



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Visualisering och auralisering av buller i stadsmiljö

Downloaded from: <https://research.chalmers.se>, 2026-04-05 00:47 UTC

Citation for the original published paper (version of record):

Stahre Wästberg, B., Forssén, J., Thuvander, L. et al (2020). Visualisering och auralisering av buller i stadsmiljö. *Bygg & teknik*, 3: 8-12

N.B. When citing this work, cite the original published paper.

Visualisering och auralisering av buller i stadsmiljö



Figur 1: Visualisering av ljudsimuleringar i 3D. Bild från prototypverktöget DemoVirPEN.

Inom dagens stadsplanering används oftast 2D-kartor för att visa beräknade värden för framtida bullernivåer. Dessa kartor kan ibland vara svåra att tolka. För att öka förståelsen och underlätta kommunikationen mellan olika aktörer inom planeringsprocessen, har vi inom forskningsprojektet DemoVirPEN på Chalmers och Göteborgs universitet utvecklat en prototyp av ett verktyg för visualisering och auralisering (ljudsimulering) av buller från vägtrafik i en stadsmodell.

Varför behövs visualisering av effekter från framtida transportlösningar?

Omställningen av transportsystem påverkar samhället generellt och har stor inverkan på människors hälsa och hur urbana miljöer upplevs. För en framgångsrik omställning behöver en god urban miljö säkerställas för både utemiljöer och bostäder. Kvaliteten på den urbana miljön påverkas av olika miljö-

faktorer. I ett europeiskt perspektiv utgörs de viktigaste miljöfaktorerna av buller och luftföroreningar [1], där den dominerande källan är vägtrafik. I Sverige har vi satt upp mål för att minska buller och luftföroreningar men dessa bedöms i dagsläget inte kunna uppnås [2]. Exempelvis innebär en fossilfri vägfordonsflotta inte i sig en tyst miljö i och med att vibrationer i däck ger

ljudutstrålning, det vill säga däck-väg-buller, vilket dominerar vid högre hastigheter [3]. Dessutom har man identifierat att trafikbuller ger en betydande kvalitetssänkning av existerande stadsparker [4].

Att kunna visualisera scenarier av effekterna för olika transportlösningar i dialog mellan olika aktörer i stadsplaneringsprocessen ger ökad förståelse för hur olika lösningar påverkar miljön och människors hälsa. Detta kan i sin tur bidra till bättre beslut. I dagens stadsplanering används oftast 2D-kartor för att visualisera buller och luftföroreningar. Informationsinnehållet i dessa kartor kan ibland upplevas abstrakt och svårt att tolka. I forskningsprojektet Demo-VirPEN (En demonstrator för virtuell planering och scenarioanalys av osynliga miljöfaktorer med fokus på buller i staden) har vi fokuserat på hur 3D-visualisering och auralisering (ljudsimulering) av buller kan ge ökad förståelse för denna faktors inverkan på miljö och hälsa. Målet har varit att utveckla en prototyp till ett verktyg för virtuell planering och scenarioanalys där användaren kan röra sig i en visuell och auditiv 3D-miljö med visualisering av i första hand både momentana ljudnivåer och årsmedelvärden. Till ljudnivån har vi kopplat hälsoeffekter, som ökad risk för högt blodtryck eller sömnstörning. På sikt är verktyget även tänkt att kunna behandla andra miljöfaktorer som kvävedioxid, partiklar (PM10) och CO₂-utsläpp, och andra faktorer, till exempel transporteffektivitet, säkerhet, socioekonomiska effekter och komfortvärden som vind, sol och temperatur. De tänkta användarna av verktyget är beslutsfattare och andra aktörer inom stadsplanering men även boende och invånare i staden.

Att kunna visa miljöer i 3D är viktigt när man ska utvärdera mer komplexa situationer, som till exempel förtätningsprojekt. Genom visuellt mer detaljerad information, där man kan gå omkring i en 3D-modell, kan man ge en



Beata Stahre Wästberg
Data- och informationsteknik
Chalmers och Göteborgs Universitet



Monica Billger
Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Chalmers



Jens Forssén
Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Chalmers



Anders Logg
Matematiska vetenskaper
Chalmers och Göteborgs Universitet



Liane Thuvander
Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Chalmers



Fabio Latino
Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Chalmers



Figur 2A, B: Screenshots från 3D-modellen med delar av fallstudieområdet Gibraltarvallen. 3D-modellen är gjord i Unreal Engine och baseras på Stadsbyggnadskontorets planer för framtida byggnation.

bättre förståelse för till exempel hur buller upplevs på olika nivåer, och härigenom utvärdera olika designalternativ i en mer detaljerad skala.

