typ av skärm (betong, jord) 	Handledning för användning av verktyget. För tjänstemän att använda och presentera för politiker. 	Modell av stadsområdet	Många olika bullerdämpande åtgärder	Fler-bullerdämpande åtgärder	VR i stadsmiljö
Program med hörlurar 	Ska visa dB-nivå och frekvens 	Lägga in mer ljud- vägbuller - Jolla fall i Borås	Buller ifrån vägtrafik med och utan en elbil/el-lastbil 	Makronivå grundläggande planeringsförutsättningar	
Hastighet på tåget	Makronivå grundläggande planeringsförutsättningar	Från 2 d till 3d	VR-möjlighet 		
Gränssnitt med bullernivå och avstånd till bullerkälla och eventuell åtgärd 	Växande databas av åtgärder (bullerskyddsåtgärder) 	Möjlig pilotstudie på plannivå/projekteringsnivå i Stenungssund 2020 (2019)			
Påverkande åtgärder mot tågleverantör 		Produktifierat verktyg. Allmänt accepterat			
Ev möjligt pilottest i FÖP-Ytterby i Meso-skala under q1 2019 					

Figur 25. Identifierade utvecklingsbehov kategoriserade utifrån behov och önskemål, samt olika tidshorisonter.

Verktygen för värdering av kostnader, nyttor och fastighetsutveckling behöver utvecklas ytterligare. Resultaten från jämförelsen i beräkningsmetod mellan WHO och ASEK visade på stora skillnader, vilket tyder på att beräkningarna är osäkra och de behöver därför utvecklas ytterligare för att undersöka vilka effekter som inkluderas eller om vissa effekter räknas dubbelt.

6 Referenser

- [1] Trafikverkets åtgärdsprogram enligt förordningen om omgivningsbuller 2019–2023, RAPPORT 2018:196, ISBN 978-91-7725-366-2
https://www.trafikverket.se/contentassets/5c921d9b1dcc40589757123250a400d2/atgardsprogram_fob_faststallt.pdf
- [2] Boverket (2016). Buller berör många människor.
<https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/sa-planeras-sverige/planering-av-mark-och-vatten/information-om-buller-och-goda-ljudmiljoer/buller-beror-manga/> Hämtad 2019-10-07.
- [3] NATURVÅRDSVERKET RAPPORT 6890 Miljömålen – Årlig uppföljning av Sveriges nationella miljömål 2019 – Med fokus på statliga insatser. Reviderad version. ISBN 978-91-620-6890-5.
<https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-6890-5.pdf?pid=24788>
- [4] Regeringens proposition 2016/17:21 Infrastruktur för framtiden – innovativa lösningar för stärkt konkurrenskraft och hållbar utveckling.
<https://www.regeringen.se/4a8e11/contentassets/569a9026b427483fbfca847f66dd27e5/infrastruktur-for-framtiden--innovativa-losningar-for-starkt-konkurrenskraft-och-hallbar-utveckling-prop-20161721.-.pdf>
- [5] Alice Dahlstrand, Joakim Forsemalm, Karl Palmås, Det urbana stationssamhället Forsknings- och praktikeröversikt, Mistra Urban Futures Rapport 2013:3.
https://www.mistraurbanfutures.org/sites/mistraurbanfutures.org/files/det_urbana_stationssamhallet_-_forskning_och_praktikeroversikt_urbana_stationssamhallen.pdf
- [6] Salomons et.al. “Urban traffic noise and the relation to urban density, form, and traffic elasticity” *Landscape and Urban Planning* 108 (2012) 2– 16
- [7] Regeringens förordning (SFS 2015:216) om trafikbuller vid bostadsbyggnader, med Ändring införd: t.o.m. SFS 2017:359.
<http://rkrattsbaser.gov.se/sfst?bet=2015:216>
- [8] Trafikverket, Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 6.1.
https://www.trafikverket.se/contentassets/4b1c1005597d47bda386d81dd3444b24/asek-6.1/asek_6_1_hela_rapporten_180412.pdf
- [9] Naturvårdsverket (2019) Vem gör vad i bullerfrågan
<https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Buller/> Hämtad 2019-10-07
- [10] Boverket (2016). God ljudmiljö och akustisk design.
<https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/sa-planeras-sverige/planering->

[av-mark-och-vatten/information-om-buller-och-goda-ljudmiljoer/buller-i-planeringen/god-ljudmiljo-och-akustisk-design/](#) Hämtad 2019-10-07.