En utmaning handlar om hur man i en 3D-stadsmodell kan visualisera abstrakta parametrar för att förstå och hantera komplexa problem i en planeringsprocess, som exempelvis miljöfaktorer. En speciell utmaning inom visualisering är hur man ska kunna visa dessa olika typer av parametrar samtidigt och hur symbolik och fotorealism kan användas i samma stadsmodell för att illustrera påverkan [5].

Vad är auralisering?

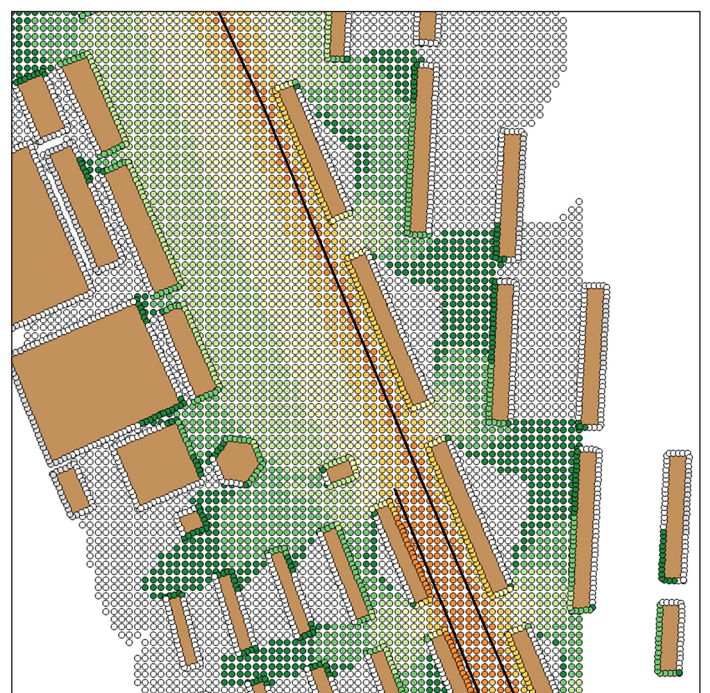
Auralisering kan ses som en teknik för att skapa hörbara ljudfiler från numeriska data eller processen att simulera en lyssningsupplevelse genom fysikalisk modellering av en miljö. Under senare decennier har det i stor utsträckning använts för rumsakustiska syften. Ett nyare användningsområde för auralisering är utomhusmiljöer med stort fokus på ljud från vägtrafik, vilket dominerar samhällsbullret. Att få en ljudupplevelse av en planerad miljö kan bli ett värdefullt verktyg inom beslutsfattande om transportkorridorer och kvaliteter i stadsområden, som ett komplement till användningen av 2D-bullerkartor med deras genomsnittliga, entaliga ljudnivåer. En stor utmaning ligger i insamlingen av indata för trafik och andra ljudkällor. Tidsmedelvärden för flödesdata för vägfordon finns ofta, men tillgången är i allmänhet dålig när det gäller fullstän-

dighet och uppdateringar. För auralisering krävs detaljerade tidsmönster för olika vägfordon, inklusive position, hastighet och motorbelastning. Sådan indata kan vara resultatet av kontinuerlig datainsamling på vägarna eller från mikroskopisk trafikmodellering med fältdata-uppdatering. Inspelningar tillsammans med intelligenta identifieringssystem kan användas för att både ge den akustiska källdatainsamlingen, och för att utvärdera andra miljöaspekter, så som sociala aspekter kopplade till upplevd säkerhet. Den auralisering vi gjort här baseras på den validerade metodiken beskriven i [6].

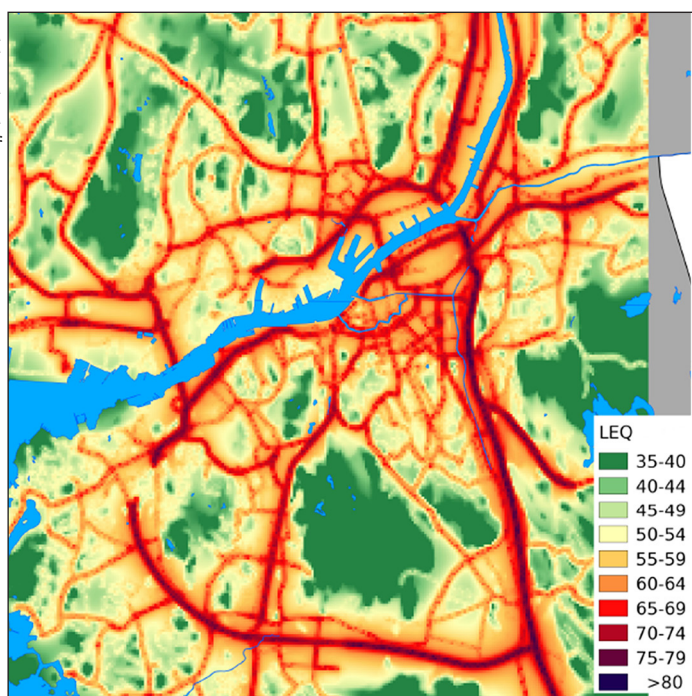
En prototyp för virtuella bullersimuleringar växer fram

I projektet DemoVirPEN har vi tagit fram och utvärderat olika designkoncept för visualisering av buller i en interaktiv 3D-stadsmodell, framförallt från ett gatuperspektiv. I verktyget kombineras sedan visualiseringen med auraliseringen av buller (urban ljudkvalitet). Prototypverktyget har skapats i spelmotorn Unreal Engine och är tänkt att kunna köras på en desktop. Här kan användaren röra sig virtuellt och variera olika bullerparametrar (trafikmängd, hastighet, fordonstyper, etcetera), varpå de resulterande bullernivåerna visualiseras (momentana nivåer och årsmedelvärden som kopplar till hälsa). Prototypen visar olika utomhusmiljöer i form av stationer, så som en innergård, en gatumiljö i en kvarterstad, en gatumiljö vid trafikled och grönområde. Inom varje station kan användaren röra sig virtuellt några steg, se sig omkring och uppleva miljön. Här kan användaren även utforska olika scenarios vidare, till exempel uppleva konsekvenserna från ett förbud av tunga fordon eller fossilfri fordonsflotta, och förstå att det ger skillnad i upplevd miljö.

För att ta fram och testa prototypen valdes ett fallstudieområde i centrala Göteborg, Gibraltarvallen, med befintliga och nya bostäder längs Gibraltarvallen. En 3D-modell av området togs fram, baserad på existerande geodata och planer för framtida byggnation i området från Stadsbyggnadskontoret, figur 2A, B. Med grund i den tidigare utvecklade auraliseringsmetodiken [6] gjordes ett första test för ett passerande fordon på Gibraltarvallen för en vald station



Figur 3: Preliminär bullerkarta för fallstudieområdet. Ljudnivåerna visas med färgsatta ytor på mark och fasader. Med hjälp av fasadnivåer kan man se förväntad hälsoeffekt samt vad man får lov att bygga.



Figur 4: Bullerkarta där en föreslagen standard-skala för EU [7] har använts.

nära gatan. Effekter av hur ljudet utbreder sig runt och över huskroppar (diffraktion) och hur ljudet reflekteras i fasader beräknades. Detta beräknades för att ändra styrkan på ljudet under fordonets passage, för den valda geometrin, fordonets typ och dess hastighet. Bland annat gjordes en beräkning av bullerexponering för fallstudieområdet inklusive nivåer i horisontella kartor (för höjden 1,5 m) och vertikala fasadnivåer se figur 3. Beräkningarna av auraliseringen och de tidsdynamiska horisontella bullerkartorna har baserats på en detaljerad modellering av utbredningen av ljud utomhus (till exempel [6]) och de årliga genomsnittliga fasadnivåerna är beräknade utifrån svensk standard (se till exempel [8]). Fasadens ljudnivåer är också kopplade till hälsoeffekter av buller. I videon visas staplar om detta. Data för hälsoeffekter av buller har beräknats med hjälp av modeller utvecklade vid Miljömedicin, GU [8].

Betydelsen av färg som informationsbärare

En utmaning när det gäller förståelse av en visualisering handlar om hur man kan kombinera olika bildspråk för olika typer av information i samma visualisering, som i det här fallet kombinationen av en 3D-modell av den byggda miljön och osynliga bullerdata. När man använder olika bildspråk, som till exempel symboler i en annars förhållandevis realistisk miljö, är det viktigt att arbeta med ett formspråk som skiljer mellan visuell realism och visuell icke-realism, bland annat genom en kunnig användning av

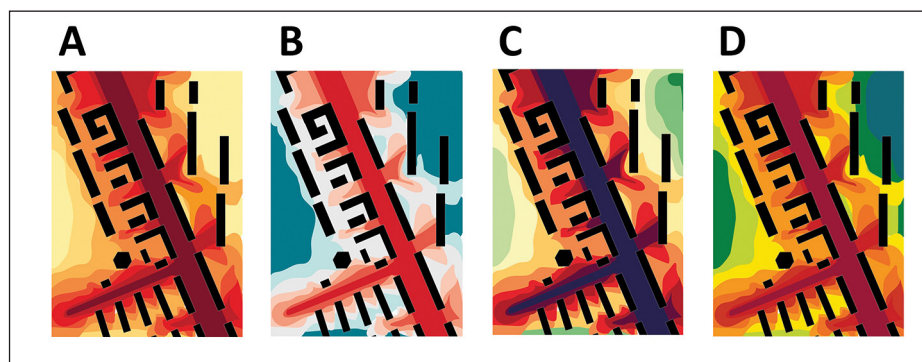
färger. Traditionellt spelar färg en central roll i kartografisk visualisering, då de färgval man gör har stor betydelse för användarens förståelse av innehållet. Det finns idag ingen standardiserad färgskala för bullernivåer. Vanligt förekommande är den så kallade regnbågsskalan, som brukar baseras på några färger i registret blått, grönt, gult och orange till rött, se figur 4. Det kan vara svårt att i en sådan skala intuitivt eller perceptuellt tolka färgernas inbördes ordning, jämfört med en palett som sträcker sig från en mörk till en ljusare färg. För personer från kulturer där olika färgerna har en annan betydelse, eller personer som har defekt färgseende kan dessa skalor feltolkas.

Arbetet med färgskalor i projektet

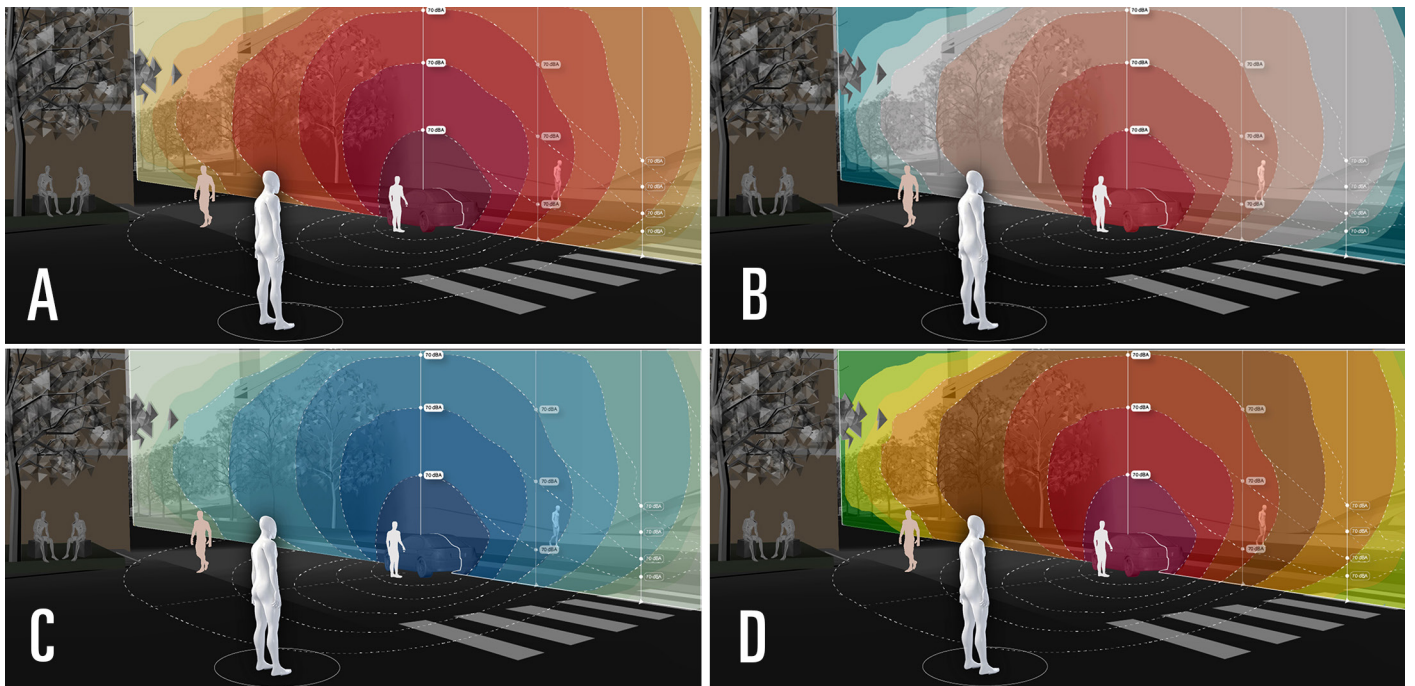
Under laborationerna med färgskalor togs flera exempel på två typer av skalor fram – dels skalor där färgerna går åt två håll (divergerande skala), dels skalor där omfattningen på kulörer är mer begränsad (sekventiell skala), se figur 5. De divergerande skalorna har tagits

fram för situationer när vi vill kunna visa gränsvärden. Där använder vi två kontrasterande kulörer som till exempel blått och rött. Den sekventiella skalan passar bättre då vill vi kunna visa värden som går från låga till höga decibel utan att lägga i någon värdering. Då kan det passa med en skala som är mer monokrom, och exempelvis går från ljusare till mörkare. I våra laborationer utgick vi från skalor hämtade från ColorBrewer (www.colorbrewer2.org/), som är ett online-verktyg för att välja funktionsdugliga färgscheman för kartor och annan grafik. Då vi alltid arbetar med transparens i skalorna upplevs färgerna i dem dock lite annorlunda. Vi behövde därför anpassa dem till att visuellt fungera i 3D-modellen, där skalan alltid påverkas av det som händer bakom och runt omkring den. I projektet tog vi fram några olika förslag på fungerande färgskalor. Sammanhanget är avgörande för hur en skala upplevs i 3D. Det finns alltså inte en färdig lösning, utan skalan måste anpassas beroende på hur modellen ser ut: om modellens färgsättning är mer dämpad eller monokrom kan man använda en mer färgstark skala. Om modellen däremot är färgglad behöver skalan kanske se ut på ett annat sätt, till exempel genom användning av mönster. Det handlar alltså om att skapa kontraster till den omkringliggande visualiseringen, och att hitta rätt kontraster så att de inte konkurrerar. Vi jobbar på att ta fram olika principer för detta.

Prototypen testades och utvärderades i fyra workshops med studenter från Chalmers, Göteborgs Universitet och YRGO (högre yrkesutbildning i Göteborg), se figur 5. Hur man upplever visuella aspekter, som preferenser för färgkartor och skillnader mellan hur färg uppfattas i 2D och 3D, undersöktes och diskuterades. Även olika koncept för att visualisera buller utvärderades, se figur 6A-D. Uppdatering av prototypen gjordes med hjälp av input från dessa workshops. Deltag-



Figur 5A, B, C, D: Fyra olika färgskalor utvärderades i workshops med studenter. Bild A visar en sekventiell skala från gult till rött. B visar en divergerande skala från blått till rött. C visar ett förslag till en EU-standardiserad regnbågsskala [7] från grönt till blått. D visar en modifierad regnbågsskala från blått till rött.



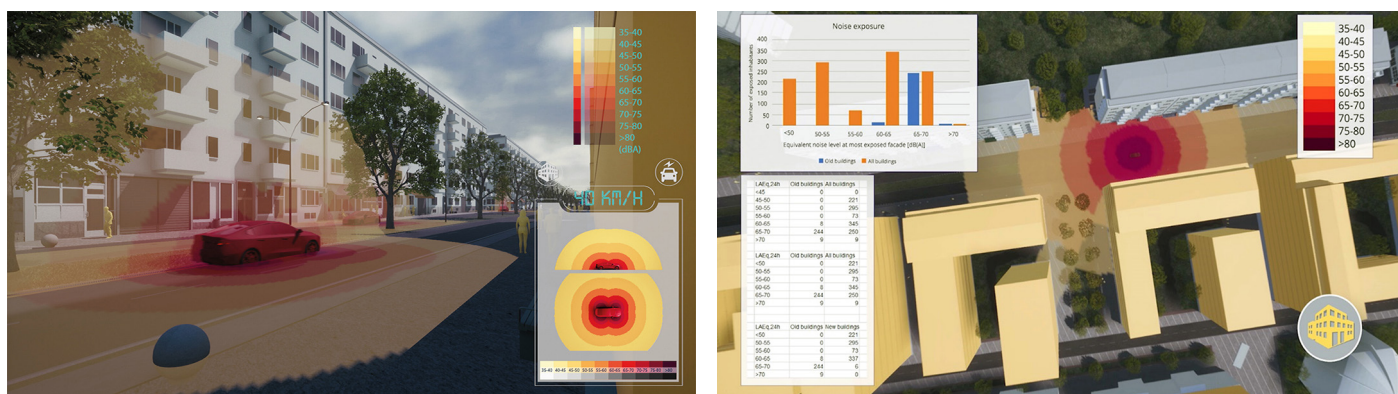
Figur 6A, B, C, D: Test av olika färgskalor för buller i modellen. Bild A visar en sekventiell skala från gult till rött, där gult symboliserar det svagaste bullerområdet och rött det starkaste. B visar en divergerande skala från blått (svagast) till rött (starkast), där gränsvärdet för buller är det ljusaste området i mitten. C visar en sekventiell skala från ljusare gulgrönt (svagast) till mörkare blått (starkast). D visar en modifierad regnbågsskala som går från grönt (svagast) till rött (starkast).

arna bekräftade att det var svårt att tolka regnbågsskalan, både i 2D och 3D. En av de färgskalor som visade sig fungera bäst i en 3D-visualisering enligt deltagarna, och som vi tillslut valde att använ-

da i projektet, visas i *figur 6A* (anpassad från ColorBrewer). Prototypverktyget färdigställdes och en video med showcase producerades, vilken nu finns tillgänglig på YouTube, se *figur 7A, B*).

Koppling till digital tvilling

Projektet DemoVirPEN är kopplat till projektet VirtualCities@Chalmers som nu är integrerat i det nya nationella kompetenscentret Digital Twin Cities



Figur 7A, B: Bilder från prototypverktöget. Bild A visar hur ljudet upplevs av en passerande bil i 40 km/h. B visar fördjupad information för trafik längs Gibraltar gatan (färgskalan anger ljudnivå i decibel).

Centre (DTCC). DTCC kommer inom åtta olika forskningsområden att täcka in alla de aspekter som krävs för att utveckla digitala tvillingar i stor skala, och utnyttja de möjligheter detta ger för arkitektur, stadsbyggnad och byggande med digitalt stöd. Ett särskilt fokus ligger på kunskapsöverföringen till näringsliv och offentliga aktörer, i syfte att stärka Sveriges roll i digitaliseringen och utvecklingen av samhällsbyggnadssektorn. Centret utvecklar konceptet digitala tvillingar för städer genom att modellera och simulera staden som ett komplext multifysiksystem baserat på realtidsdata. En virtuell öppen plattform håller på att byggas där olika sorters data integreras i en stadsmodell för att simulera och visualisera varierande aspekter av stadens liv. DTCC utnyttjar kompetens som finns på Chalmers inom modellering, simulering och visualisering av städer och kombinerar områden arkitektur, teknik, matematik och datavetenskap, med erfarenhet och aktuella utmaningar från 30 partner från näringsliv och kommuner.

Utblick

Genom att skapa ett verktyg för både visualisering och auralisering av urban ljudkvalitet kan vi bidra till att göra information om buller tillgänglig för planerare och andra målgrupper. Fördjupad förståelse bland aktörer inom stadsbyggnad kan påverka policys och lagar, och allmänt ökad förståelse kan ytterligare påverka beteenden. Att kunna visualisera scenarior för olika transportlösningar i dialoger mellan planeringsprocessens olika aktörer ger också ökad förståelse för lösningarnas påverkan på miljön och människors hälsa. Dialogverktyg kan därmed bidra till bättre underbyggda beslut och på så sätt stödja omställningen till ett effektivt, miljövänligt och säkert transportsystem.

Syftet med prototypen är att visa vad som är möjligt att visualisera, och mycket kvarstår innan vi kan ha ett

användbart verktyg på plats. För detta behövs en större automatisering av 3D-rendering och auralisering, samt en validering av dessa processer. Förutom buller finns behov av att kunna behandla andra faktorer som relaterar till exempelvis luftkvalitet och växthusgaser, och även till transporteffektivitet, säkerhet, socioekonomiska effekter och komfortvärden som vind, sol och temperatur. ■

Läs mer:

Youtube-video till DemoVirPEN: www.youtube.com/watch?v=-4btcZW-g1c
 Mer om Digital Twin Cities Center: www.dtcc.chalmers.se

Referenser

- [1] *Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe.* WHO, 2011.
- [2] *Miljömålen – Årlig uppföljning av Sveriges*

miljökvalitetsmål och etappmål 2017. www.miljomal.se

- [3] *Skapa goda ljudmiljöer. Handbok i trafikbullerskydd.* SKL 2017.
- [4] Nilsson, N., Berglund, B. (2016) *Soundscape quality in suburban green areas and city parks.* Acta Acustica – Acustica 92 (6), 903-911, 2006.
- [5] Stahre Wästberg B, Billger M, Forssén J, Holmes M, Jonsson P, Sjölie D & Wästberg D (2017), *Visualizing environmental data for pedestrian comfort analysis in urban planning processes.* Proc CUPUM 2017 - 15th Int Conf Comput Urban Plan Urban Manag. 2017.
- [6] Forssén, J., Hoffmann, A., Kropp, W. (2018), *Auralization model for the perceptual evaluation of tyre-road noise.* Appl Acoust. 2018;132.
- [7] Alberts, W.I., & Alférez, J.R. (2012). *The use of colours in END noise mapping for major roads.* In: European Acoustic Association, EURONOISE 2012
- [8] Ögren M, Molnár P, Barregard L.(2018) *Road traffic noise abatement scenarios in Gothenburg 2015 – 2035.* Environ Res. 2018 Jul 1;164:516–21.

Faktaruta för projektet DemoVirPEN:

Fokus:

- Buller (auralisering)
- Tidsdynamiska rutnätskartor för buller (visualisering)
- Fordonsföljande direkta bullernivåer (visualisering)
- Årliga genomsnittliga bullernivåer, kopplade till hälsoeffekter (visualisering)

Projektperiod: 1 mars 2018 – 31 dec 2019

Medverkande:

Jens Forssén, Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, Teknisk Akustik
Mikael Ögren, Göteborgs Universitet, Medicin, Samhällsmedicin och folkhälsa
Vasilis Naserentin, Matematiska vetenskaper, Tillämpad matematik och statistik
Fabio Latino, Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, Stadsbyggnad
Beata Stahre Wästberg, Data- och informationsteknik, Interaktionsdesign
Monica Billger, Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, Arkitektens Teori och Metod
Patrik Höstmad, Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, Teknisk Akustik
Michael Heron, Data- och informationsteknik, Interaktionsdesign
Orfeas Eleftheriou, Matematiska vetenskaper, Tillämpad matematik och statistik
Luís Almeida, Frilans, Digital Twin Cities Centre

Projektledare och kontaktperson: *Jens Forssén*, jens.forssen@chalmers.se

Finansiär:

Chalmers Styrkeområde Transport, www.chalmers.se/en/areas-of-advance/Transport