- [11] Novel solutions for quieter and greener cities
http://www.hosanna.bartvandraa.com/includes/upload/DELIVERABLES/HSN_NA_SUMMARY_BROCHURE_JANUARY_2013HQ.pdf
- [12] Kihlman T. Handlingsplan mot buller. SOU 1993:65
- [13] Urban Sound Planning – The SONORUS project, ISBN 978-91-639-1859-9.
<https://sonorusfp7.files.wordpress.com/2015/04/urbansoundplanning.pdf>
- [14] Environmental Noise Guidelines for the European Region, ISBN 978 92 890 5356 3, WHO 2018,
http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf?ua=1
- [15] Trafikverket, 2018, Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 6.1, Kapitel 10 Kostnad för buller.

Bilaga 1 Auralisering av rörliga källor

Bilagan finns på länken:

https://github.com/larssonkrister/Stationsnara/blob/master/RISE%20Rapport2019_93%20bilaga_1.pdf

Bilaga 2 Auralisering av åtgärder

Bilagan finns på länken:

https://github.com/larssonkrister/Stationsnara/blob/master/RISE%20Rapport2019_93%20bilaga_2.pdf

Bilaga 3 Inspelningar och mätningar

Bilagan finns på länken:

https://github.com/larssonkrister/Stationsnara/blob/master/RISE%20Rapport2019_93%20bilaga_3.pdf

Bilaga 4 Samhällsekonomiska nyttor och kostnader

Bilagan finns på länken:

https://github.com/larssonkrister/Stationsnara/blob/master/RISE%20Rapport2019%2093%20bilaga_4.pdf

Kalkylverktyg för bullernytta finns som excelark på länken:

<https://github.com/larssonkrister/Stationsnara/blob/master/Kalkylverktyg%20bullernytta%20Stationssamh%C3%A4llen.xlsx>

Beskrivning av beräkningsverktyget
 Detta är ett beräkningsverktyg som har tagits fram inom projektet "God ljudmiljö i stationssamhällen" i syftet till att på ett snabbt och enkelt sätt kunna beräkna nyttan vid en bulleråtgärd i ett stationssamhälle. Beräkningsverktyget har tagits fram med hjälp av typfallet Ytterby, som är ett stationssamhälle längs Bohusbanan i Kungälv kommun strax norr om Göteborg. För att använda beräkningsverktyget för en bulleråtgärd i ett annat stationssamhälle, fyll i antalet exponerade individer i bostadsmiljö för varje dB-nivå FÖRE åtgärden i kolumn B nedan, samt antalet exponerade individer i bostadsmiljö för varje dB-nivå EFTER åtgärden i kolumn E nedan (alltså de gråa fälten). Resultaten presenteras då till höger på kalkylbladet och ges av årlig total bullerkostnad, årlig bullernytta av åtgärden, samt total bullernytta vid antagen 40-årig livslängd. Alla beräknade nyttor/kostnader ges i SEK för prisår 2018. För antaganden och metod som ligger till grund för kalkylverktyget, se rapporten Benefits of noise measure in train commuting suburbs, https://swopec.hhs.se/vtiwps/abs/vtiwps2019_005.htm

Före åtgärd		Efter åtgärd	
dB	Antal exponerade	dB	Antal exponerade
50		50	
51		51	
52		52	
53		53	
54		54	
55		55	
56		56	
57		57	
58		58	
59		59	
60		60	
61		61	
62		62	
63		63	
64		64	
65		65	
66		66	
67		67	
68		68	
69		69	
70		70	
71		71	
72		72	
73		73	
74		74	
75		75	

Årlig bullerkostnad före åtgärd - ASEK	0
Årlig bullerkostnad efter åtgärd - ASEK	0
Årlig bullerkostnad före åtgärd - WHO	0
Årlig bullerkostnad efter åtgärd - WHO	0

Årlig bullernytta från åtgärden		Total bullernytta från åtgärden, antagen livslängd 40 år och kalkylränta 3,5%, båda enligt ASEK-rekommendationer	
ASEK	WHO	ASEK	WHO
0	0	0	0

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,200 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 200 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB
Box 857, 501 15 BORÅS
Telefon: 010-516 50 00
E-post: info@ri.se, Internet: www.ri.se

Byggteknik
RISE Rapport 2019:93
ISBN: