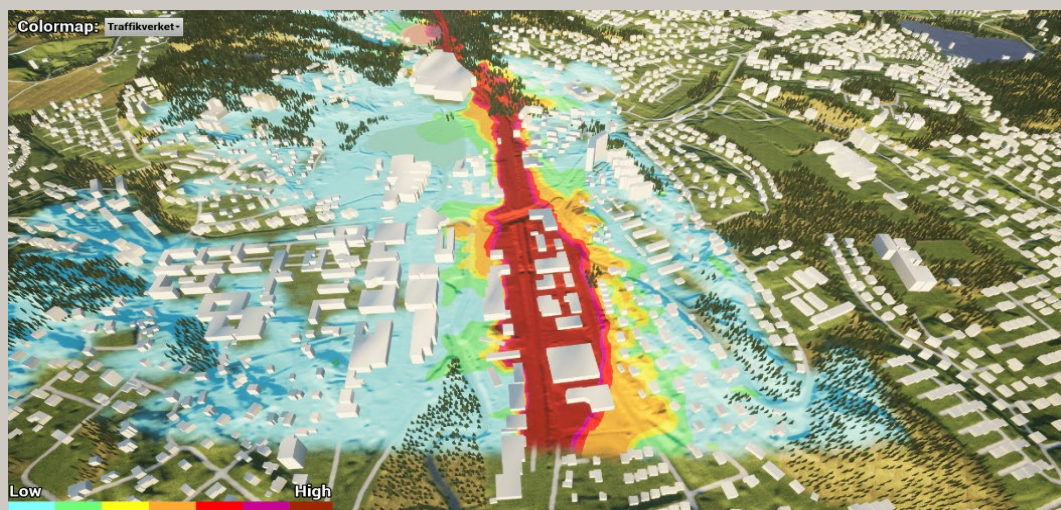
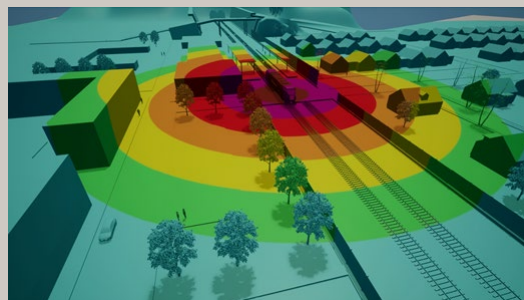
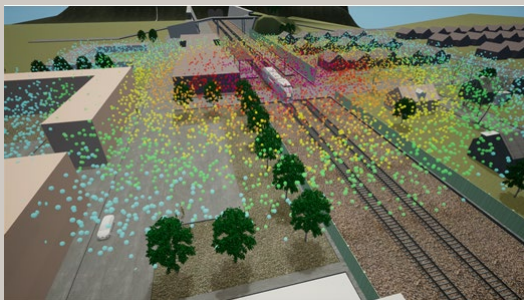


RAPPORT

MiljöVis:

Effektiv representation av miljödata i digitala modeller



Trafikverket

Postadress: 405 33 Göteborg

E-post: trafikverket@trafikverket.se

Telefon: 0771-921 921

Dokumenttitel: MiljöVis: Effektiv representation av miljödata i digitala modeller

Författare: Beata Stahre Wästberg, Monica Billger, Liane Thuvander, Fabio Latino, Sanjay Somanath, Susanne van Raalte

Dokumentdatum: 2021-09-30

Ärendenummer: 7084

Version: 1.0

Kontaktperson: Susanne van Raalte

Innehåll

Sammanfattning.....	6
Förord.....	8
Medverkande i projektet.....	9
Förkortningar.....	10
Introduktion	11
Bakgrund och utmaningar.....	11
Syfte, mål och frågeställningar.....	12
Målgrupp.....	13
Projektets genomförande och avgränsningar.....	13
Begrepp.....	14
Metod och material	16
Inventering.....	17
Prototyper för visualiseringsplattformar	18
Sandlådemodell.....	18
Storskalig modell.....	20
Designkoncept.....	21
Färgskalor	21
Formspråk	23
Detaljeringsnivå.....	28
Informationsnivåer (informationsrutor)	28
Dimension	30
Rörelse och perspektiv.....	30
Symboler	31
Arbetsflöde för utveckling av designkoncept	34
Användartester	35
Uppvärmning: Rollspel och visualiseringskompetenser	37
Färgseende och färgförståelse	38
Olika sätt att representera miljödata.....	40
Analys av material.....	42
Återkoppling.....	45

Resultat.....	46
Inventering - Kartläggning av representation av miljödata i digitala modeller	46
Designkoncept.....	48
A. Föreslagen standardskala buller inom EU.....	50
B. Skala som Trafikverket ska använda enligt direktiv ("Trafikverket-skalan")	52
C. Sekventiell skala från ljus till mörk.....	53
D. Divergerande skala för avvikande färgseende.....	55
E. Sekventiell skala med ökad färgmättnad	56
F. Sekventiell skala från transparent till opak.....	57
G. och H. Förkortade skalor (över och under gränsvärde).....	59
Jämförelse av olika heatmaps för avvikande färgseende	60
Formspråk: Heatmaps och punktmoln.....	60
Informationsnivåer (informationsrutor)	61
Rörelse och perspektiv	63
Symboler	65
Scenarier	68
Detaljeringsnivå.....	69
Detaljeringsnivå på modellen	69
Detaljeringsnivå på miljödata (volymetrisk visualisering).....	69
Utveckling av prototyp för storskalig modell.....	70
World creation	70
Terräng.....	71
Vegetation.....	72
Vägar	72
Landskapsintegrering.....	73
Byggnader	74
Procedurellt landskapsmaterial	74
Applisering av färgskalor i storskalig modell.....	75
Diskussion och slutsatser.....	77
Representation av miljödata	77
Utformning av visualiseringskomponenter.....	79
Färgskalor	79
Formspråk: Heatmaps och punktmoln.....	80
Informationsnivåer (informationsrutor)	81
Rörlighet och möjlighet till interaktivitet.....	81
Detaljeringsnivå.....	81

Symboler och scenarier	82
Olika syften och olika målgrupper	82
Rekommendationer	83
Utblick framåt	85
Referenser	86
BILAGA 1	88
Projektpublikationer	88
BILAGA 2	89
Lista på aktiviteter.....	89

Sammanfattning

En av de stora utmaningarna för infrastrukturplanering idag handlar om hur man samlar, hanterar och kommunicerar stora mängder data. Olika typer av miljöparametrar, såsom luftkvalitet och buller, samt sociala aspekter, påverkas vid nybyggnation av infrastruktur och bebyggelse, och bör beaktas som viktiga aspekter i utformningen av nya miljöer. Samtidigt är dessa parametrar svåra att visa på ett begripligt sätt och dess konsekvenser kan vara svåra att greppa för olika målgrupper. Effektiv visualisering gör att man inkluderar och skapar samsyn bland intressenterna i planeringsprocessen och på så sätt bidrar till en helhetssyn och därmed hållbarare lösningar. Trafikverket hanterar olika miljöparametrar i så kallade samordningsmodeller vilka visar ett stort landskapsområde i en översiktlig skala, där man samlar all data kopplat till ett projekt. Idag saknas det dock riktlinjer för hur data ska koordineras och standardiseras i dessa modeller.

Den här slutrapporten beskriver projektet *MiljöVis - Effektiv representation av miljöinformation i infrastrukturmodeller* vars syfte har varit att utveckla ny kunskap om hur Trafikverkets samordningsmodeller kan bli ett effektivare och tydligare kommunikationsmedel och kvalitetsverktyg, genom utveckling av olika konceptuella lösningar för integrering av miljödata. Ett mer specifikt syfte har varit att, i dessa modeller, enklare kunna förutse effekter av olika åtgärder och kunna integrera olika typer av effekter, till exempel bullersimuleringar och sociala aspekter, i en och samma modell. Projektet vänder sig främst till Trafikverkets specialister och samhällsplanerare, samt forskare inom visualiseringsområdet.

Följande frågeställningar har varit i fokus:

- Hur kan man representera osynliga parametrar som olika typer av miljödata i samordningsmodeller på ett begripligt sätt?
- Hur påverkar utformningen av olika visualiseringskomponenter uppfattningen av miljödata i en 3D-modell, och hur kan dessa ge förståelse för hur platsen kommer att upplevas?
- Vad krävs av en 3D-visualisering för att fungera för olika syften och målgrupper?

Projektet har bestått av 3 delar:

- *En inventering* har gjorts av representation av miljödata i digitala modeller, där vi sammanställt relevanta projekt inom miljöområdena buller, luftkvalitet, sociala konsekvenser, samt hur man arbetar med visualiseringskomponenter inom miljöområdena och i utvecklingen av digitala tvillingar för städer.
- *Modellutveckling* har skett i form av en storskalig prototyp och en skissmodell som "sandlåda", båda implementerade i spelmotorn i Unreal Engine.
- *Konceptutveckling* av olika visualiseringslösningar har genomförts med fokus på färgval, formspråk, objekt- och symboler, samt detaljerings- och informationsnivåer. Dessa har prövats i en serie användartester med ca 200 studenter på Chalmers och i fokusgruppsdiskussioner med Trafikverkets specialister.

Inventeringen visade att färgskalor och heatmaps är det vanligaste sättet att visualisera miljödata. Vi valde därför att utgå från detta när olika lösningar testades. Dessutom la vi till punktmoln då denna typ av visualisering visar information i både x,y och z-led.

Användarstudierna visade att det kan behövas mer än en färgskala för visualisering av buller i 3D. Behoven av en viss färgskala kan variera beroende på vilken målgrupp man vänder sig till men också bero på att antalet steg man vill visa kan variera. Den här rapporten ger förslag på färgskalor och möjliga anpassningar efter målgruppers behov.

Sammanfattningsvis fungerade draperade heatmaps bättre för lägesbeskrivning och för att initialt ge förståelse för den övergripande bullersituationen på en plats, medan den mer detaljerade volymetriska visualiseringen bättre lämpar sig för att kunna visa värden på en specifik punkt i rummet.

Resultat från projektet visade att rörlighet och möjlighet till interaktion gör visualiseringen tydligare och lättare att förstå. Det visades i den positiva responsen för de exempel i studien där det fanns en dynamik inbyggd, antingen för en ljudkälla som förflyttade sig genom landskapet, eller för interaktion med datan via en informationsruta. Att kunna visa scenarier är en av de stora fördelarna med att kunna visa information i 3D-modeller. Diskussionen angående scenarier lyfte fram behovet av och problematiken kring att kunna kombinera flera miljöområden, samt behovet att kunna visualisera olika scenarier och konsekvenser.

Användarstudierna visade tydligt att olika lösningar är bra för olika syften och målgrupper. En effektiv visualisering gör att man kan inkludera och skapa samsyn bland intressenterna i planeringsprocessen och på så sätt bidra till en helhetssyn och därmed hållbarare lösningar. Rapporten avslutas med rekommendationer för Trafikverket som avser:

- anpassning av visualiseringen utifrån syfte och målgruppers behov av information
- utveckling av samordningsmodeller med hög grad av interaktivitet för effektiv och pedagogisk kommunikation
- utveckling av metoder för att visa flera parametrar samtidigt
- utveckling av standarder för representation av data när det gäller visualiseringskomponenter.

Förord

Effektiv visualisering gör att man kan inkludera och skapa samsyn bland intressenterna i planeringsprocessen och på så sätt bidra till en helhetssyn och därmed hållbarare lösningar. Projektet *MiljöVis - Effektiv representation av miljöinformation i infrastrukturmodeller* är ett samarbete mellan Chalmers/Digital Twin Cities Centre och Trafikverket, som syftar till att utveckla metoder för att representera miljödata i Trafikverkets samordningsmodeller. I projektet har olika koncept för visualiseringslösningar utvecklats som sedan undersökts i en serie användartester. För att kunna demonstrera olika visualiseringslösningar i Trafikverkets samordningsmodeller ingick utveckling av ett arbetsflöde för att generera digitala tvilling-modeller och visualisera storskaliga data. Utifrån detta har vi utvecklat rekommendationer för implementering av visualiseringar, vilka redovisas i den här rapporten.

I rapporten ingår en stor mängd bildmaterial från användarstudiernas, som här används främst som illustrationer. Skulle någon vilja ta del av detta material, var vänlig kontakta rapportförfattarna.

Medverkande i projektet

Trafikverket:

Susanne van Raalte, verksamhetsområde Stora projekt, Avd. Teknik, Miljö & Fastighet

Chalmers/Digital Twin Cities Centre (DTCC):

Beata Stahre Wästberg (projektledare), Inst. för Data- och Informationsteknik / DTCC

Monica Billger, Inst. för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik / DTCC

Liane Thuvander, Inst. för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik / DTCC

Vasilis Naserentin, Inst. för Matematiska vetenskaper / DTCC

Orfeas Eleftheriou, DTCC

Fabio Latino, Chalmers Industriteknik / DTCC

Sanjay Somanath, Inst. för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik / DTCC

Referensgrupp:

Trafikverket:

Frida Angelöw, verksamhetsområde Planering, Avd. Transportkvalitet och enhet Hälsa

Maria-Luisa Botella-Botella, verksamhetsområde Stora projekt, Avd. Teknik, Miljö & Fastighet

Karin Blidberg, Nationell samordnare buller och vibrationer

Chalmers/Digital Twin Cities Centre (DTCC):

Mattias Roupé, Inst. för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik / DTCC

Bernd Ketzler, koordinator DTCC

Jens Forssén, Inst. för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik, Teknisk Akustik / DTCC

Förkortningar

2D	Tvådimensionell
3D	Tredimensionell
AR	Augmented Reality
BIM	Byggnadsinformationsmodellering (Building Information Modelling)
DTCC	Digital Twin Cities Centre
DTM	Digital terrängmodell (Digital Terrain Model)
FME	Feature Manipulation Engine (programvara)
GIS	Geografiska Informationssystem (Geographical Information System)
MKB	Miljökonsekvensbeskrivning
SKA	Social konsekvensanalys
UI	User Interface (användargränssnitt)
VR	Virtual Reality

Introduktion

Trafikverket hanterar miljöparametrar i så kallade samordningsmodeller, vilka visar stora landskapsområden. I samordningsmodellerna samlar Trafikverket en stor del av all data kopplat till ett projekt. Det saknas idag riktlinjer för hur miljödata ska visas och standardiseras i dessa modeller. Den här slutrapporten sammanfattar resultat från projektet *MiljöVis - Effektiv representation av miljöinformation i infrastrukturmodeller* vars syfte har varit att utveckla ny kunskap om hur Trafikverkets samordningsmodeller kan bli ett effektivare och tydligare kommunikationsmedel och kvalitetsverktyg.

Bakgrund och utmaningar

Simulering och visualisering av framtida scenarier används alltmer i syfte att stödja urban planering. En av de stora utmaningarna för infrastrukturplanering idag handlar om hur man samlar, hanterar och kommunicerar stora mängder data, inte minst avseende miljöfrågor. Olika typer av miljöparametrar, såsom luftkvalitet, buller och sociala aspekter är centrala för hur vi uppfattar vår omgivning och för vårt välbefinnande. Dessa parametrar påverkas vid nybyggnation av infrastruktur och bebyggelse, och bör beaktas som viktiga aspekter i utformningen av nya miljöer. Samtidigt är dessa osynliga parametrar svåra att representera på ett visuellt begripligt sätt och kan vara svåra att greppa för olika målgrupper (Stahre Wästberg et al, 2017). En utmaning för att visualisera data handlar om att kombinera data som har olika format och kommer från olika källor, såsom statistik, mätningar, observationer, frågeformulär, 2D- eller 3D-representationer (skisser, ritningar etc), röstinspelningar och sensorer (Billger et al, 2017). En annan utmaning är att kunna visa flera olika parametrar simultant i en modell (Kyttä et al, 2013, Stahre Wästberg et al 2020). En speciell utmaning är hur man visuellt kan kombinera fotorealism och symbolik i samma 3D-modell (San José et al, 2011; Stahre et al, 2008; Stahre Wästberg et al, 2017). Genom att visualisera data i rumsliga 3D-modeller kan man förmedla en bättre förståelse för olika miljöaspekter på en viss plats. Man kan visa scenarier och konsekvenser och visa information som inte är synlig i verkligheten. Härigenom kan man öka förståelsen för abstrakta företeelser, och skapa bättre beslutsunderlag. Att kunna visa information ur ett gatuperspektiv är viktigt för att utvärdera mer komplexa situationer, såsom förtätningsprojekt (Yuan & Ng, 2012). Utmaningar handlar om att förmedla budskapet på ett sätt som maximerar förståelsen och minimerar risken för feltolkning, samt olika trender för visualisering och analysmetoder (Pack, 2010).

Idag krävställer Trafikverket samordningsmodeller för att bland annat tydliggöra samband mellan olika teknik- och miljöområden. Tanken är att visualisering av information i modellen ska ge ett bättre beslutsunderlag. Modellen ger därmed en helhetssyn som gör att alla aspekter och värden kan beaktas. En rumslig 3D-modell visar den befintliga miljön (byggnader, landskap mm). Till denna gemensamma modell levererar olika teknikområden (el, konstruktion, installation m fl) sin information, alla med sina olika sätt för hur man representerar data. Förutom den fysiska infrastrukturen i modellen kan man också koppla annan information som till exempel socioekonomiska data och miljödata. När information kopplas ihop i modellen måste den kunna representeras på ett begripligt sätt, för att underlätta förståelse, tolkning, orientering, kommunikation och dialog. Dagens samordningsmodeller är tunga och svårhanterbara. Datas mångfald och komplexitet kan vara ett problem när det handlar om att skapa en optimal användarupplevelse. Variationen på slutanvändares bakgrund och kompetens skapar dessutom behov av en robust och intuitiv användarinteraktion som kan hanteras med liten eller ingen träning.

Det finns ett ökat behov att kunna visa framtida effekter av infrastrukturen, alltså data som produceras i simuleringar och analyser av olika slag. Till exempel behöver man testa modeller för avvägning av målkonflikter vid byggande gentemot olika miljö- och hälsomål. Trots vikten av en väl genomtänkt design för hur data ska visas i framtagningen av samordningsmodeller saknas ofta kunskap om just detta, och det finns dessutom inga standarder att förlita sig på. Idag finns heller inga tydliga krav på vilken miljödata som ska visas i modellen, varje leverantör tolkar kraven olika, vilket innebär att modellerna varierar i omfattning och framställning. Specialisterna måste lägga tid på att tolka och förstå modellerna varje gång en ny leverantör kommer in. Det innebär, då modellerna ser olika ut, att det blir svårt att kvalitetssäkra och ta fram effektiva och automatiserade arbetssätt. Det finns därför ett stort behov av att fastställa vilka objekt, vilken detaljeringsnivå och vilken information som skall vara med i samordningsmodellen. Information om osynliga värden behöver representeras på ett tydligt och begripligt sätt med hjälp av standardiserade val avseende färger och symboler.

När man använder olika visuella stilar, som symboliska objekt eller bilder i en annars visuellt fotorealistisk miljö, är det viktigt att arbeta med ett designspråk som skiljer mellan visuell realism och visuell icke-realism, till exempel genom en genomtänkt användning av färger (Stahre Wästberg et al, 2017; Stahre et al, 2008). Traditionellt spelar färg en viktig roll i kartografisk visualisering (Bláha & Štěrba, 2014; Borland & Taylor, 2007). Beroende på målgrupp är kulturella eller naturliga associationer av specifika färger också viktiga att ta hänsyn till (Grainger et al, 2016), inklusive avvikande färgseende¹, vilket drabbar ca 8% av den manliga och ca 0,4% av den kvinnliga befolkningen i världen (Rigden, 1999).

Syfte, mål och frågeställningar

Projektet *MiljöVis - Effektiv representation av miljöinformation i infrastrukturmodeller* har syftat till att utveckla ny kunskap om hur komplexa objektorienterade informationsmodeller, här benämnda samordningsmodeller, kan bli ett effektivare kommunikationsmedel och kvalitetsverktyg. Projektet har också syftat till att utveckla nya visualiseringslösningar för integrering av miljödata. Ett mer specifikt syfte har varit att, i dessa modeller, enklare kunna förutse effekter av olika åtgärder och kunna integrera olika typer av osynliga effekter, till exempel bullersimuleringar och hälsoeffekter, i en och samma modell.

Sammanfattningsvis har MiljöVis syftat till att:

- utveckla metoder för att representera miljödata i Trafikverkets samordningsmodeller
- utveckla olika konceptuella lösningar som utvärderats i användartester
- testa lösningar i ett av Trafikverkets investeringsprojekt samt utveckla specifikationer för implementering

Effektiv visualisering gör att man inkluderar och skapar samsyn bland intressenterna i planeringsprocessen och på så sätt bidrar till en större helhetssyn och därmed hållbarare lösningar. Det övergripande målet med projektet har varit att förbättra och tydliggöra representationen av information i samordningsmodellerna och därigenom skapa effektivare

¹ Personer med avvikande färgseende uppfattar färgerna på ett annat än personer med normalt färgseende. De flesta personer med avvikande färgseende har defekter i det röd-gröna seendet. (Rigden, 1999)

beslutsunderlag och bidra till enklare kvalitetssäkring under planerings- och byggprocessen. Slutmålet har varit en tydligare kravställning, förslag på användning av objekt- och symboler, färgscheman samt detaljerings- och informationsnivåer för miljödata.

Följande frågeställningar har varit i fokus:

- Hur kan man representera osynliga parametrar som miljödata i samordningsmodeller på ett begripligt sätt?
- Hur påverkar utformningen av olika visualiseringskomponenter uppfattningen av miljödata i en 3D-modell, och hur kan dessa ge förståelse för hur platsen kommer att påverkas av föreslagna förändringar?
- Vad krävs av en 3D-visualisering för att fungera för olika syften och målgrupper?

Projektet har bidragit till Trafikverkets målområden *En effektivare planeringsprocess* och *Stärkt samverkan i samhällsutvecklarrollen*. Projektresultat förväntas bidra till att förbättra förmågan att förutse effekter av åtgärder, samt leda till ökad produktivitet genom enklare kvalitetssäkring och bättre beslutsunderlag.

Målgrupp

Målgruppen för rapporten är främst Trafikverkets specialister och samhällsplanerare, samt forskare inom visualiseringsområdet. Resultatet av projektet avses i slutändan att gagna kommunikation med en berörd allmänhet.

Projektets genomförande och avgränsningar

Projektet startade 1 januari 2020 och pågick fram till 30 april 2021. Den totala arbetstiden i projektet var ca 2100 timmar, vilket fördelas under 16 månader. Det behövdes tid för att kunna ha ett iterativt arbetssätt i samverkan med olika forskare och organisationer, samt för att ordna användartester, intervjuer och demonstrationer i Trafikverkets projekt. På grund av pandemin COVID-19 var det nödvändigt att genomföra projektet på distans.

Trafikverkets planerings- och designprocess består av flera olika skeden (se Stahre Wästberg et al, 2021 s.11). Det här projektet fokuserade på det tidiga planeringsskedet *Lokaliseringsutredning*, i vilket samordningsmodellen etableras och miljöaspekter har som störst påverkan.

Vi studerade miljödata utifrån Trafikverkets definierade miljöområden och miljösäkringsområden, där vi valde att fokusera på miljöområdena buller, luftkvalitet och social hållbarhet. Alla tre områden behandlades initialt i projektet men fördjupade studier med prototyputveckling har fokuserat på buller.

Definierade utvärderingskriterier, från två pågående lokaliseringsskeden i Trafikverket (Nya stambanor; Göteborg-Borås och Hässleholm-Lund), har legat till grund för att påvisa prioritering och behov av indata vad gäller miljödata i planeringsskedet. För att ytterligare tydliggöra behovet av visualisering av miljödata hänvisas till Trafikverkets rapport *Visualisering av inspektionshandlingar i 3D* (Ek, 2018). Den behandlar skedet drift och underhåll men är relevant även för tidiga skeden. Rapporten från förstudien ingick därför i

MiljöVis som referensmaterial, liksom Vägverkets och Riksantikvarieämbetets projekt Visualisering av kulturmiljö i vägplanering (Frisk et al, 2006).

MiljöVis har länkats till pågående forskning på Chalmers och till kompetenscentret Digital Twin Cities Center². MiljöVis har också samverkat med och delvis finansierats av projektet *SCENDA - Scenario visualization of environmental data in compact cities*, som var ett parallellt pågående såddprojekt (pilotprojekt för nya forskningsområden) inom styrkeområdet Informations- och kommunikationsteknik på Chalmers. SCENDA hade som syfte att pröva olika designkoncept för visualisering av buller och luftdata.

Begrepp

Nyckelbegrepp i rapporten är visualisering, miljödata, volymetrisk visualisering, punktmoln, sfärer, färg och kulörton och ljushet.³

Vi använder termen visualisering i vid bemärkelse. Termen omfattar här exempelvis digitala verktyg och tillvägagångssätt som baseras på exempelvis 2D-/3D-visualiseringar, olika former av geovisualisering (dvs georefererade rumsliga data), samt informationsvisualisering som kan implementeras i Virtual Reality (VR)- och Augmented Reality (AR)-miljöer.

Miljödata definieras i Strategi för miljödatahantering, version 1.03 (Naturvårdsverket, Havs- och vattenmyndigheten och länsstyrelserna, 2019) som “sådan miljöinformation som har en strukturerad form lämpad för överföring, tolkning och bearbetning av maskiner. Miljödata kan sedan utgöra underlag för att skapa miljöinformation såsom diagram, rapporter, kartpresentationer, indikatorer, informationsfilmer mm., dvs information om:

1. miljön och faktorer som kan påverka miljön, och
 2. hur människors hälsa, säkerhet och livsvillkor samt kulturmiljöer och byggnadsverk kan påverkas av miljön eller av sådana faktorer som kan påverka miljön.”
- (Naturvårdsverket, Havs- och vattenmyndigheten och länsstyrelserna, 2019)

Volymetrisk visualisering definierar vi som en grafisk representation av en datamängd angiven i ett tredimensionellt rutnät (MathWorks, 2021). I vår inventeringsrapport (Stahre Wästberg et al, 2021, s.20) definierar vi ett tredimensionellt volymetriskt objekt som “ett objekt med tre dimensioner: en längd, en bredd och en höjd. Inom visualisering är objekten tomma skal, vars sidor består endast av utsida. Volymetriska objekt inkluderar exempelvis sfär, kub, pyramid, kon, prisma, cylinder”.

Ett *punktmoln* kan definieras som en uppsättning punkter inom ett tredimensionellt område för att definiera en tredimensionell form eller ett objekt. Varje punkt är positionerad på en fast punkt i rummen med en angiven X, Y och Z-koordinat (Tech27, 2018).

En *voxel* (en volymetrisk pixel eller ett volymetriskt bildelement) kan definieras som en tredimensionell motsvarighet till en pixel (Chmielewski & Tompalski, 2017). Prado (2019) definierar voxelmodellering som en standardmetod inom geometrisk modellering vilken tillämpas för både heterogen och volymetrisk rumsanalys. Individuell och kombinerad

² <https://dtcc.chalmers.se/>

³ Beskrivning av begreppen visualisering, miljödata och volymetrisk visualisering är hämtade från s 7 och s 20 i vår inventeringsrapport Att synliggöra det osynliga - Kartläggning av representation av miljödata i digitala modeller (Stahre Wästberg et al, 2021), en delrapport i projektet.

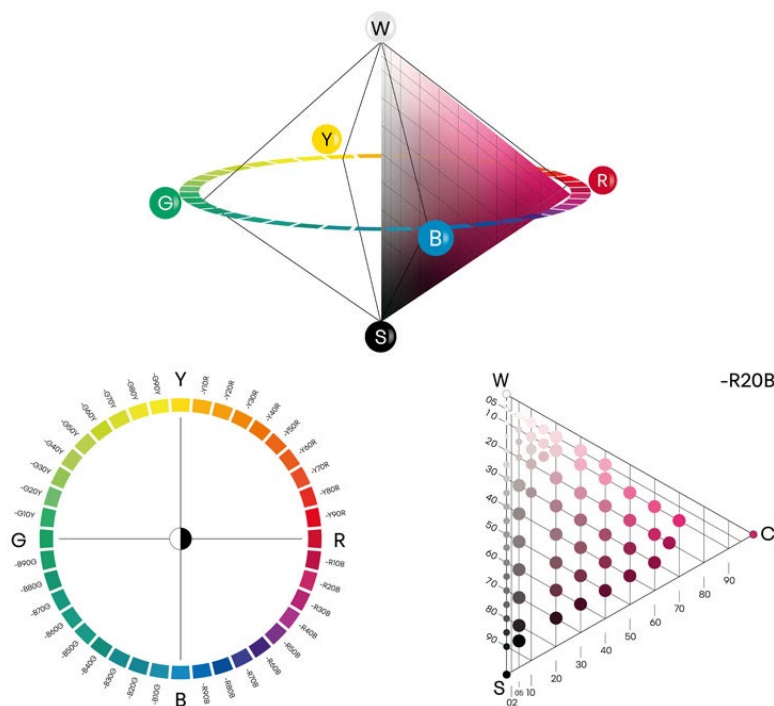
information visas som färgvärden för att tydliggöra förhållanden och samband (Prado, 2019).

En *textur* är en grundläggande visuell egenskap hos en form och kan beskrivas som dess ytstruktur. Texturer är viktiga för vår förståelse av objektets form, position och innebörd.

Avseende *färg* använder vi i projektet begreppen i färgsystemet NCS (Natural Colour System)⁴ som är svenska standard för färgbeteckningar. NCS bygger på visuell upplevelse och ger möjlighet att definiera varje tänkbar färg på en yta. Systemet utgår från de 6 elementarfärgerna röd, gul, grön, blå, vit och svart. Utifrån dessa kan man beskriva alla färger. (Fridell Anter, 2014, s. 103–108)

Begreppet *kulörton* visas i NCS färgcirkel (figur 1). Kulörtonen definieras som den specifika färgens relativa likhet med två av elementarfärgerna. Begreppet *nyans* visas i NCS färgtriangeln och används i NCS för att ange färgens grad av likhet med svart, vitt och en kulört maximalfärg.

Begreppet *ljushet* står för en egenskap som kan bestämmas genom att jämföra färgen med en gråskala eller genom instrumentell mätning. Ljushetskontraster är en avgörande faktor för hur visuellt uppfattar mönster eller former. (ibid)



Figur 1. NCS (Natural Color System), illustrerad i en tredimensionell färgrymd, kan delas upp i en färgcirkel (kulör) och en färgtriangel (nyans). Inom denna tredimensionella modell kan all tänkbar ytfärg ges en NCS-kod. (<https://ncscolour.com/ncs/>)

⁴ <https://ncscolour.com/ncs/>

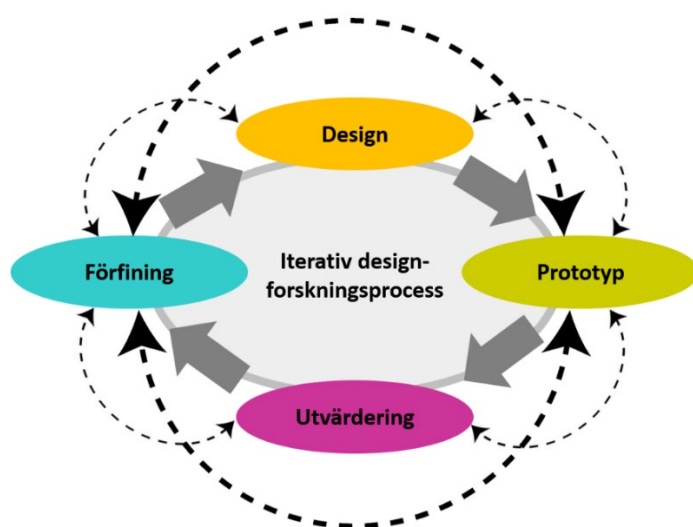
Metod och material

Projektet genomfördes i tre faser: 1) inventering av befintliga modeller där miljödata visas och olika sätt att representera miljödata, 2a) framtagning av designkoncept och prototyper för representation av abstrakta objekt, osynliga värden och konsekvenser och 2b) användartester och analyser samt 3) utveckling av en storskalig modell för demonstration av de utvecklade visualiseringskoncepten, se figur 2.

Fas	Beskrivning
1. Inventering	Här undersöks hur Trafikverkets samordningsmodeller ser ut idag.
2a. Designkoncept och prototyputveckling	Utveckling av designkoncept för hur färg, form och symboler kan användas i samordningsmodeller för att ge optimal förståelse för olika målgrupper. Utveckling av interaktiva modeller, prototyper, i olika skalor med olika designlösningar.
2b. Användartester, utvärdering och analys	Undersökning av hur olika intressenter tolkar, förstår och upplever de utvecklade prototyperna. Utvärdering och analys av resultat från olika användartester.
3. Demonstration i storskalig modell	Demonstration av olika visualiseringskoncept implementerade i ett av Trafikverkets aktuella investeringsprojekt.

Figur 2. Projektets faser och relaterade aktiviteter.

Vi har tillämpat designbaserad forskning (Anderson & Shattucki, 2012) och har arbetat i en iterativ process (figur 3) hela vägen från analogt skissande till digital implementering. Designkoncepten har utvecklats och utvärderats i workshoppar med slutanvändare, liksom i interna utvärderingar med forskningsgruppen, och därefter analyserats i en cyklisk process där forskare, designers och utvecklare har samarbetat.



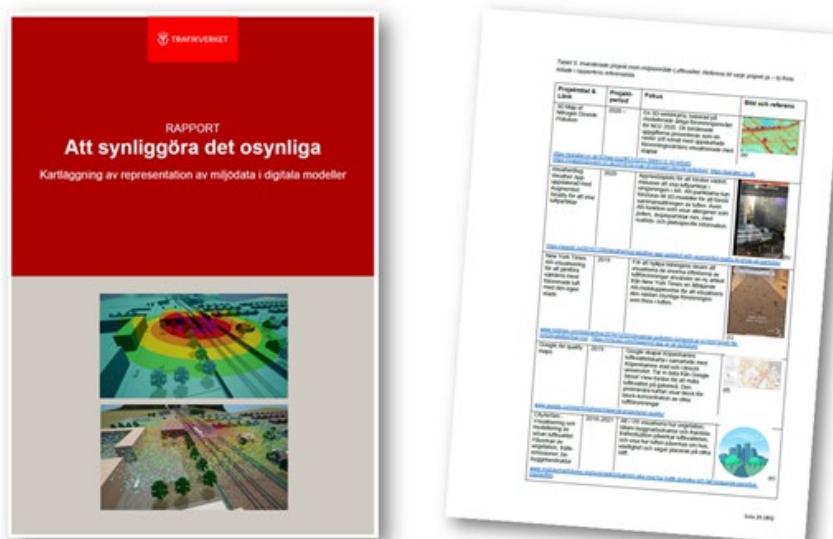
Figur 3. Schematisk uppställning av den iterativa arbetsprocessen.

Inventering

I början av MiljöVis-projektet genomfördes en kartläggning i form av en inventering av projekt med fokus på visualisering av miljöparametrar i digitala modeller (figur 2, fas 1). Syftet var att dra lärdom av dessa projekt som stöd och inspiration för att kunna utveckla designkoncept för standardiserad visualisering av osynliga parametrar.

Inventeringen riktade sig in på miljöområdena buller, luftkvalitet, social konsekvensanalys samt exempel på digitala tvillingar kopplade till stadsmodeller. Även centrala visualiseringskomponenter för representation av data definierades, framförallt grafisk och rumslig representation (visuella former och visuella egenskaper) men det fördes även en diskussion kring betydelsen av perspektiv, skala och detaljeringsnivå, dimension (2D eller 3D), samt interaktivitet. Inventeringen baserades på en litteraturstudie kombinerad med en omvärldsanalys, samtal med aktörer på Trafikverket, samt projektmöten och workshoppar. I litteraturstudien undersökte vi framförallt interna rapporter från Trafikverket i syfte att förstå hur deras arbetsprocesser fungerar men även relevanta forskningsartiklar och rapporter för att få en överblick över den aktuella forskningen och forskningsfrågor inom området. Omvärldsanalysen genomfördes i syfte att identifiera relevanta projekt. Samtal fördes med miljöspecialister på Trafikverket för att få Trafikverkets syn på miljöfrågorna. I projektmöten och workshoppar identifierade vi i en formativ process vilka miljöområden vi behöver arbeta med. Materialet från omvärldsanalysen sammanställdes sedan projektvis och per miljöområde, dvs buller, luftkvalitet och sociala konsekvenser. Sedan har information om varje projekt strukturerats enligt en mall med basfakta såsom titel, löptid, projektägare, eventuella projektpartner, länk till hemsida eller publikation; en kort beskrivning om projektet såsom syfte och användning; ett urval av bilder som representerar nyckelaspekter; och reflektioner. Slutligen genomförde vi en översiktlig analys, baserad på både litteraturstudien och projektsammanställningen och tog fram rekommendationer för Trafikverkets framtida utveckling av representation i samordningsmodeller.

Inventeringen resulterade i rapporten "Att synliggöra det osynliga – Kartläggning av representation av miljödata i digitala modeller" (Stahre Wästberg et al, 2021) (figur 4). Länk till inventeringsrapporten finner du här: <https://research.chalmers.se/publication/523088>.



Figur 4. Inventeringsrapporten Att synliggöra det osynliga - Kartläggning av representation av miljödata i digitala modeller (vänster). Exempel på ifylld matris för miljöområdet Luftkvalitet (höger).

Prototyper för visualiseringsplattformar

Två prototyper utvecklades - dels en prototyp i mindre skala, en så kallad sandlådmodell, dels en prototyp av en storskalig modell. Sandlådmodellen designade och utvecklade vi för att kunna laborera med olika designkoncept för bullerdata. Den storskaliga modellen baserades på det pågående Trafikverkesprojektet Ny stambana Göteborg - Borås och byggdes på en befintlig 3D-plattform kopplad till Digital Twin Cities Centre vilket möjliggjorde integrering av olika modeller och data på en gemensam plattform. Visualiseringsplattformen är byggd på flera programvaror med öppen källkod.

I utvecklingen av plattformen har flera programvaror använts:

- [Unreal Engine](#) (öppen källkod för 3D-modellering och spelutveckling)
- [Rhinoceros](#) (industriell programvara för 3D-modellering och CAD)
- [FEniCS Project](#) (öppen källkod för vetenskapliga simuleringar)
- [Gmsh](#) (öppen källkod för nätgenerering)
- [IPS IBOFlow](#) (industriell programvara för komplexa strömningssimuleringar utvecklat av Chalmers-Fraunhofer Centrum för industrimatematik)

För laborationer i sandlådmodellen användes enbart fiktiva data. Den stora modellen baserades på olika sorters data från Lantmäteriet och Trafikverket.

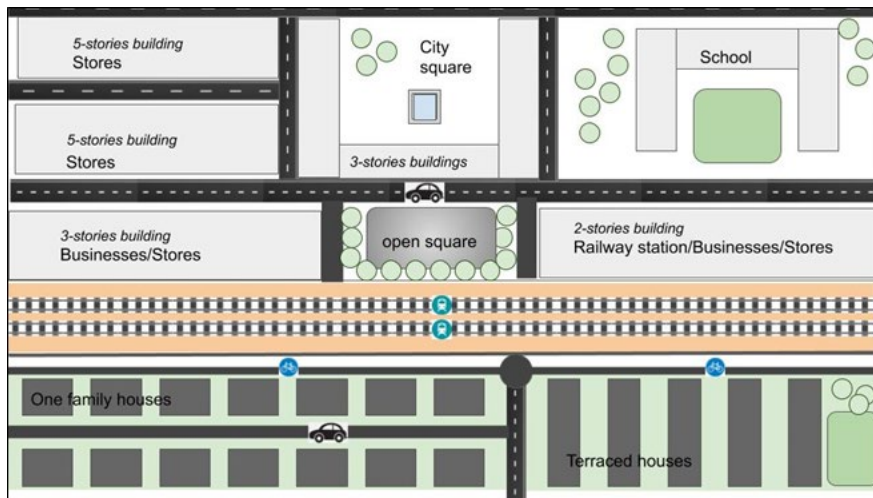
Sandlådmodell

Kraven på sandlådmodellen var att den skulle inkludera vissa relevanta och typiska delar av en svensk landskapsmiljö, både avseende byggd miljö och natur. Den byggda miljön skulle först och främst inkludera en järnväg genom landskapet, inklusive en tunnel. Förutom själva järnvägen skulle bebyggelsen bestå av både utspridda gårdar och en mindre tätort, samt vägar som förband de olika delarna. Tätorten skulle bestå av blandad bebyggelse: olika slags bostäder, känsliga områden som exempelvis vårdhem, skolor och dagis, kontorsbyggnader, viss industri och en centralt belägen järnvägsstation. Det omkringliggande landskapet skulle innefatta åkermark, skogspartier samt en sjö.

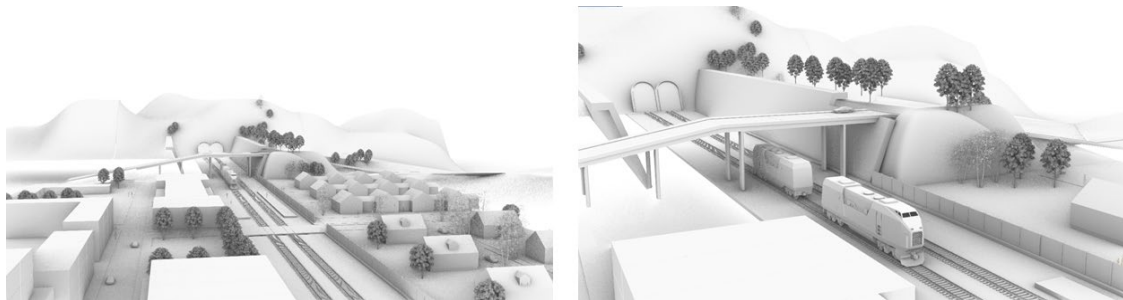
Figur 5 visar utgångsskissen för den övergripande situationsplanen för området och figur 6 visar en mer detaljerad planskiss för tätorten. Figur 7 visar valda utsnitt ur den faktiska sandlådmodellen, som skapades i Rhino (Rhinoceros 3D). Olika designkoncept skissades sedan först i Rhino och visualiseringarna gjordes sedan med hjälp av Unreal Engine.



Figur 5. Tidig skiss på en mer övergripande situationsplan för området/ landskapet, framtagen i PowerPoint.



Figur 6. Detaljerat utsnitt ur den övergripande situationsplanen för den centrala tätorten, framtagen i PowerPoint.



Figur 7. Skärmvyer från sandlådemodellen, framtagen i Rhino.

Storskalig modell

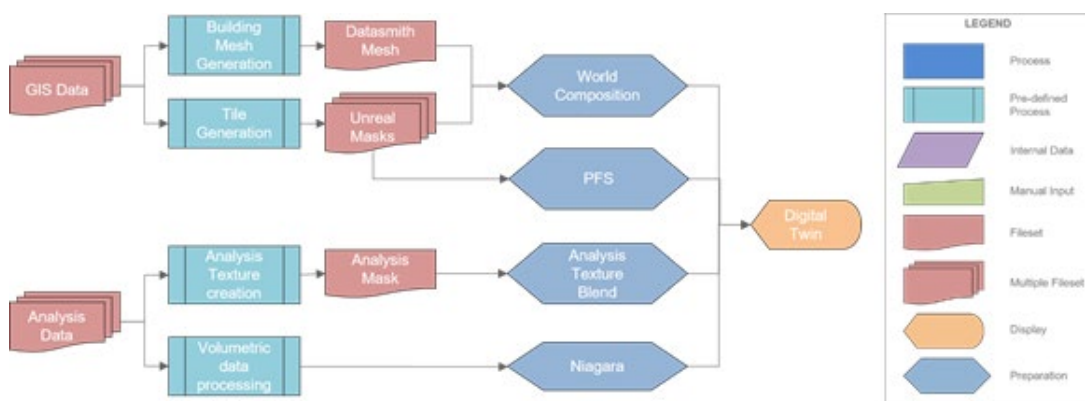
För att kunna demonstrera olika visualiseringslösningar i Trafikverkets samordningsmodeller ingick utveckling av en storskalig modell som täcker området Göteborg - Borås (figur 8).

För denna storskaliga modell utvecklades ett arbetsflöde för att generera digitala tvillingmodeller och visualisera storskaliga data med hjälp av Unreal Engine för realtidsvisualisering och FME (Feature Manipulation Engine, en plattform för dataintegration och stöd för geografiska data) för att förbehandla data (figur 9). Metoden bestod av två delar, a) modellskapande (world creation) och b) datavisualisering. Modellskapandet handlade om att använda tillgänglig GIS-data för att generera en virtuell 3D stadsmodell. Datavisualiseringen handlade främst om att visualisera storskaliga analysdata, i det här fallet bullerdata.

Beskrivning av arbetsflödet som kopplar till prototypen av den storskaliga modellen samt programvaror och metoder för att visualisera storskaliga data på en visualiseringsplattform beskrivs i avsnitt Utveckling av prototyp för storskalig modell (s 70).



Figur 8. Skärmmvyer från den storskaliga modellen.



Figur 9. Datapipeline för generandet av digital tvilling.

Designkoncept

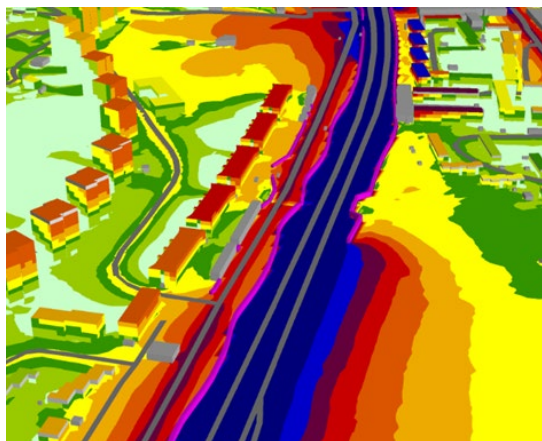
I sandlådemodellen utvecklades designkoncept för hur färgskalor, formspråk, detaljeringsnivåer, rörelse och perspektiv kan användas i samordningsmodeller. Utöver detta har även symboler och informationsrutor utvecklats och integrerats i modellen. Huvudfokus kom att ligga på miljöområdet buller där visualiseringar inkluderade arbete med framförallt draperade heatmaps och volymetrisk visualisering.

Färgskalor

Forskning pekar på vikten av lämpliga färgval. Den vanligt förekommande regnbågsskalan (figur 10 och 11 visar exempel på regnbågsskalan) (Borland & Taylor, 2007) kan perceptuellt misstolkas särskilt om man har avvikande färgseende. Att regnbågsskalan ofta används för att lyfta fram miljödata hänvisas till av flera författare (Grainger et al, 2016; Bláha & Štěrba, 2014; Borland & Taylor, 2007). Forskning har kritiserat regnbågsskalan för att inte vara lika effektiv som andra färgskalor för att kommunicera t ex väderinformation (Borland & Taylor, 2007; Bryant et al, 2014). Istället för att använda regnbågsskalan föreslår Grainger et al (2016) användning av en enda färg som sträcker sig från låg till hög intensitet, eller av andra attribut som exempelvis former. Resultat från en studie av Stahre Wästberg et al (2020) visade att en typ av representation inte passar alla. Det är tydligt att olika användare har olika behov och olika bakgrundskunskap om ett ämne, och att samma data därför måste kunna filtreras och presenteras på olika sätt beroende på målgrupp.



Figur 10. Exempel på användning av regnbågsskala för att visualisera buller i 2D. (Stahre Wästberg et al, 2020)



Figur 11. Exempel på användning av regnbågsskala för att visualisera buller draperad på en 3D-modell. (Stahre Wästberg et al, 2020)

Trafikverket använder en färgskala som bygger på regnbågsskalan. Denna skala ska enligt direktiv användas för visualisering av miljöparametrar på Trafikverket (figur 12, 13) (Jonasson & Gustafson, 2010, Novak et al, 2016). I rapporten hänvisar vi till denna skala som "Trafikverket-skalan".

Bullerkartorna ska färgläggas enligt följande vid redovisning i 5 dB-intervall:

Ljudnivåintervall	Intervallfärg
55 – 59 dB	Gul
60 – 64 dB	Orange
65 – 69 dB	Röd
70 – 74 dB	Violett
L_{night} över 70 dB	
75 dB och uppåt	Blå

Vid redovisning i 10 dB-intervall gäller följande:

Ljudnivåintervall	Intervallfärg
55 – 64 dB	Gul
65 – 74 dB	Röd
75 dB och högre	Blå

Figur 12. Anvisningar för kartläggning av buller. (Jonasson & Gustafson, 2010)

Ljudnivå, dBA	Markering	R	G	B
> 45,0 – ≤ 50,0		130	255	255
> 50,0 – ≤ 55,0		110	255	120
> 55,0 – ≤ 60,0		255	255	20
> 60,0 – ≤ 65,0		255	170	50
> 65,0 – ≤ 70,0		255	0	0
> 70,0 – ≤ 75,0		200	0	150
> 75,0		160	40	0

Figur 5. Skala för ekvivalent ljudnivå.

Ljudnivå, dBA	Markering	R	G	B
> 60,0 – ≤ 65,0		130	255	255
> 65,0 – ≤ 70,0		110	255	120
> 70,0 – ≤ 75,0		255	255	20
> 75,0 – ≤ 80,0		255	170	50
> 80,0 – ≤ 85,0		255	0	0
> 85,0 – ≤ 90,0		200	0	150
> 90,0 – ≤ 95,0		160	40	0

Figur 6. Skala för maximal ljudnivå.

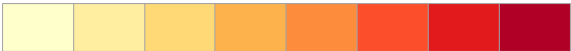
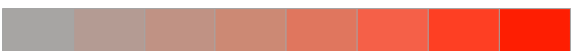
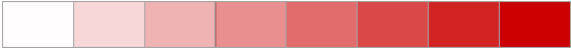
Figur 13. Skala för ekvivalent (vänster) och maximal (höger) ljudnivå, vilken används av Trafikverket. (Novak et al, 2016)

Vi utvecklade olika färgskalor för representation av buller baserade på olika principer, till exempel ljus till mörkt eller transparent till opak. Dessa testades och utvärderades sedan i sandlådemodellen och implementerades i den stora modellen. Vissa av skalorna utvecklades inom projektet eller baserades på skalor vi använt i tidigare forskningsprojekt. Andra baserades och anpassades utifrån redan existerande färgskalor. Skalorna spänner över olika delar av färgcirkeln och inkluderar olika många steg för att kunna undersöka hur många steg som fungerar i visualisering av framför allt punktmoln.

Vi har också inkluderat och simulerat färgskalor med hänsyn till olika färgseende. För detta har vi använd Coblis – Color Blindness Simulator, i vilken bilder kan visas utifrån hur de uppfattas av en person med till exempel röd-, grönt- och blå-svagt seende/blindhet. Detta utvärderades dock inte med användare, men är något vi skulle vilja arbeta vidare med.

De utvärderade färgskalorna inkluderar divergerande skalor, sekventiella skalor, transparenta skalor, ett förslag till standardskala för buller inom EU, samt "Trafikverket-skalan" (tabell 1).

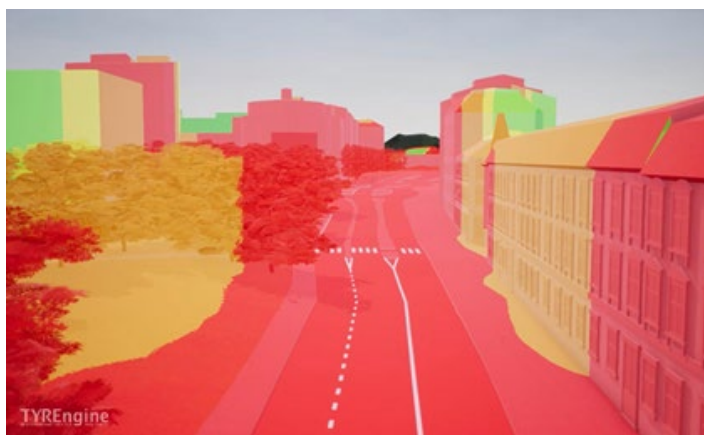
Tabell 1. Lista med färgskalor som användes och utvärderades i projektet: A) Föreslagen EU-standard skala för buller (regnbågsskala), B) Skala som Trafikverket ska använda enligt direktiv, C) Sekventiell skala, ljus till mörk, D) Divergerande skala, anpassad för avvikande färgseende, E) Sekventiell skala, ökad färgmättnad, F) Transparent skala, transparent till opak, G) Förkortad skala för att visa värden under, på och över gränsvärde, H) Förkortad skala för att visa värden under, på och över gränsvärde.

Skala	Steg	Källa
A  Föreslagen EU-standard skala för buller (regnbågsskala)	10	Anpassad från Alberts & Alférez (2012)
B  Skala som Trafikverket ska använda enligt direktiv	7	Baserad på (Novak et al, 2016)
C  Sekventiell skala, ljus till mörk	8	Anpassad från https://colorbrewer2.org
D  Divergerande skala, anpassad för avvikande färgseende	8	Anpassad från Ware (2004)
E  Sekventiell skala, ökad färgmättnad	8	Anpassad från Ware (2004)
F  Transparent skala, transparent till opak	8	Egen framtagning
G  Förkortad skala för att visa värden under, på och över gränsvärde	3	Anpassad från https://colorbrewer2.org
H  Förkortad skala för att visa värden under, på och över gränsvärde	3	Anpassad från https://colorbrewer2.org

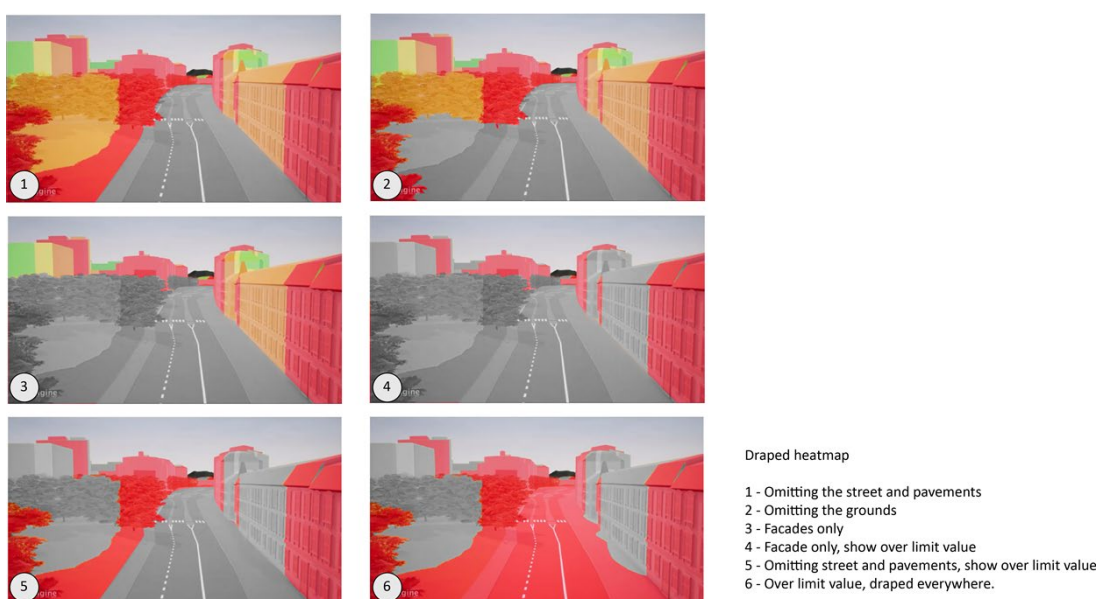
Formspråk

Det finns olika sätt att visa buller i 3D. I MiljöVis-projektet valde vi att fokusera på att utforska följande visuella koncept:

- Heatmaps draperade över modellen för lägesbeskrivning (figur 14, 15).
- Volymetrisk visualisering (sfärer) för att kunna visa värden för en specifik punkt (figur 16)



Figur 14. Exempel på draperade heatmaps i en stadsmodell.



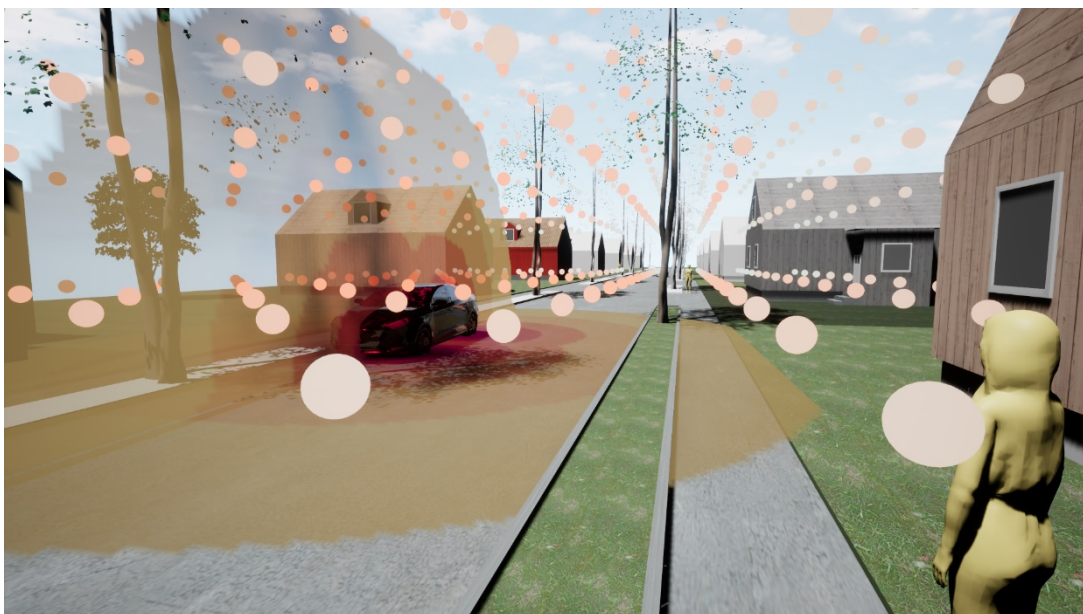
Figur 15. Olika placering och utbredning på heatmaps som undersöktes:

1. Draperad heatmap utelämnande gata och trottoar.
2. Draperad heatmap utelämnande all mark.
3. Draperad heatmap på enbart fasader.
4. Draperad heatmap på enbart fasader, visar endast nivåer över gränsvärde.
5. Draperad heatmap utelämnande gata och trottoar, visar endast nivåer över gränsvärde.
6. Draperad heatmap på alla ytor, visar endast nivåer över gränsvärde.



Figur 16. Exempel på volymetrisk visualisering (sfärer) för att visa värden i en specifik punkt.

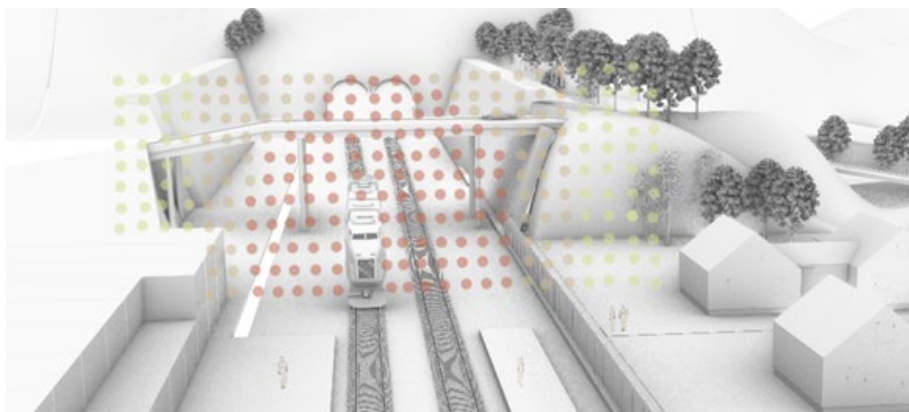
Att kunna visa fler parametrar parallellt är en utmaning när det handlar om visualisering av miljödata. I början av projektet undersöktes hur man visuellt kan kombinera heatmaps och volymetrisk visualisering i samma modell (figur 17), för att exempelvis kunna kombinera olika egenskaper hos samma miljöparameter (platsbundet ljud och ljud från rörlig ljudkälla).



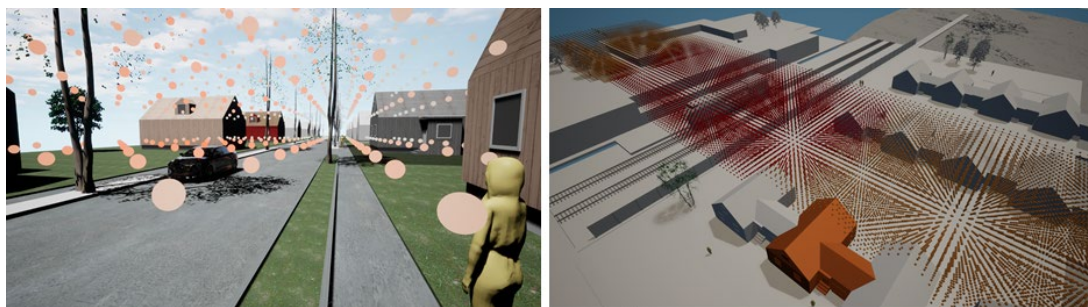
Figur 17. Visionsskiss med en kombination av heatmaps och sfärer för att visa olika typer av buller på en viss plats.

Fokus kom att ligga på volymetrisk visualisering av sfärer i ett osynligt rutnät, som undersöktes utifrån olika parametrar. En central utmaning i den här typen av visualisering handlade om att effektivt kunna visa detaljerad information och samtidigt kunna bibehålla förståelsen för den omkringliggande miljön. Vi tittade främst på applicerbara färgskalor, samt vilken storlek, placering och densitet på sfärerna som fungerade bäst. Vi började med att testa olika designkoncept för sfärer kopplade till en rörlig ljudkälla i modellen (figur 18–20) - dels statiskt placerade sfärer som ändrade färg beroende på ljudnivå (figur 19), dels rörliga sfärer som följde med ljudkällan (figur 20). Efter hand visade det sig dock att den här

typen av rutnätsbaserad voxelvisualisering medförde vissa visuella komplikationer i modellen. De symmetriska placeringarna på sfärerna kom optiskt att ta överhanden och olika mönsterbildningar kom därigenom att skapas i olika perspektiv, som störde läsbarheten (figur 19, höger). Därför övergick vi till visuellt slumpmässig punktmolnsvisualisering (figur 21).



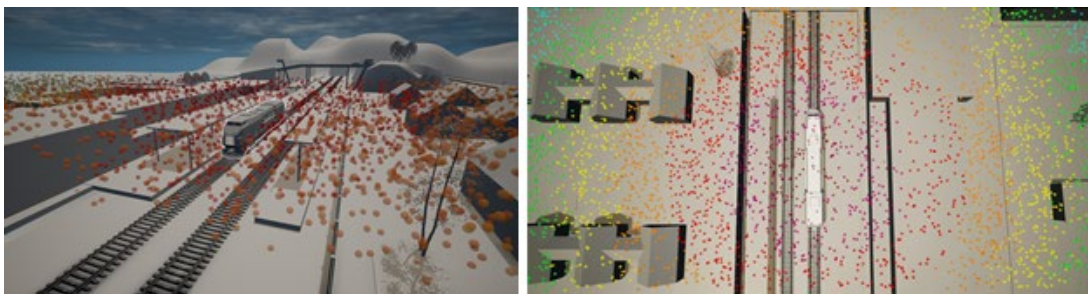
Figur 18. Exempel på konceptuell voxelvisualisering i sandlådmodellen.



Figur 19. Exempel på volymetrisk visualisering där statiskt placerade sfärer ändrar färg beroende på ljudnivå för rörlig ljudkälla, i gatuperspektiv (vänster) och i fågelperspektiv (höger).

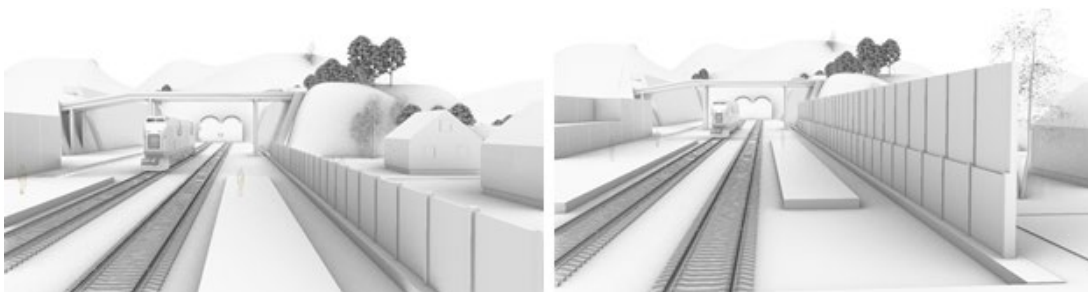


Figur 20. Exempel på volymetrisk visualisering där sfärerna följer en rörlig ljudkälla i top-down perspektiv (vänster) och i fågelperspektiv (höger).



Figur 21. Exempel på volymetrisk visualisering som punktmoln i sandlådemodellen från snedställt perspektiv (vänster) och top-down perspektiv (höger).

Konceptlösningar togs fram för scenarier som illustrerar konsekvenser av olika slag, såsom effekterna av ljudbarriär (förändrad bullersituation med ett bullerskydd) (figur 22) och tunnelknall (figur 23).



Figur 22. Utgångspunkter för laborationer i sandlådemodellen med hur en bullersituation förändras med olika höjd på ett bullerskydd: lågt skydd (vänster) och påbyggt skydd (höger).



Figur 23. Tidiga skisser på tunnelknall i fågelperspektiv (vänster) och i sektion (höger), visualiserade under möte mellan forskare, designer och programmerare i zoom.

Detaljeringsnivå

Vi undersökte vilken detaljeringsnivå som behövdes för att tydligt förmedla information om buller i modellen genom att fokusera på dels själva modellen, dels på miljödatan (volymetrisk visualisering). Utvärdering om detaljeringsnivå i modellen gjordes i WS1 (se stycke Användartester, s 35) och efter detta har utvecklingsgruppen diskuterat och provat olika lösningar för olika detaljeringsnivåer i modellen.

För att förstå vilken detaljeringsnivå på objekten i modellen som fungerar bäst när en miljöparameter ska visas undersökte vi olika detaljeringsnivåer:

- Inga färger, inga texturer (figur 24A)
- Inga färger, marktexturer (figur 24B)
- Färger, texturer (figur 24C)



Figur 24A - C. Olika detaljeringsnivå på modellen undersöktes för att kunna definiera den nivå som ger bäst förståelse för själva bullervisualiseringen. Detaljeringsnivåerna som undersöktes var ofärgad (vit) modell utan texturer (A), gråskalig modell med texturer (B), fullfärgad modell med texturer (C).

Informationsnivåer (informationsrutor)

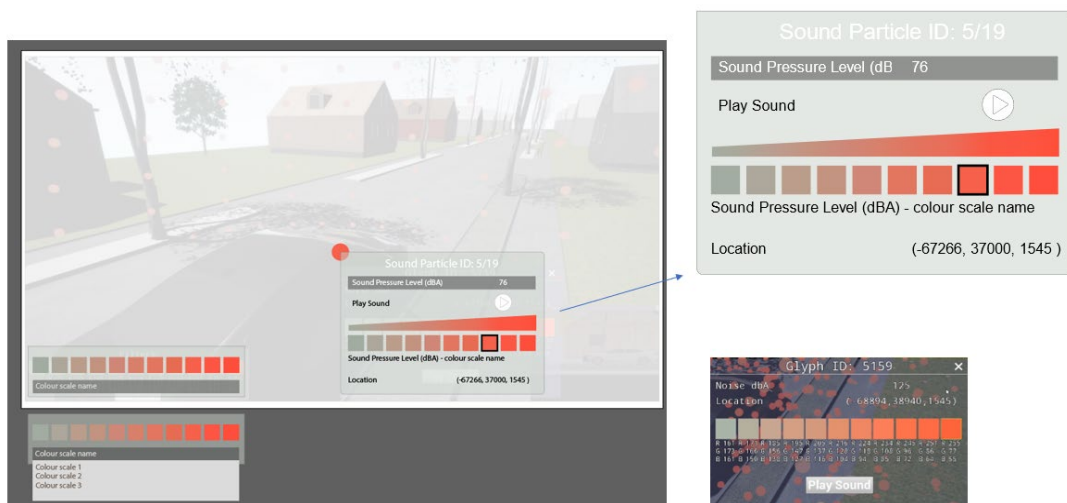
För att kunna gå mellan olika informationsnivåer tog vi fram olika varianter på informationsrutor som visade fördjupad information kring buller (figur 25–27). Detta gav oss möjlighet att visa bullereffekter för olika detaljeringsnivåer och möjlighet att interaktivt få fram siffror och diagram för specifika byggnader.



Figur 25. Skiss på hur en informationsruta kan utformas som en fast panel i gränssnittet.



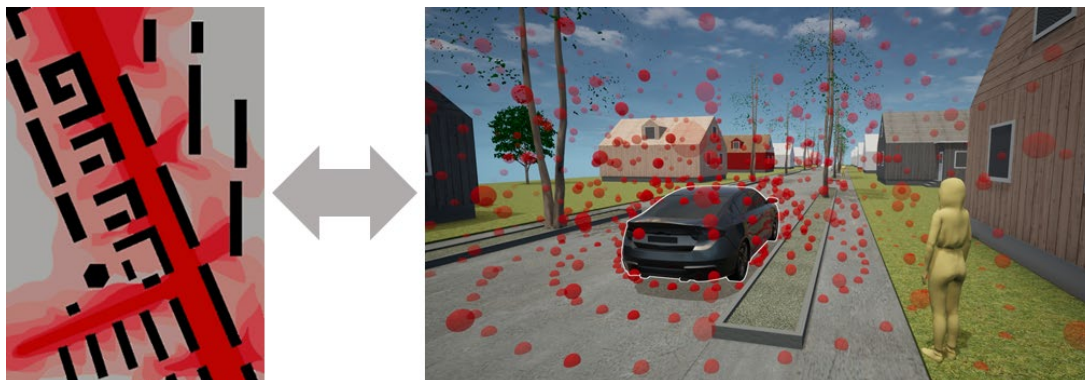
Figur 26. Skiss på hur en informationsruta kan utformas som en del av modellen.



Figur 27. Detalj av information tänkt att visas med informationsruta.

Dimension

Inledningsvis jämförde vi olika färgskalor i 2D och 3D (figur 28) för att få bättre förståelse för hur samma skala uppträder i 2D respektive 3D. Senare valde vi att fokusera på enbart i 3D för att kunskapsbehoven är större kring visualisering i 3D.

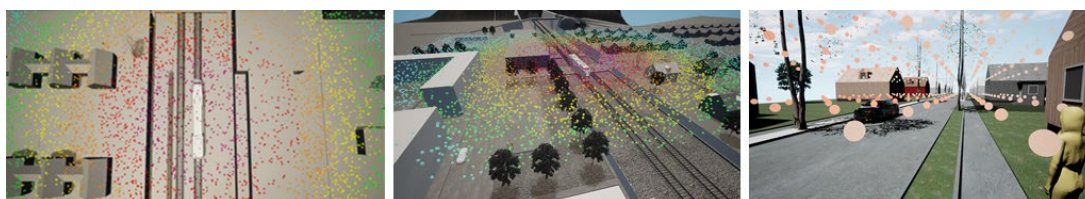


Figur 28. Initialt undersöktes visualisering av buller i 2D (vänster) och 3D (höger). Projektet kom i ett senare skede att enbart att fokusera på 3D.

Rörelse och perspektiv

Att skapa samordningsmodeller som är interaktiva för användaren är ett mål. Eftersom många bullerkällor är knutna till objekt som förflyttar sig, som till exempel bilar och i vårt fall tåg, var det viktigt att ha en rörlighet i visualiseringen. Dock kunde inte interaktivitet testas i våra användartester, då det var viktigt att alla deltagare kunde se och fokusera på samma sak. För att kunna kommunicera rörligheten i visualiseringarna till deltagarna skapades istället animeringar och korta filmer i Unreal Engine, där bullervisualiseringen som länkats till tåget rör sig i takt med att tåget förflyttar sig.

Gällande perspektiv så har vi främst undersökt ett top-down perspektiv och ett snedställt fågelperspektiv. Initialt skissade vi även på 3D-visualiseringar utifrån ett fotgängarperspektiv (figur 29).



Figur 29. Exempel på olika perspektiv som undersöktes. Top-down perspektiv (vänster), fågelperspektiv (mitten) och fotgängarperspektiv (höger). Fotgängarperspektiv inkluderades bara i ett tidigt skede.

Symboler

Arbetet med symboler omfattade både utformning och hur de skulle visas i modellen. Idag får Trafikverket modeller levererade i olika programvaror, vilket gör att symboler för närvarande måste placeras direkt i modellen. Det finns dock önskemål om att kunna implementera dem även i ett framtida gränssnitt. Utgångspunkter för arbetet var Trafikverkets mall för färgpalett för grafiskt material, deras befintliga symboler (figur 30) samt tillhandahållna skisser (figur 31). Vissa symboler var alltså redan inarbetade av Trafikverket, andra saknades och behövdes ta fram, exempelvis symboler för buller, stomljud och vibrationer. En central utmaning handlade om att symbolerna skulle fungera i en 3D-modell (till skillnad från i 2D-material), dvs måste de kunna synas men inte blandas ihop med modellens övriga färgpalett. Utforskade alternativ kopplade till både användningen av färg och form innefattade:

Färg:

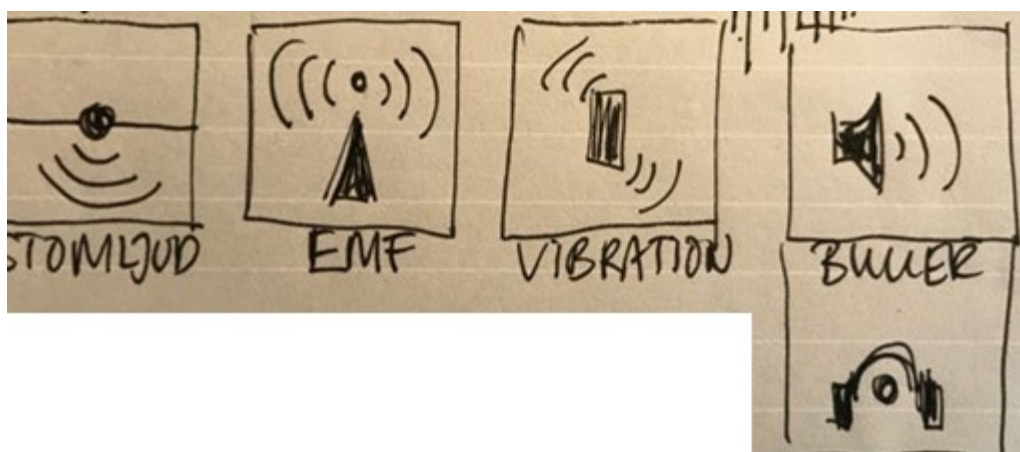
- Färgad symbol med vit bakgrund
- Färgad bakgrund och vit symbol
- Olika färgsättningar, både Trafikverkets egen palett för grafiskt material samt alternativ
- Olika kombinationer av färger
- Antal färger i varje symbol (1 - 3 stycken)

Form:

- Symboler som linjer
- Fyllda symboler
- Symboler som 3D-objekt
- Symboler som billboards (ensidiga objekt, alltid riktade mot användaren)
- Symboler som skivor



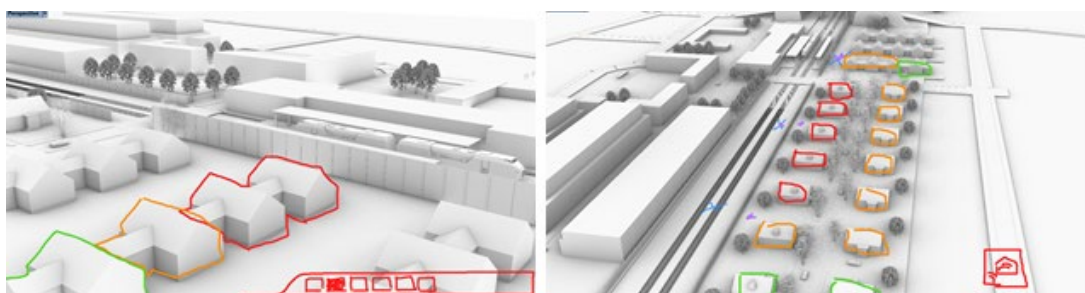
Figur 30. Urval av symboler från Trafikverkets illustrationsarkiv, med markering av de som användes som utgångspunkter i projektet. Generellt finns alla dessa i fyra färger: röd, mörkröd, grå och vit, här visas endast symboler i rött och mörkrött.



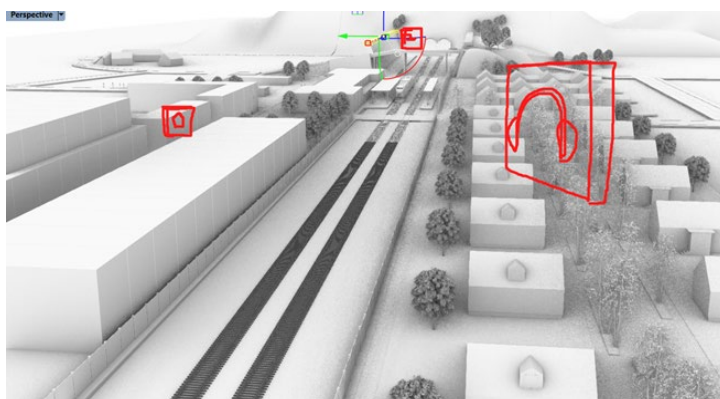
Figur 31. Tidig skiss på exempel på symboler att ta fram.

Förutom utformning av symbolerna så undersökte vi också placering av symboler i modellen, dvs vilket perspektiv och avstånd de är tänkta att visas och om symbolerna är en del av gränssnittet eller del av själva modellen. Placeringsalternativen som testades var:

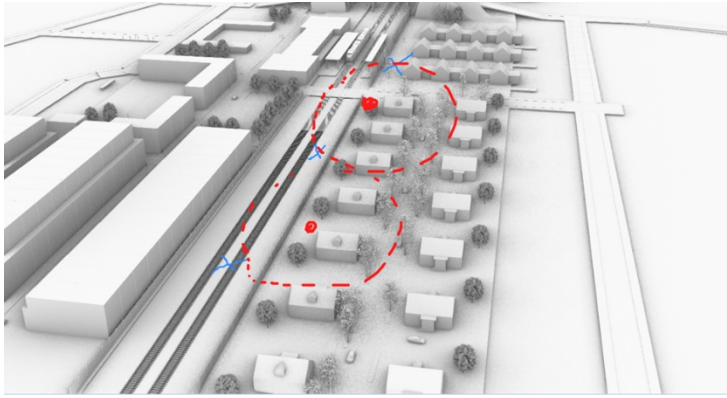
- Symboler i fast position som panel i gränssnittet (figur 32)
- Flytande symboler i modellen som del av gränssnittet (figur 33)
- Symboler placerade som objekt i modellen (figur 34)



Figur 32. Symboler placerade i fast position i användargränssnittet (UI) på skärmen, i en instrumentpanel. Genom att klicka på en symbol i panelen visar modellen relevanta områden utifrån vald parameter.



Figur 33. Flytande symboler i modellen. Symbolerna är en del av användargränssnittet och visas alltid i en storlek som är läsbar.

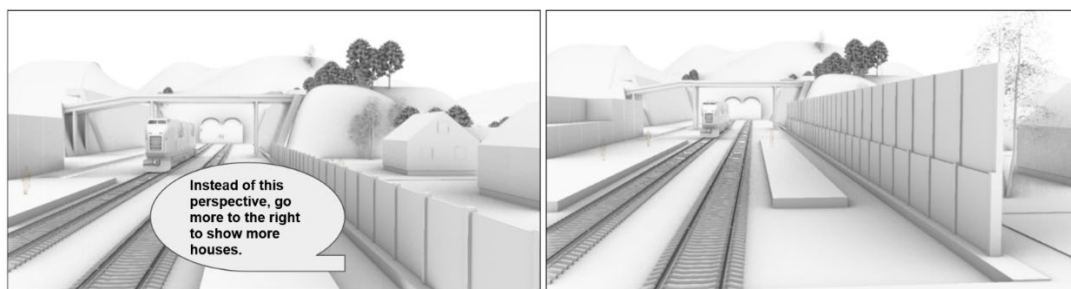


Figur 34. Symboler placerade som objekt i modellen. Symbolerna tillhör modellen och krymper i storlek när vi zoomar ut. Pricken representerar symbolen och den prickade cirkeln det område som symbolen berör. Användaren kan klicka fram symbolen genom den markerade vypunkten när den inte visas.

Då symbolerna och dess koppling till modellen utvecklades sent i projektet utvärderades detta inte med användare. Däremot diskuterades designförslagen löpande under den iterativa utvecklingsprocessen mellan designers och forskare i projektet, Trafikverkets handläggare och representanter från referensgruppen.

Arbetsflöde för utveckling av designkoncept

I arbetet med att utveckla designkoncepten arbetade tre forskare, en designer och tre programmerare i projektet i en iterativ process, där schemalagda möten kompletterades med löpande kommunikation framför allt via mail och Slack. Forskarnas kompetensområde var visualisering inom urban utveckling, dialog och planering, designern hade kompetens inom arkitektur och grafisk formgivning, och programmerarnas specialiteter var plattformsutveckling och Unreal Engine. Designern hade rollen som brygga mellan forskarna och programmerarna, och hade ett nära samarbete med båda grupper. Forskarna utvecklade designkoncepten och formulerade hur dessa skulle testas i sandlådemodellen i en "storyboard" i PowerPoint i samarbete med designern (figur 35, 36 se även figur 5, 6). Designern arbetade utifrån forskarnas önskelista och visualiserade koncepten som sedan programmerades och implementerades i Unreal Engine.



Film clip focusing on the effects of a sound barrier.

First birds eye view (for orientation), then zoom in on the housing area (right hand side in the model) showing the railway in one corner from a street view perspective.

The train approaches and passes a stretch of land with

1. No fence
2. Low fence
3. High fence

Sound data changes accordingly.

Figur 35. Exempel på storyboard för att visa scenarier med effekter av olika höjd på av ett bullerskydd.



Figur 36. Storyboard för heatmaputbredning och placering av sfärerna i ett punktmoln.

Användartester

I användartesterna utvärderades framförallt designkoncepten i sandlådeprototypen och undersöktes hur olika intressenter tolkar, förstår och upplever de olika prototyperna (beslutsfattare, specialister, allmänheten). Följande metoder användes:

- Egenutvärdering i projektgruppen
- Gruppmöten med referensgrupp
- Intervjuer med specialister
- Workshoppar med fokusgrupper

Egenutvärdering av designkoncept genomfördes kontinuerligt i projektmöten med forskare i olika konstellationer samt med representant från Trafikverket. Möten med referensgruppen fokuserade på vilka bullerparametrar som skulle visas och vilka scenarier som var av intresse. Intervjuer med bullerspecialister genomfördes för att få djupare kunskap om specialisternas behov i planeringsprocesser, viktiga publikationer, hur man jobbar med buller på Trafikverket idag och vilka utmaningar som finns. I workshopparna genomfördes de mest omfattande användartesterna där mer genomarbetade koncept visades och utvärderades systematiskt. Därför beskrivs workshopparna mer i detalj nedan.

På grund av den rådande pandemin genomfördes alla användarstudier på distans. Verktygen som användes valdes därför för att specifikt passa för digital utvärdering och innefattade Miro, Mentimeter och Zoom poll. Deltagare i användartesterna var specialister på Trafikverket inom miljöområdena Buller och Luft samt studenter inom både interaktionsdesign och arkitektur på Chalmers och Göteborgs universitet.

På de tre workshopparna deltog sammanlagt 225 personer. Workshopparna hade liknande upplägg men samtidigt var de anpassade till dels målgrupperna och dels det projektskede som de genomfördes i. I workshop 1, som genomfördes tidigt i projektet och var kortast (60 min), testades färgseendet hos deltagarna, men främst presenterades och utvärderades uppfattning av olika färgskalor och vilka generella miljöparametrar som skulle vara intressanta att inkludera vid planering av ett nytt område i form av ett rollspel. I workshop 2 och 3 utvärderades samma designkoncept men med olika målgrupper och olika startuppgifter. För detaljer se tabell 2.

Tabell 2. Användartester i workshoppar.

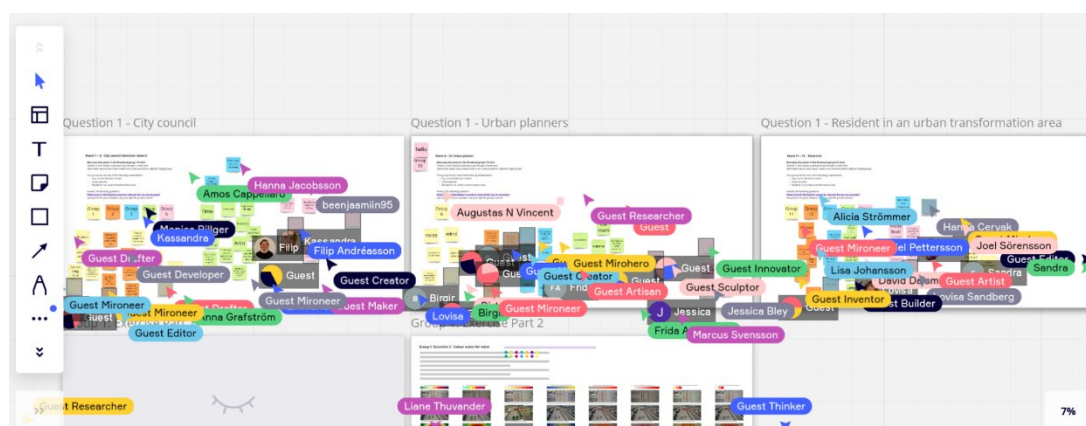
WS #	Deltagare	Datum	Syfte	Kommunikation/ dokumentation	Innehåll
1	ca 160 master-studenter, Arkitektur, Chalmers	okt 2020 8.30 - 9.30 (1 timme) engelska	Att diskutera buller-visualisering, behov och koncept-utveckling i projektet	- Zoom - 30 breakout rooms - Mentimeter	- Test färgseende (individuellt) - Utvärdering uppfattning av skalor och detaljerings-nivå (individuellt) - Rollspel (grupper)
2	10 specialister inom buller, luft, och visualisering Trafikverket, + 3 forskare från Chalmers (arrangör/facilitator/utvärderare)	jan 2021 9–12 (3 timmar) svenska	Att diskutera specialisternas behov och utvärdera design-koncept	- Zoom - 2 breakout rooms - Miro - google docs för dokumentation av diskussion - zoomchat	- Mapping personernas bakgrund - Behovs-inventering - Utvärdering av design-koncept (grupp)
3	ca 55 master-studenter, Interaktions-design, Chalmers/ Göteborgs universitet	feb 2021 9–16 (6 timmar) engelska	Att diskutera buller-visualisering och utvärdera designkoncept	- Zoom - 16 breakout rooms - Miro - Zoom chat	- Test färgseende (individuellt) - Utvärdering uppfattning av skalor och detaljerings-nivå (individuellt) - Utvärdering av design-koncept (grupp)

Uppvärmning: Rollspel och visualiseringskompetenser

För att komma igång och bli bekant med Miro så började alla workshoppar med en “uppvärmningsövning”, antingen ett rollspel eller en beskrivning av vilka visualiseringskompetenser man har. I workshop 1 och 3 genomfördes ett rollspel med deltagarna. Uppgiften beskrevs som följande:

Kontext: En ny järnväg planeras att gå genom en liten stad. Information måste kommuniceras mellan olika målgrupper: beslutsfattare, stadsplanerare och bosatta i ett stadsomvandlingsområde. Vilken typ av information tycker du vore relevant att visualisera för respektive målgrupp?

Deltagarna delades slumpvis in i breakoutgrupper med ca 5 personer i varje grupp. Grupperna blev tilldelade en av tre intressenter: beslutsfattare (kommunfullmäktige), stadsplanerare samt boende i ett berört område. Inom gruppen skulle sedan frågan diskuteras (figur 37). Svaren sammanfattades i varje grupp och presenteras inför övriga grupper i slutet av workshoppen (figur 38).



Figur 37. Skärmbild av när deltagarna jobbade med rollspel i Miro under en av workshopparna med studenter.



Figur 38. Exempel på resultat från rollspel. Wordcloud i Mentimeter i WS 1 (vänster) och brainstorming i Miro i WS 3 (höger) för grupperna som spelade beslutsfattare.

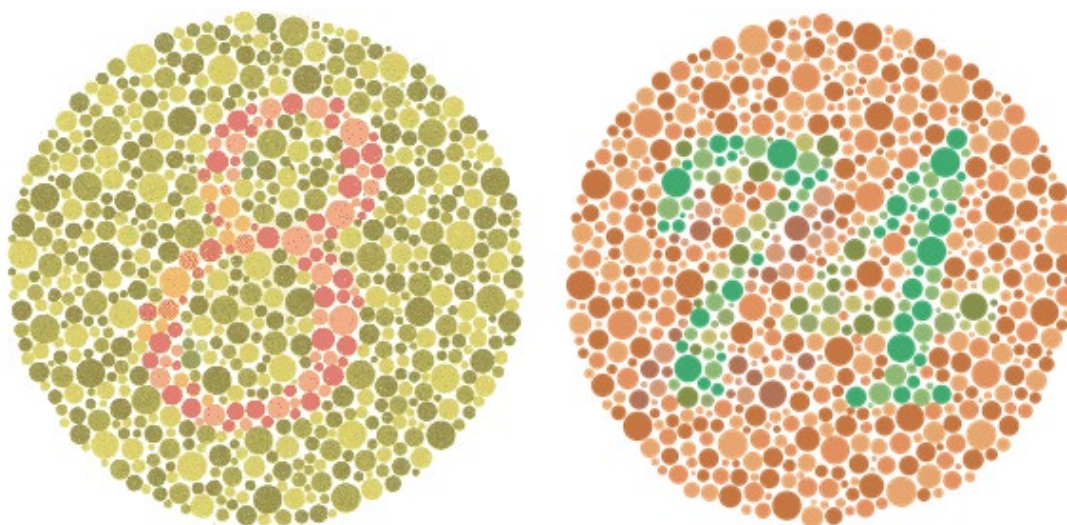
I workshop 2 med specialisterna bad vi deltagarna att peka ut vilka visualiseringsmetoder man jobbar med. De fick markera ett eller flera alternativ med hjälp av färgade prickar (figur 39).



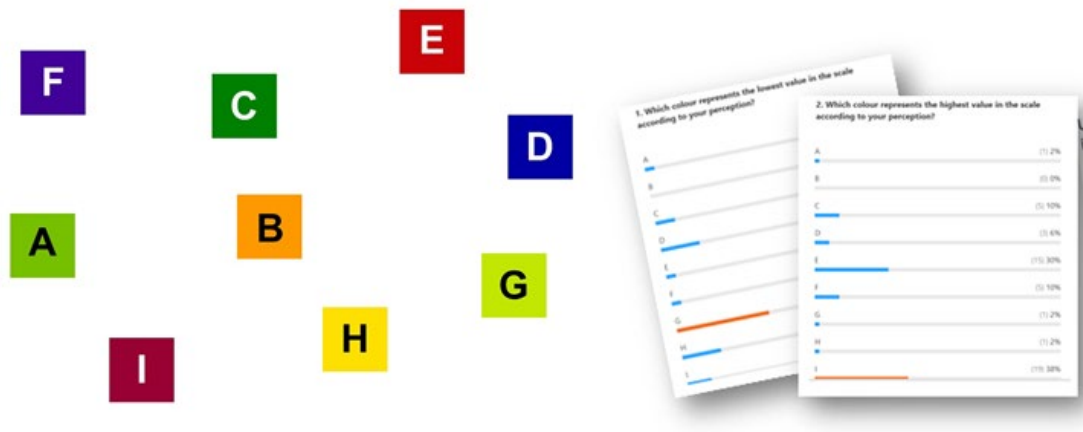
Figur 39. Uppgiftens utformning i Miro med frågan Vilka visualiseringsmetoder jobbar du med? (vänster) och svaren från deltagarna (höger).

Färgseende och färgförståelse

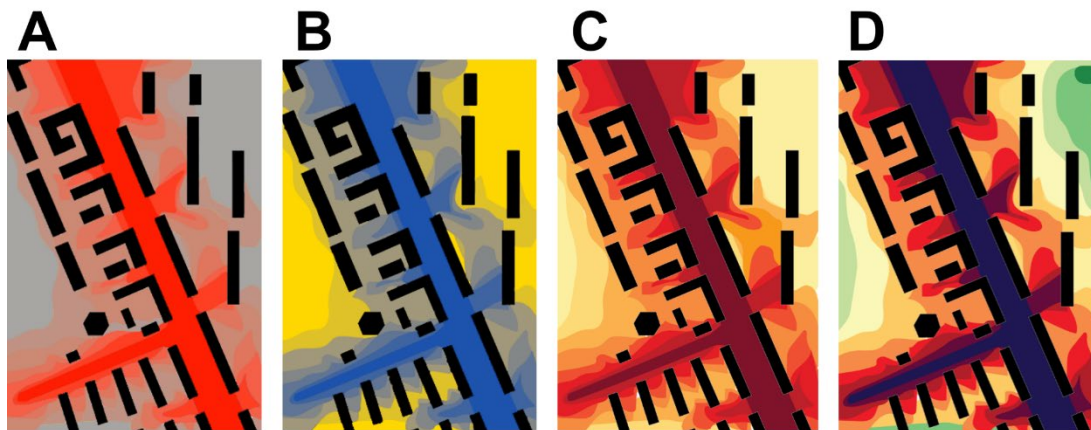
För att få en förståelse för workshopdeltagarnas färgseende och färgförståelse genomförde vi en kvantitativ utvärdering om avvikande färgseende med hjälp av ett Ishihara-test (Ishihara, 1972) (figur 40), uppfattning vilka färger representerar högsta och lägsta värdet i en skala (figur 41), och vilken färgskala som förmedlar bullersituationen bäst i 2D med jämförelsebilder (figur 42).



Figur 40. Exempel från Ishihara-testet (Ishihara, 1972) som användes i workshoppen med frågan Har du någon form av avvikande färgseende? Vilken siffra ser du? Testet genomfördes i Mentimeter.



Figur 41. Uppgiften som utvärderade deltagarnas tolkning vilken färg som naturligast kopplar till högsta och lägsta värdet i en färgskala, med frågorna 1) Vilken färg motsvarar det högsta värdet i en skala? 2) Vilken färg motsvarar det lägsta värdet i en skala? (vänster). Exempel på svar på uppgiften (höger).



Figur 42. Vilken färgskala förmedlar bäst bullersituationen i 2D? (WS1). Här visar vi exempel med fyra olika färgskalor: en sekventiell skala med ökad färgmättnad (A), en divergerande skala för avvikande färgseende (B), en sekventiell skala från ljust gul till mörkt röd (C) och en föreslagen skala för EU standardisering av buller (D) (se tabell 1). Uppgiften genomfördes i Mentimeter.

Olika sätt att representera miljödata

Representationssätt utvärderades både kvantitativt i workshop 1 (figur 43) och kvalitativt i workshop 2 och 3 (figur 44). Deltagarna fick utvärdera jämförelsebilder och ange det alternativ de tyckte fungerade bäst.



Figur 43. Vilken detaljeringsnivå på modellen förmedlar bäst förståelse för bullervisualisering? (WS1)

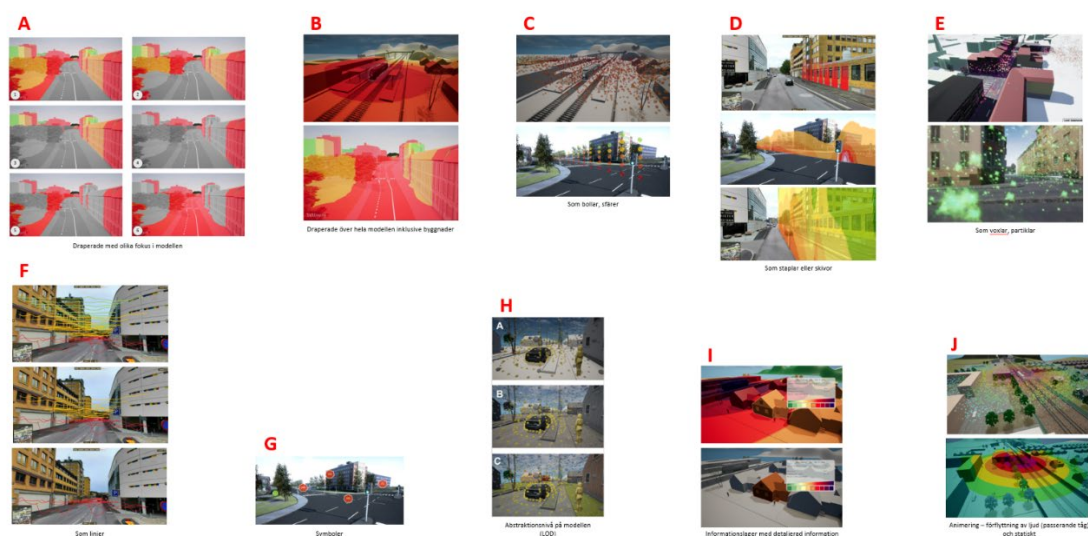
I WS 1 undersökte vi, via Menitmeter, vilken detaljeringsnivå i modellen som bäst förmedlar förståelse för bullervisualisering. I WS2 genomfördes guidade diskussioner i 2 grupper med en moderator i varje grupp (en forskare från projektet) som antecknade och ledde diskussionen. Därefter hölls en kort gemensam presentation och diskussion. Även här antecknade forskarna från projektet. I WS3 arbetade deltagarna självständigt i mindre grupper. Varje grupp antecknade och presenterade resultat under en kort gemensam genomgång efteråt. Zoom-chatterna sparades som dokumentation. Utvärderingen gjordes i Miro där forskarna hade förberett "Frames" med jämförelsebilder/-filmer.

Kring visualisering i modell diskuterades följande frågor (figur 44):

- Hur kan jag använda bullervisualisering?
- Vilka parametrar är relevanta att visa avseende buller (till exempel konsekvenser, med och utan olika åtgärder, lagkrav t ex överskridna gränsvärden, etc)

I relation till bilderna diskuterades följande:

- Vad tycker du är bra, och varför?
- Vad tror du fungerar sämre, och varför?
- Välj tre favoriter och motivera!



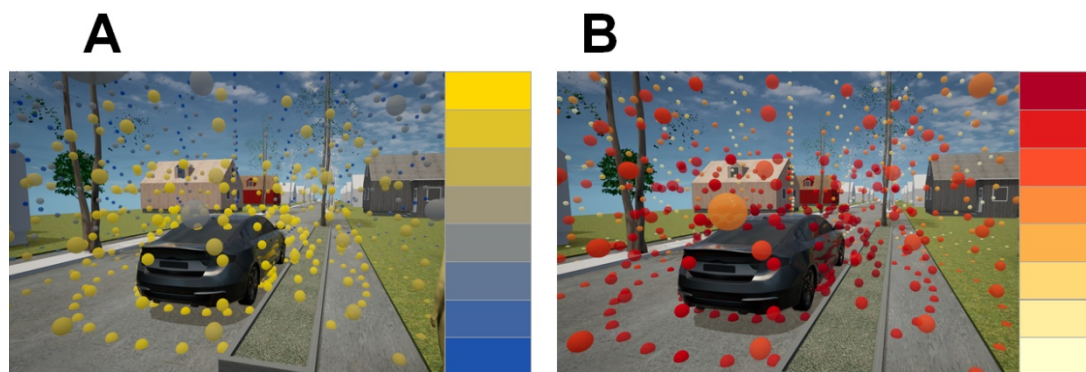
Figur 44. Miro-bord: Jämförelsebilder för utvärdering av designkoncept för visualisering i modell.

Färgskalor i modellen

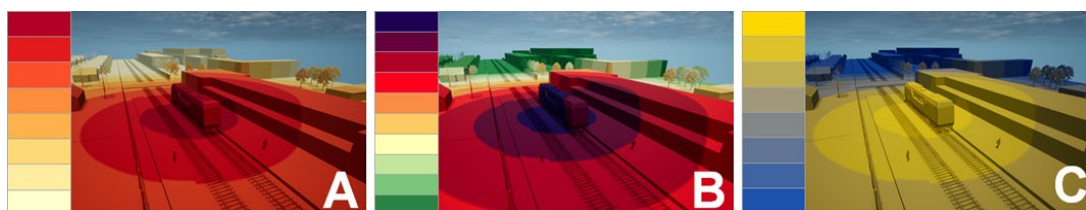
Färgskalor utvärderades både kvantitativt i workshop 1 (figur 45, 46) och kvalitativt i workshop 2 och 3 (figur 47). Deltagarna fick utvärdera jämförelsebilder och ange det alternativ de tyckte fungerade bäst.

Utvärderingen av färgskalor i workshop 2 och 3 baserade på jämförelsebilder/-filmer (figur 46). Följande frågor diskuterades:

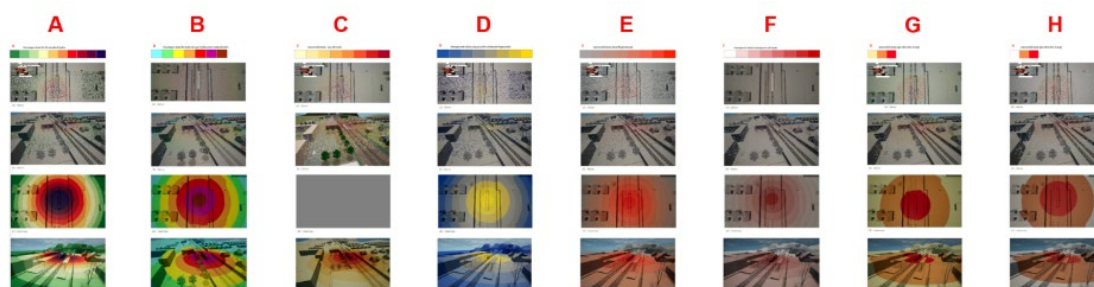
- Vad är viktigt vid val av färgskala utifrån ditt perspektiv? T ex igenkänningsfaktorer, avvikande färgseende, tolkningsförståelse.
- Hur vill du kunna använda en färgskala för kommunikation av buller? Enbart visa färger ovanför gränsvärden? Inkludera de lägsta, mer osäkra decibel-talen, 2D, 3D?
- Vad tycker du är bra, och varför?
- Vad tror du fungerar sämre, och varför? Välj två favoriter i 2D och 3D, och motivera!



Figur 45. Vilken färgskala förmedlar bullersituationen bäst? Här visar vi gatuvy med sfärer i kombination med färgad texturerad bakgrund.



Figur 46. Vilken färgskala förmedlar bullersituationen bäst? Jämför tre färgskalor där heatmaps draperats på modellen. De lägsta värdena är tänkta att draperas över bakgrunden i hela modellen.



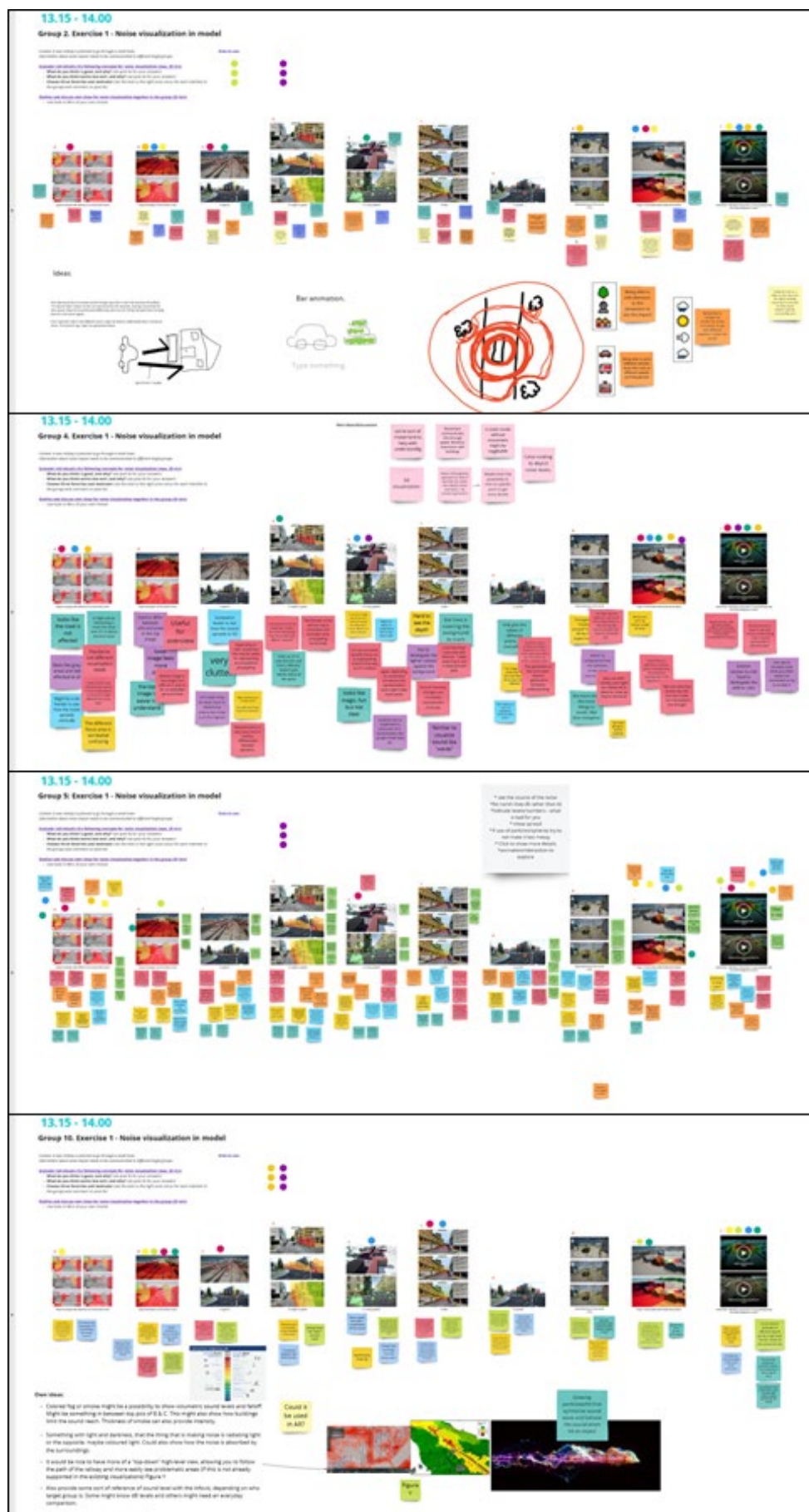
Figur 47. Miro-bord: frame med jämförelsebilder för utvärdering av designkoncept för färgskalor.

Analys av material

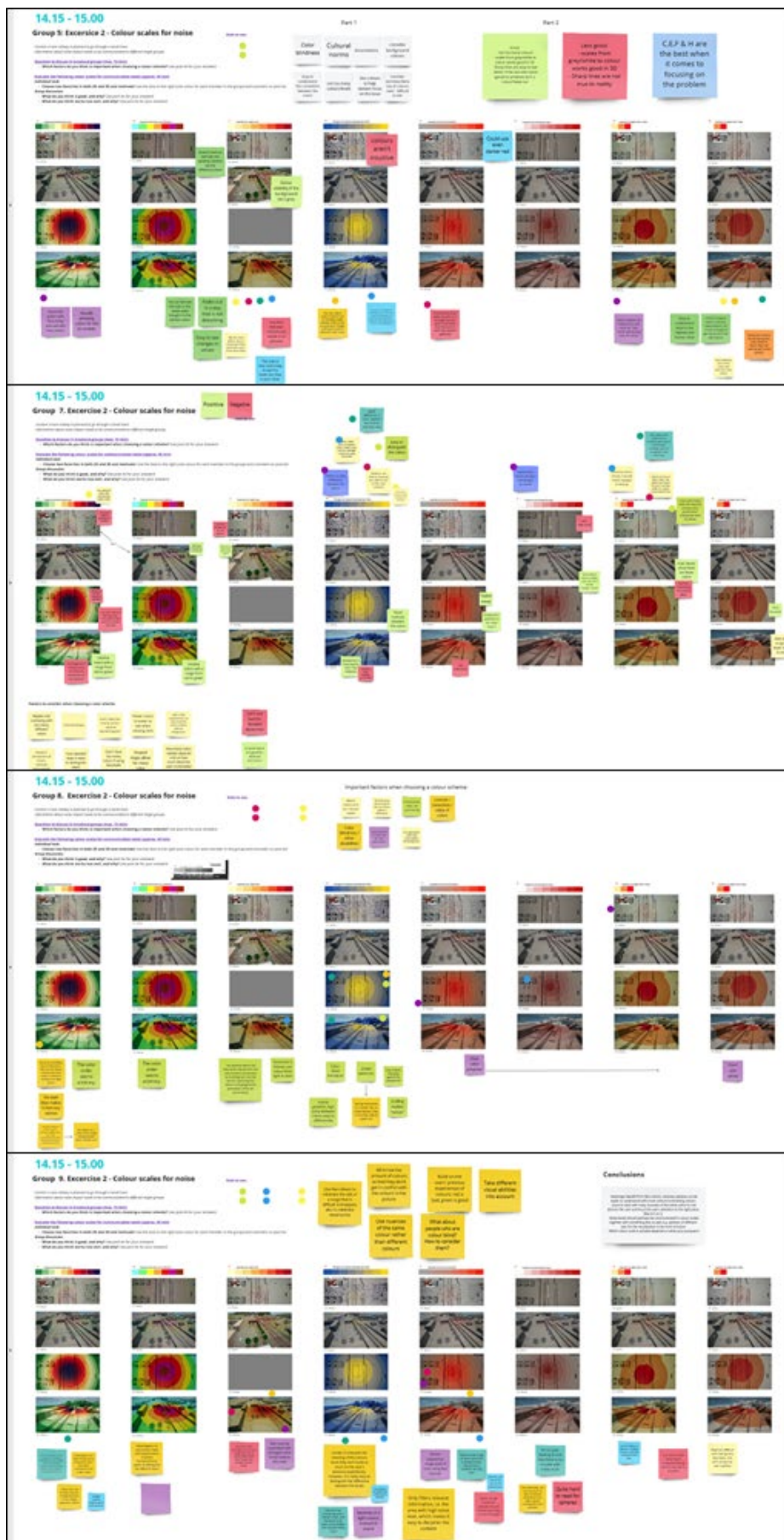
Dokumentationen från användartesterna, dvs Miro-borden från de olika grupperna och anteckningarna från diskussionen relaterade till det, i en matris och svaren från utvärderingen i Mentimeter och i Zoom-poll sammanställdes (se figur 41) i diagram och wordclouds (se figur 38) Med hjälp av matrisen kunde vi jämföra olika gruppers svar samt identifiera för- och nackdelar för olika visualiseringar och färgskalor. Utvärderingen omfattade deltagarnas diskussion kring visualiseringspreferenser för alternativ A-J (tabell 3, figur 44), uppfattning av färgskalorna för alternativ A-H (figur 47, tabell 1) samt placering av de färgade prickarna för att markera favoriterna för både visualiserings- och färgskalepreferenser. Figur 48 och 49 visar exempel på Miro-bord med anteckningar som gjordes av deltagarna i workshop 3.

Tabell 3. Alternativ för visualisering i modellen.

A. Draperade med olika fokus
B. Draperade över hela modellen
C. Som sfärer
D. Som staplar eller skivor
E. Som partiklar
F. Linjer
G. Symboler
H. Abstraktionsnivå på modellen
I. Informationsnivåer
J. Interaktivitet/Animering



Figur 48. Exempel på Miro-bord: Designkoncept.



Figur 49. Exempel på Miro-bord: Färgskalor.

Återkoppling

Återkoppling av resultat från projektet genomfördes i form av ett slutseminarium. På ett tre timmars långt seminarium med ca 40 deltagare med olika bakgrund och från olika organisationer (universitet, kommuner, företag och Trafikverket), varav hälften specialister från Trafikverket. På seminariet presenterades projektet i sin helhet, med en introduktion till problemområdet, tillämpade metoder, modellutveckling och relaterade procedurer, samt resultat. Avslutningsvis öppnades upp för en diskussion.

Diskussionen berörde dels den storskaliga modellen och frågor kring data, dataintegration och arbetsflöden för att skapa modellen, dels behovet att visualisera buller i 3D och lämplig detaljeringsnivå, dvs om man räknar grovt så ska resultaten visas grovt. Diskussionen lyfte också fram behovet av att kunna kombinera flera miljöområden, samt behovet att kunna visualisera olika scenarier och konsekvenser.

Resultat

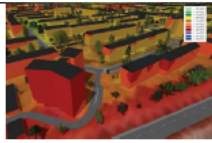
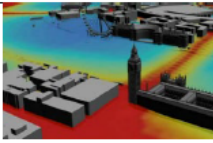
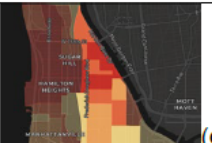
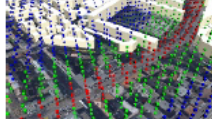
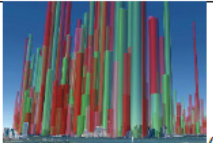
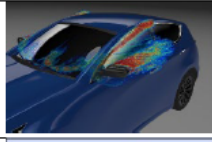
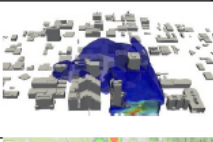
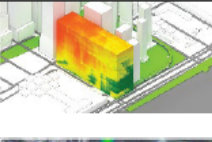
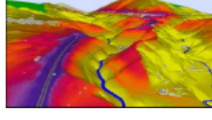
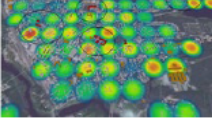
I detta avsnitt sammanfattar vi projektets resultat från inventeringen (kartläggningen av representation av miljödata i digitala modeller), utvecklingsarbetet med prototypen för den storskaliga modellen och utvecklingen av designkoncepten.

Inventering - Kartläggning av representation av miljödata i digitala modeller

Inventeringen resulterade i en sammanställning av befintliga projekt utifrån miljöområdena buller, luftkvalitet, social konsekvensanalys och exempel på digitala tvillingar kopplade till stadsmodeller. I inventeringen identifierades även centrala visualiseringskomponenter för representation av data (figur 50, 51). Vi studerade hur dessa har använts inom de olika miljöområdena för att lägga grunden för utveckling av designkoncept inom MiljöVis-projektet. Fokus har främst legat på på grafisk och rumslig representation (visuella former och visuella egenskaper) men vi har även diskuterat betydelsen av perspektiv, skala och detaljeringsnivå, dimension (2D eller 3D), samt interaktivitet.

Visualiseringskomponenter	
Geometrisk former	
Färger, Texturer, Mönster	
Dimension (2D, 3D)	
Perspektiv	
Skala/Detaljeringsnivå	
Statisk eller Dynamisk	

Figur 50. Visualiseringskomponenter som definierats i inventeringsrapporten. (Stahre Wästberg et al, 2021)

Geometriska former	Exempel		
	Buller	Luftkvalitet	Sociala aspekter
Ytor	 (a)	 (b)	 (c)
Linjer	 (d)	 (e)	 (f)
Punkter	 (g)	 (h)	 (i)
Volymetriska objekt	 (j)	 (k)	 (l)
3D-rutnät	 (m)	 (n)	 (o)
Heatmaps	 (p)	 (q)	 (r)

Figur 51. Exempel på användning av de definierade visualiseringskomponenterna inom de olika miljöområdena Buller, Luftkvalitet och Sociala aspekter. (Stahre Wästberg et al, 2021)

I inventeringen tog vi fram ett antal rekommendationer för utveckling av representation i samordningsmodeller. Följande punkter är citerade från Stahre Wästberg et al (2021, s. 35–36). Det är viktigt att:

- utveckla metoder för att *visa flera parametrar samtidigt* till exempel för att kunna få en mer heltäckande lägesbild, kunna göra urval och jämförelser, och hitta konflikter mellan olika områden och parametrar.
- utveckla modeller med *hög grad av interaktivitet* för att effektivt och pedagogiskt kunna kommunicera med olika målgrupper och syften.
- definiera vilka *dimensioner och skalor* som bäst kompletterar varandra för att förmedla information på ett tydligt vis i ett visst sammanhang eller för en viss målgrupp. T. ex. hur man visuellt kombinerar en 3D-modell och kartmaterial i 2D, vad 3D-modellen ska fokusera på, och vilken *inzoomningsnivå* den ska visas i för att bäst komplettera kartan.
- utveckla *standarder för representation av data* avseende visualiseringskomponenter, som geometriska former (ytor, linjer, punkter med mera), visuella egenskaper (framför allt färgskalor), och visuella tecken (som symboler och ikoner), anpassade efter visualiseringens detaljeringsnivå.

- *kombinera olika typer av modeller* (till exempel taktila och digitala) och att använda olika typer av gränssnitt för interaktion vid utveckling av samordningsmodeller.

Designkoncept

Resultat avseende designkoncept fokuserar på utvecklingen av *färgskalor* och *formspråk* (*draperade heatmaps* och *volymetrisk visualisering*), *informationsnivåer* (i form av *informationsrutor*), *rörelse* och *perspektiv*, *symboler*, *scenarier* och *detaljeringsnivå*.

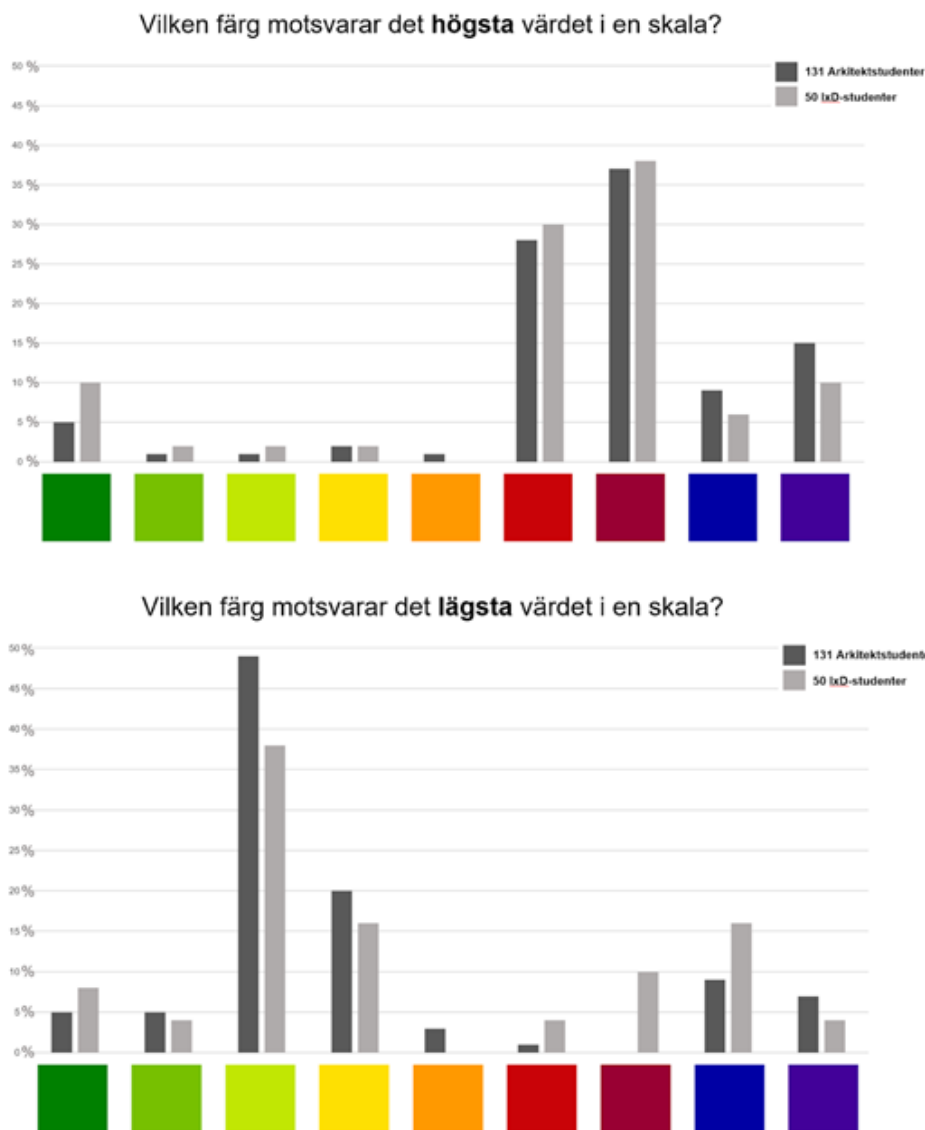
Styckena Intuitiv tolkning av färgers rangordning i en skala (s 48) till Rörelse och perspektiv (s 63) behandlar resultat som gäller *färgskalor*, *formspråk*, *informationsnivåer*, och *rörelse*. Resultaten kommer från användartester och framförallt från WS2 och WS3.

Styckena Symboler (s 65) till Detaljeringsnivå (s 69) behandlar aspekterna *symboler*, *scenarier* och *detaljeringsnivåer*. Dessa är ett resultat av utvärderingar gjorda under den iterativa utvecklingsprocessen i projektgruppen och referensgruppen.

Intuitiv tolkning av färgers rangordning i en skala

I avsnitt Färgskalor (s 21) beskrevs att tidigare forskning kommit fram till att den så kallade regnbågsskalan inte är lika effektiv som andra färgskalor kommunikation (Borland & Taylor, 2007; Bryant et al, 2014). En anledning till denna ineffektivitet sägs vara svårigheten att relatera de enskilda färgerna till en logisk rangordning. I vår användarstudie ingick en utvärdering av vilka färger som bäst representerar det högsta respektive lägsta värdet i en skala. Det utvärderades i WS 1 och 3. Resultaten visas i figur 52. Vi utgick från regnbågsskalan i figur 11. Resultatet från studien visade att den mörkröda (37,5% av samtliga deltagare) och den klarröda färgen (29%) var de färger som flest ansåg bäst representera högsta värdet i en skala (figur 52 överst). När det kom till den färg som bäst ansågs representera lägsta värdet i en skala angavs både i WS 1 och 3 den ljusgröna färgen (43,5%), följt av den gula (18%) (figur 52 nederst). Kring det lägsta värdet råder dock en viss oenighet. Bland arkitektstudenterna ansåg markant färre deltagare att den blå färgen representerade det lägsta värdet jämfört med interaktionsdesignstudenterna, där lika många (16%) tyckte att blått respektive gult representerade lägsta värdet. Ljusheten har stor betydelse i det intuitiva skapandet av en värdeskala, och något som många kan ha utgått från då få deltagare valde de mörkare gröna färgerna.

Detta överensstämmer med vad tidigare forskning pekat ut, då regnbågsskalans rangordning var tydligt ologisk för deltagarna. Notera att det handlade om att göra snabba val för deltagarna i försökssituationen.



Figur 52. Resultat från utvärdering av vilken färg som deltagare tyckte bäst representera det högsta värdet i en skala (överst) och det lägsta värdet i en skala (nederst). Notera att x-axelns färgskala är den ordning som användes i det vanligt förekommande exemplet vi utgick från (se figur 11).

Utvärdering av använda färgskalor

I projektet har vi testat åtta olika färgskalor för representation av buller. Dels har vi prövat existerande skalor som redan används i olika sammanhang, dels skalor som är framtagna av andra forskare, som vi delvis har anpassat efter våra identifierade behov. Dessutom har vi själva utvecklat transparenta skalor.

I det här avsnittet redovisar vi primärt resultaten från WS2 och WS3. I WS2 deltog specialister från Trafikverket och forskare från Chalmers, och i WS3 deltog interaktionsdesignstudenter. WS1 var en användarstudie i tidigt skede av projektet där vi prövade olika designkoncept, såsom färg och formspråk, som ett steg i processen för att välja hur vi skulle gå vidare. Deltagarna fick kommentera vad som var viktigt vid val av färgskala (exempelvis igenkänningsfaktorer, avvikande färgseende och tolkningsförståelse), samt hur

de upplevde att de åtta skalorna motsvarade dessa krav. Notera att förbättringsförslagen för skala A och B, dvs de utvärderade regnbågsskalorna, delvis överlappar varandra. Vid analys av resultaten har vi konstaterat att underlagsmaterialet i vissa fall inte gör skalan rättvisa (se framför allt skala F och B), vilket sannolikt har fått en inverkan på bedömningen av skalorna. Notera också att studien gjordes online, vilket medförde att vi saknade kontroll över färg- och ljusinställningarna på deltagarnas skärmar. Vi utgick dock från att relationen mellan färgerna i en skala stämmer oavsett kalibrering (Billger et al, 2004). Utvärderade bilder kan dock skilja sig åt i till exempel färgstyrka, vilket kan påverka bedömningen.

Vi hade samma upplägg och frågeställningar för WS2 och 3, men eftersom diskussionerna formades utifrån deltagarnas expertis och intressen blev det olika tonvikt på vad som diskuterades i grupperna. I WS2 blev det exempelvis ett tydligt fokus på behov av visualisering från specialisternas olika perspektiv, medan i WS3 så blev det ett starkare fokus på visualiseringslösningar och informationshantering.

A. Föreslagen standardskala buller inom EU

Den föreslagna standardskalan visade sig vara en av de mest uppskattade i vår utvärdering, förutsatt att man inte har ett avvikande färgseende (figur 53). Skalan fick positiva omdömen både bland specialisterna i WS2 och bland interaktionsdesignstudenterna i WS3, med kommentarer som berörde hur lätt det var att intuitivt associera grönt med lägre nivåer och rött med högre nivåer, och att den var den “bästa färgskalan (ur bullerhänseende)”.



Figur 53. EU-standardskala (regnbågsskala) för buller, utvecklad och föreslagen av Alberts & Alferez (2012), här anpassad för 3D-modellen.

Positivt med skala A: Aspekter som angavs som positiva för skala A handlade både om färg och kontrastverkan. Skalan upplevdes av deltagarna som visuellt tilltalande, med fina färger och ljushet, och att den hade ett intuitivt fungerande spann mellan de röda och de gröna färgerna. En deltagare i WS3 kommenterade att "det är som om någon riktar en ficklampa över tåget och färgerna visualiserar att den mörkgröna är i skuggan = inte viktig / i fokus" (översatt från engelska). Andra positiva omdömen om skalan handlade om att den var bra för att tilldela en färg till ett visst värde, eller kanske tilldela något annat attribut till färgen.

Även kontrasterna i skalan upplevdes av flera deltagare som positiv. Aspekter som berördes handlade exempelvis om att man genom de distinkta stegen tydligt kan visa olika värden. En kommentar från WS3 ansåg att skalan är "bra för att referera till specifika ljudnivåer, samtidigt som den fortfarande är relativt sekventiell som ett schema". Några deltagare observerade att skalan divergerar, vilket hjälper till att identifiera mycket höga och mycket tysta områden, och tydligare visa ett gränsvärde. En deltagare i WS3 kommenterade att det fanns en hög kontrast mellan lägsta och högsta värdena, och en annan deltagare kommenterade tydligheten i steg från ljusare till mörkare kulörer.

Negativt med skala A: Aspekter som upplevdes som problematiska bland vissa deltagare var de mörka färgerna (mörkgrön, blå, mörkröd), särskilt den mörkgröna färgen, och färgordningen. Till exempel uppfattades det som problematiskt att den röda och gröna såg ungefär likadana ut och att den blåa färgen användes för den högsta ljudnivån, eftersom den ofta anses vara en lugn färg. Placeringen av de mörka färgerna är en annan aspekt som nämndes, att ha mörka färger i de inre och yttre delarna av spektrumet kan vara förvirrande. Många kommentarer berörde specifikt den mörkgröna färgen. Den gröna färgen tog mycket uppmärksamhet, var inte sammankopplad med de andra färgerna och det ansågs vara bättre om den mörkgröna inte fanns där.

Färgval och färgordningen upplevdes som godtycklig, bland annat ansågs det konstigt att se rött byta till mörkblått i slutet av skalan. Samtidigt påpekades att det bör vara en tydlig skillnad mellan färgerna. Som exempel nämndes att kombinationen av beige, orange och ljusgult i mitten är svåra att urskilja, där vissa bildskärmar inte ens visar kontrasterna.

Förbättringsförslag för skala A: Det kom flera förslag på hur skalan skulle kunna förbättras. Bland förslagen nämndes en "starkare" gul, kombination av det gröna med ett mer transparent läge, och en djupare tonfärg som kan vara användbar vid urskiljning av området eller detaljerna. Om det finns många bullerkällor föreslogs tydligt separerade färger. Det vore fördelaktigt att exempelvis använda mörkare färg för mer ljud och ljusare färg för mindre ljud. Ett annat förslag handlade om att bara visa värden över gränsvärden med färger, och att nivåer som ligger på eller understiger ett gränsvärde värde lämnas ofärgade eller i en ljusare grön färg.

Kommentarer rörande skillnader skala A i heatmap och punktmoln: Det kom även kommentarer från deltagare som berörde skalan i förhållande till formen för den visualiserade datan. Skala A upplevdes som tydlig för heatmapen, men att den behövde justeras för den volymetriska visualiseringen (punktmolnet). Över lag så ställde den volymetriska visualiseringen högre krav på färgskalorna, det kommenterades att det snabbt upplevdes som lite rörigt och svårt att se och tolka informationen med för många färger.

B. Skala som Trafikverket ska använda enligt direktiv ("Trafikverket-skalan")

"Trafikverket-skalan" (figur 54) liknar regnbågsskalan. Den har nästan lika starka färger för alla steg och mycket starkare färger för de höga värdena. Skalan är populärt bland specialisterna och har hög igenkänningsfaktor. För specialisterna är det viktigt att kunna se stegen tydligt.



Figur 54. "Trafikverket-skalan": skala som Trafikverket ska använda enligt direktiv, baserad på Novak et al (2016).

Positivt med skala B: Det som upplevdes som positivt med skala B var att kontrasten mellan stegen var bra, att det fanns en tydlig skillnad mellan olika steg, dvs att färgerna inte kunde misstolkas, och att den tydligt kunde visa gränsvärden (enligt specialister i WS2). Orsaken till den tydliga skillnaden upplevdes vara att antalet färger inte var lika många jämfört med regnbågsskalan, och att mindre information skapar bättre tydlighet. Det ansågs vara en tydlig skala för att fästa användarens uppmärksamhet både på områden med högt och lågt ljud.

Negativt med skala B: Negativa aspekter som lyftes fram handlade bland annat om otydlighet och oklar intuitiv ordning mellan färgerna. I skalan ingick för många färger med hög mättnadsgrad, och det upplevdes även vara för stor uppdelning mellan lägsta och högsta värdena. Deltagare kommenterade att skalan var ett dåligt alternativ för personer med avvikande färgseende, bland annat pga. den likartade mättnadsgraden på de olika färgerna.

Färgerna upplevdes som "urkopplade" och skalan kallades "icke-intuitiv", "kändes slumpmässig" och var ett "ögonsår". Flera deltagare kommenterade på svårigheten att förstå betydelsen av färgerna och att färgordningen upplevdes som godtycklig. Den lila (magenta) färgen upplevdes av många som slumpmässig, och att området den representerade stod ut och drog blicken till sig. En mörkare röd föreslogs som ersättare. En deltagare kommenterade att brunt inte finns i regnbågen, vilket gör att regnbågsskalan inte kändes

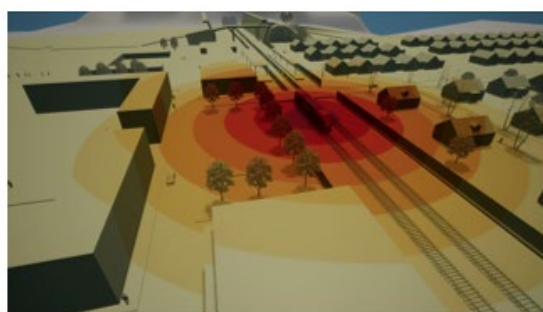
“vettig” och att den blå färgen borde tas bort helt och hållet. Den skarpa kontrasten mellan skalans olika steg upplevdes som olämplig för denna typ av visualiseringsverktyg.

Förbättringsförslag för skala B: Förbättringsförslag som kom upp i diskussionen var att det är bra att begränsa antal färger men också att använda inarbetade färgassociationer, till exempel för att uttrycka om gräns har passerats (rött utstrålar stopp eller förbud, gult drar mot det ena eller det andra, grönt är ok). Att använda grönt som färg för att representera gränsvärdet eller underliggande värden ansågs bra. Ett annat förslag handlade om att bara beskriva värden som översteg gränsvärdet. “Visualiseringen behöver bara visa var buller finns, inte var det inte finns.”

Kommentarer rörande skillnader skala B i heatmap och punktmoln: Det ansågs fördelaktigt att använda en färgskala med flera olika starka kulörtoner för volymetrisk visualisering, eftersom det upplevdes som enklare att se skillnaden mellan de olika nivåerna särskilt för punktmolnet.

C. Sekventiell skala från ljus till mörk

Denna skala (figur 55) är anpassad för avvikande färgseende, eftersom skillnaderna mellan stegen fortfarande framgår även om man inte kan se rött på samma sätt som personer med normalt färgseende. Skalan förordades av många av de som utvärderade, eftersom visualiseringarna ansågs lätta att tolka då skalan innehöll färre kulörtoner. Den förordades dock inte av specialisterna i lika hög grad som av studenterna. Specialisterna ansåg skalan mindre bra för analys eftersom skillnaden mellan varje steg i skalan inte ansågs vara tillräckligt stor och därigenom gjorde det svårt att identifiera varje steg separat.



Figur 55. Sekventiell skala, från ljust gul till en mörkare och mer mättad röd kulörton, anpassad från <https://colorbrewer2.org>.

Positivt med skala C: Färgskalan upplevdes generellt som intuitivt välfungerande naturligt lätt att förstå. En orsak till att skalan var lätt att förstå ansågs vara att den går stegvis från gult till rött och på samma gång från ljust till mörkt, vilket gör att man omedelbart förstod relationen mellan färgerna. Skalan beskrevs som intuitiv genom att uppmärksamheten riktas mot det mörkare området. Den gradvis ökande färgintensitet och flyttning från gult till rött symboliserar det gradvis ökande ljudet på ett bra sätt. Eftersom ökningen av ljudet också sker gradvis finns det inget behov av starka kontrasterande färger. Skalan är tydlig, och det är enkelt att se om nivåerna är nära varandra. Bra med två färger gult och rött, det blir inte så rörigt som en mångfärgad färgskala. Det gör det lätt att förstå vilka delar av miljön som är mer påverkad av ljud än andra.

Färg och mättnad ansågs fungera på ett bra sätt i skalan. Hög kontrast och fin gradient, ökad färgmättnad är ett bra sätt att visa bullerintensitet. Det är bra att dra användarens fokus till ljudkällan, fint flöde mellan färgerna och färgerna är väl synliga i alla bilder.

Den röda färgen i skalan ansågs fungera bra. En deltagare uttryckte det som att rött med fördel kan associeras med starka värden: "även om man inte associerar rött som en farlig färg, skulle det fortfarande vara tydligt eftersom den röda är starkare än de andra".

Skala C ansågs vara en bättre version av skala F med större skillnader.

Negativt med skala C: Viss information upplevdes kunna gå förlorad på grund av många liknande färger, dvs för små skillnader i gradienten, vilket kunde medföra att man lätt kan blanda ihop vilken nyans som korrelerar med vilket sifferspann. Konsekvensen av detta gör att skalan kan vara sämre lämpad för analys. Däremot kan skalan fungera bättre om det för diskussionen/dialogen inte är så viktigt att relatera till ett visst sifferspann (kommentar från specialist i WS2).

Förbättringsförslag för skala C: Förbättringsförslag inkluderade större skillnader mellan färgerna, och någon form av konturer på de mörkaste föremålen för att verkligen se dem tydligt. Det kommenterades också att färgerna tydligare skulle komma fram om bakgrunden inte var grå. För ökad tydlighet föreslogs att minimera antalet färger till en enda för att visa ökande eller minskande värden.

Kommentarer rörande skillnader skala C i heatmap och punktmoln: Även om den volymetriska visualiseringen i sig av flera ansågs vara sämre än den draperade heatmappen för att visa detaljerade skillnader, ansågs skala C bättre fungera bättre för urskiljning av punktmolnsdata än de andra skalorna.

D. Divergerande skala för avvikande färgseende

Denna skala (figur 56) är anpassad för avvikande färgseende. Den innehåller gula och blå färger som de flesta människor kan se väl. Skalan uppfattades som tydlig genom sina starka kontraster och väl urskiljbara steg. Färgvalet uppfattades som ovanligt och mindre intuitivt än att använda rött och grönt. Specialisterna ansåg skalan mindre bra på grund av framför allt det ovanliga färgvalet, där färgen blå associerades med vatten.



Figur 56. Divergerande skala anpassad för avvikande färgseende, från mättad blå till gul kulörton, anpassad från Ware (2004).

Aspekter som upplevdes som positiva för skala D: Skillnaden mellan färgerna (gradienten) i skala D upplevdes som tydlig med stora steg, vilket gjorde det lätt att åtskilja dem, och därmed lätt att se de olika bullernivåerna. Skalan upplevdes som positiv då den både är tydligt urskiljbar och samtidigt är anpassad för avvikande färgseende. Dessutom är det stor kontrast mellan gult och blått, både i ljushet och kulör, vilket ökar tydligheten.

Aspekter som upplevdes som negativa för skala D: Skalan uppfattades som att den hade ett ovanligt färgval. Färgerna blått och gult upplevdes som mer neutrala (mindre associativa) än rött och grönt, vilket kan anses som både bra och dåligt för en färgskala. En av deltagarna i WS3 liknade skalan vid en ljuskägla, där det gula i centrum angav att det mörkaste blå befann sig på andra sidan spektrumet. Den mörkare blå tonen uppfattades som en fin skugga som indikerade låg ljudnivå. Andra omdömen om färgerna var att det var “lätta för ögonen” (“easy on the eyes”) och “mysiga”.

Färgerna i skala D upplevdes inte vara intuitiva. En gul-blå skala är ett oväntat färgval som kan försvåra tolkningen, eftersom det inte kopplar till användarens tidigare erfarenheter av färgskalor. Färgvalet med blått och gult var inte så bra för begripligheten eftersom vare sig gult eller blått representerar negativitet. Härigenom kan det vara svårt att avgöra vilken värdering en viss nivå har. Grå som bakgrundsfärg ansågs inte fungera så bra tillsammans

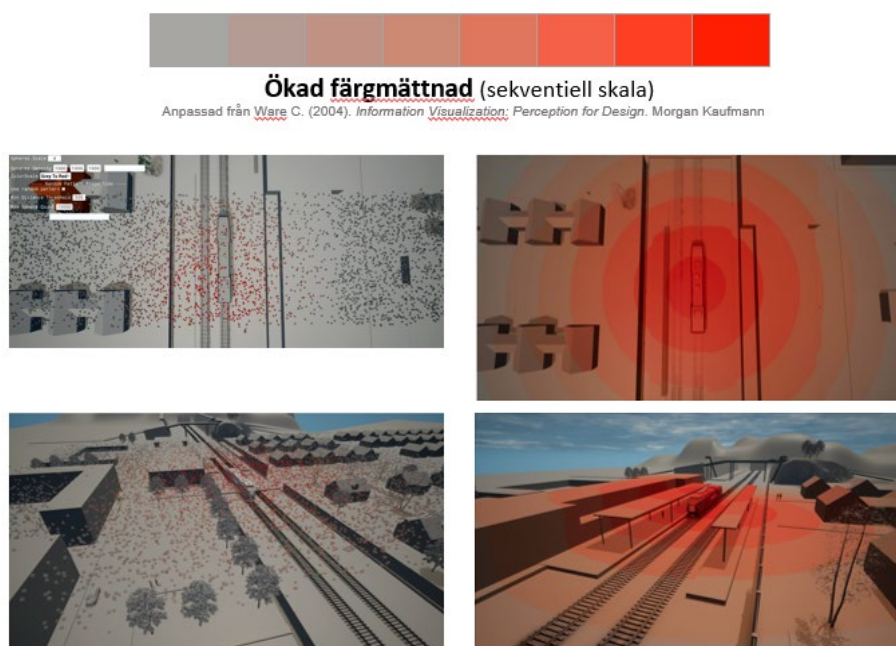
med skalan som använder grå som övergångsfärg mellan gul och blå. Grått ansågs vara lite märkligt som gränsfärg, då den var svår att urskilja och kunde misstolkas som avsaknad på data istället för att markera ett gränsvärde. Vidare upplevdes skalan av vissa som potentiellt förvirrande med en lysande färg i mitten, som gav associationer till ljuskälla, och där det blå kunde associeras med snö/kyla eller natt/nattbelysning. En av deltagarna i WS2 (specialister och forskare) kommenterade utmaningen med att anpassa divergerande skalor med två färger, eller skalor som går från ljust till mörkt, till den övriga modellen, då sådana skalor förutsätter en neutral bakgrund. De kan ge ett markant fokus på buller och kan därigenom vara svåra att kombinera med andra parametrar.

Förbättringsförslag för skala D: Det föreslogs att skala D skulle fungera bättre på en mörkare bakgrund. Den divergerande skalan skulle kunna hjälpa att visualisera en baslinje, beroende på vad mittpunkten ska representera. Andra förslag på förbättringar var att vända på ordningen på färgerna, samt att utveckla en variation där man går från ljusare gul till mörkare blått.

Kommentarer rörande skillnader skala D i heatmap och punktmoln: Både den volymetriska visualiseringen och heatmapen i skala D upplevdes som lätta att urskilja med skalan, både i 2D och 3D, eftersom färgkontrasten gav tydlig skillnad mellan färgerna. Dock angavs även att skalan kan vara problematisk för punktmolnsvisualiseringen.

E. Sekventiell skala med ökad färgmättnad

Denna skala (figur 57) har en ökad färgmättnad och går från mellangrått till klart orangeröd vilket gör att ljusheten blir ganska jämn över hela skalan. Ljusheten och kulörvalet gör att den är olämplig för avvikande färgseende. Skalan korrelerar med teorin (Graininger et al, 2016) om att ökad färgmättnad kan vara en bra idé för att göra en skala som är lätt att förstå. Skalan uppfattades också lätt att tolka snabbt genom att den gav en översiktlig bild över var det är mer eller mindre bullrigt. Men stegen uppfattades vara mycket oprecisa så bullernivåerna gick inte att utläsa.



Figur 57. Sekventiell skala med ökad färgmättnad från grått till klart röd kulörton, anpassad från Ware (2004).

Positivt med skala E: Hög kontrast, fin gradient, och tydligt färgschema. Den sekventiella färgskalan med färgens gradvis ökande intensitet symboliserar gradvis ökande buller på ett bra sätt och gör det enkelt att differentiera "världens riktning", särskilt vid flera ljudkällor. Skalan med ökad färgmättnad uppskattades generellt. Den gör det enkelt differentiera bullernivåerna, att förstå var buller har hög eller låg intensitet. Det uppfattades också som positivt att det inte finns några hårda gränser eller linjer mellan färgerna som representerar värden för bra eller dålig. Skalan är också "snäll för ögonen" och när man bara arbetar med färgmättnad blir det mindre plottrigt än till exempel i skala A och B. Även att kunna se hur färgen tunnare blir när buller inte längre är skadligt upplevs som positivt. Jämfört med skala F så är skala E bättre på att dra till sig uppmärksamhet.

Att bara ha en färg upplevs som bra och tillräckligt. Det gör visualiseringen tydlig, mindre rörig och det är enklare att se mitten (centrum). Samtidigt kan den visa ett brett spektrum av ljudnivåer med en relevant färg. En annan positiv aspekt av att ha olika nyanser av en och samma färg är att användaren inte behöver reflektera över färger som inte verkar passa visualiseringen.

Den röda färgen fungerar bra. Rött associeras ofta med "allvar" eller att "någonting är fel" och symboliserar att "här är det höga nivåer" vilket passar bra med kontexten och ger användaren en snabb förståelse för där bullernivån är för hög. Representationen visar tydligt att bullret minskar där det gråa representerar "inte bullrigt", vilket fungerar bra i denna situation.

Skalan filtrerar relevant information, dvs visar området med hög bullernivå, vilket underlättar att förstå innehållet. Skalan är bra på att visa buller-falloff där hög färgmättnad innebär kraftigt buller.

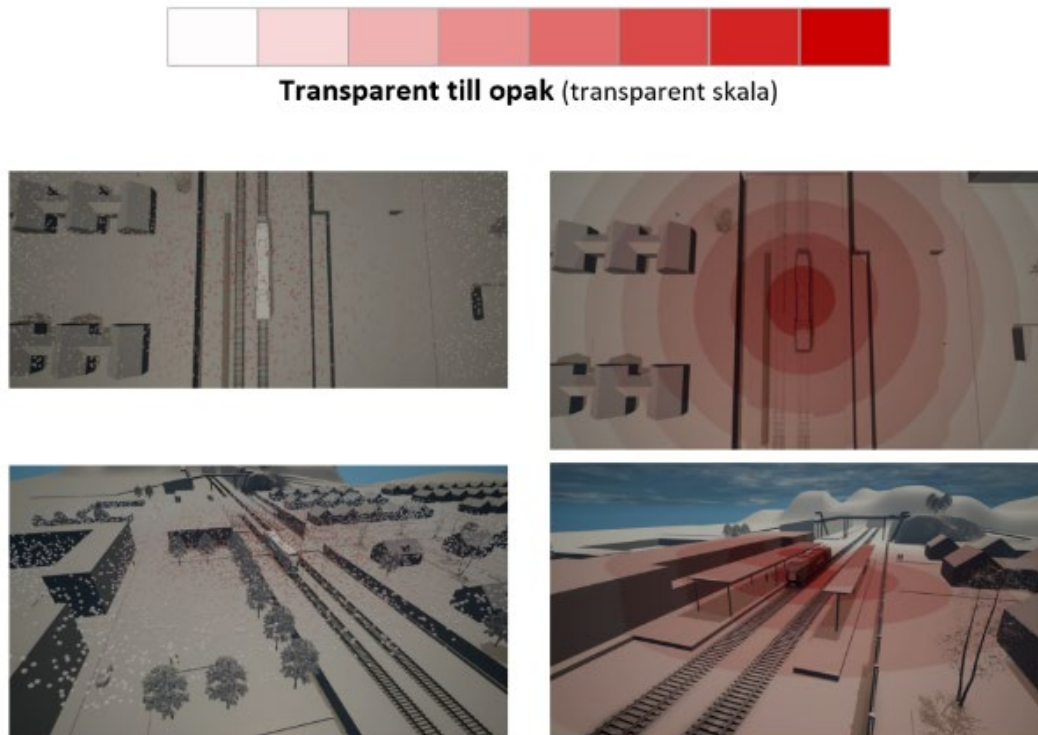
Negativt med skala E: Skillnaderna mellan de olika stegen upplevdes som för små. Den lägsta ljudnivån hade en liknande färg som områdets bakgrund, vilket gjorde att det ser ut som om ljudnivåerna tunnades ut naturligt. Den röda färgen var lite svårare att se när skalan är draperad på ett grått landskap. Skalan associerades mer med värme än med buller eller ljud. Mindre skillnad mellan värden är mindre iögonfallande men riskerar att vara mer svårtolkade. Skalorna E och F upplevdes båda av specialisterna som bleka, då gränserna mellan färgerna är otydliga.

Förbättringsförslag för skala E: Den röda färgen skulle kunna vara ännu mörkare.

Kommentarer rörande skillnader skala E i heatmap och punktmoln: Skalan fungerade bättre för heatmap än för den volymetriska visualiseringen (punktmolnet).

F. Sekventiell skala från transparent till opak

Denna skala (figur 58) har gått från transparens till opak i en starkt röd kulörton, vilket gör även denna skala olämplig för avvikande färgseende. Bilderna som användes i studien visar en kulörsvagare version av skalan, som man tydligt kan se i figur 58. Det här kan ha påverkat bedömningen av skalan. Skalan uppfattades som mindre intensiv än E, men ganska lik i flera avseenden. Den var lätt att tolka snabbt genom att den gav en översiktlig bild över bullrets utbredning. Stegen uppfattades mycket oprecisa så att bullernivåerna inte gick att utläsa. Den kunde också uppfattas som tråkig och grå.



Figur 58. Sekventiell monokromatisk skala från full transparens till full opacitet, med en mättad röd kulörton, utvecklad inom projektet.

Positivt med skala F: Skalan har ett tydligt färgschema, fin gradient med ett tydligt centrum och mjuk övergång mellan nivåerna. Den ansågs vara ett bra val om det föredras mindre intensitet (jämfört med skala E) och är lätt att förstå på grund av transparensen. Studenterna upplevde den uttunnande transparenta skalan att passa syftet att visualisera buller väl - ju längre bort från källan, desto mindre färg (mindre buller). Uttunning av färgen gjorde att man kunde fokusera på de "farliga" nivåerna. Färgvalet ansågs rimligt röd = fara, vit = ok, med en bra färgmättnad. Likt skala E är skalan inte distraherande, användaren kan fokusera på det som är relevant när det inte finns några andra färger som kräver användarens uppmärksamhet. Genom att använda en färg som röd som många associerar med "något är fel", kan användaren snabbt förstå att ljudnivån är för hög. Att bara använda olika värden av samma färg är bra för att användaren inte behöver reflektera över färger som inte verkar passa in i visualiseringen.

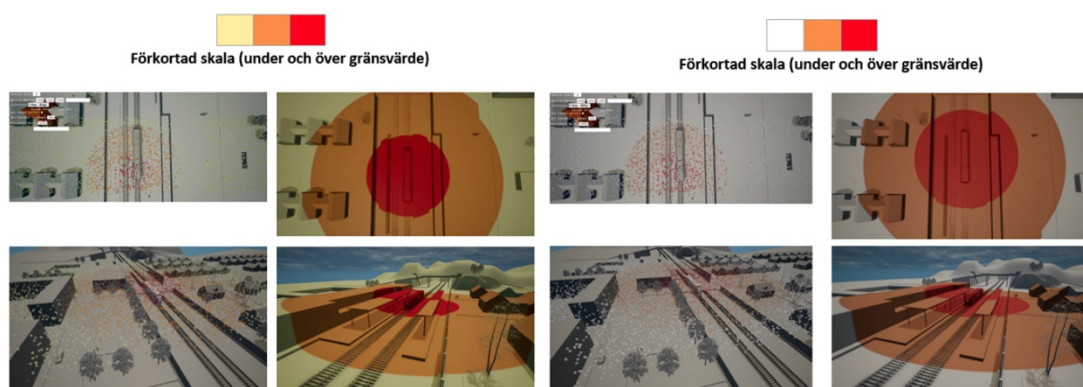
Negativt med skala F: Färgerna upplevdes som inte så tydliga med risk att bli svårlästa om datorns bildskärm har dålig upplösning. Skalan upplevdes också som tråkigt och grå, med svårigheter att urskilja bakgrund eller låga värden och att det kan se ut som om det inte finns några problem med buller. Halvtransparenta uppdelningar är också mindre skarpa, och låga nivåer kan bli osynliga, vilket inte är önskvärt.

Förbättringsförslag för skala F: Mer mättnad mellan nivåerna. Omtyckt att visualiseringen liknar ljudvågor. Vore bra att lägga till 3D-animering i cirkulärna.

Kommentarer rörande skillnader skala F i heatmap och punktmoln: Sfärerna i punktmolnet var svårlästa.

G. och H. Förkortade skalor (över och under gränsvärde)

Dessa två skalor togs fram för att tillgodose det uttalade behovet bland både specialister och studenter av att ibland kunna skapa en effektiv visualisering med förenklad information och möjlighet att välja antal steg (figur 59). Den ena skalan är en förkortad skala C som går från gult till rött, medan i den andra skalan är den gula färgen utbytt mot en vit. De tre färgstegen i skala motsvarar under, på och över gränsvärdet.



Figur 59. Två exempel på förkortade skalor. Gul-orange-röd (vänster), vit-orange-röd (höger), för att endast visa värden under, på och över gränsvärde. Anpassade från <https://colorbrewer2.org>.

Positivt med skalorna G och H: Skalorna uppfattades som tydliga eftersom de använde ett fåtal färger, hade en minimalism med hög kontrast. Att bara ha 3 steg förenklar och det upplevdes enklare att förstå 3-stegsskalor jämfört med 8-stegsskalor. Det var enkelt att förstå vad som är hög och lågt och var fokuset är, och tillräckligt enkelt för att förstå "poängen" med informationen, dvs skalorna ger en enkel översikt dock med begränsad mängd av information. Att använda få steg kan vara ett bra sätt att visualisera om syftet är att demonstrera gränsvärden eller bara ett fåtal bullervärden är i fokus. Färgskalan upplevdes som bra, med röd i mitten och "mjuka" färger för lägre bullernivåer och "starka" färger för höga bullervärden. Skala G och H är praktiskt taget samma, men skala H har en mindre räckvidd eftersom det första steget inte är färgat, vilket definitivt kan ha en positiv effekt på visualiseringen. Skala G är enklare att se än skala H eftersom den har ett mer naturligt flöde. Skalorna lämpar sig väl för avvikande färgseende.

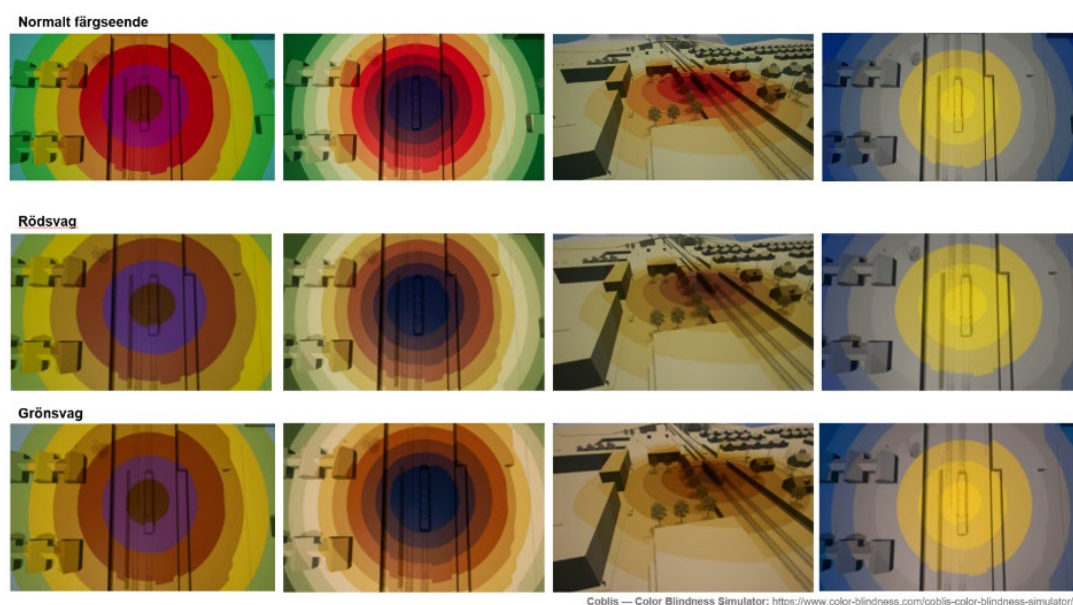
Negativt med skalorna G och H: Bland de negativa aspekterna angavs att skalan innehöll för få färger, dvs för få steg och brist på detaljer, vilket gjorde informationen oprecis ("det känns som att mycket information går vilse"), och att skalan inte upplevdes som dynamisk. (vilket också berodde på behov),

Skalan som går från vitt till rött uppfattades som att den bara hade två steg. Det vita som skulle representera områden med lägre ljud (under gränsvärdet) var svårt att urskilja.

Kommentarer rörande skillnader skala i heatmap och punktmoln: Skalan upplevdes av flera som den fungerade bra, både för den volymetriska visualiseringen och för den draperade heatmapen, medan andra upplevde att den fungerade sämre för den volymetriska visualiseringen. Den stora kontrasten mellan varje färg bidrog till tydligheten.

Jämförelse av olika heatmaps för avvikande färgseende

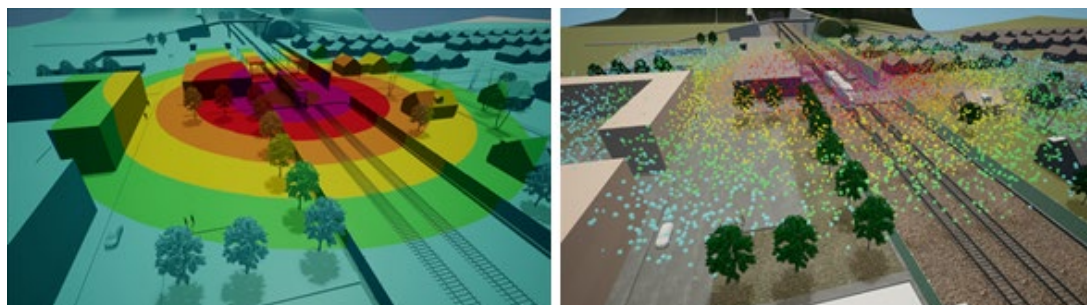
Resultaten från simuleringarna av skalorna med online-verktyget Coblis - Color Blindness Simulator (figur 60) visar att röda färger blir brunaktiga och de gröna färgerna får en svagare grön färg (lite mer gråaktiga) för både rödsvagt och grönsvagt seende och det är svårt att se större skillnader dem mellan. Skillnaderna mellan blått och gult liksom ljust och mörkt blir väldigt tydliga. Det visar hur svårt det är för någon med färgdefekt seende att kunna läsa av en rödgrön skala.



Figur 60. Hur några av de utvalda färgskalorna i projektet fungerade för någon med avvikande färgseende visades med hjälp av Coblis - Color Blindness Simulator.

Formspråk: Heatmaps och punktmoln

Här sammanfattar vi resultaten från användartesterna med draperade heatmaps och volymetrisk visualisering i sandlådmodellen (figur 61).



Figur 61. Exempel på draperad heatmap (vänster) och volymetrisk visualisering som punktmoln (höger) för rörlig ljudkälla i sandlådmodellen, här representerad med "Trafikverket-skalan".

Tester gjordes med heatmaps draperade dels över hela modellen, dels enbart på markplan. Under utvecklingsarbetets gång förkastades det sistnämnda alternativet och utvärdering gjordes endast med konceptet heatmap draperad över hela modellen. En kombination av heatmap och volymetrisk visualisering diskuterades men fördjupades ej i.

Positiva aspekter avseende konceptet draperade heatmaps ansågs vara att de skapar överblick snabbt, ger möjlighet att visa avgränsningar/filtreringar/specifika steg, och tillåter fler steg i skalan än den volymetriska visualiseringen. Negativa aspekter handlade främst om tappad bakgrundsinformation på grund av att den färgar in modellen, samt att den bara anger information kopplad till ytor, dvs ej inkluderar luftrummet.

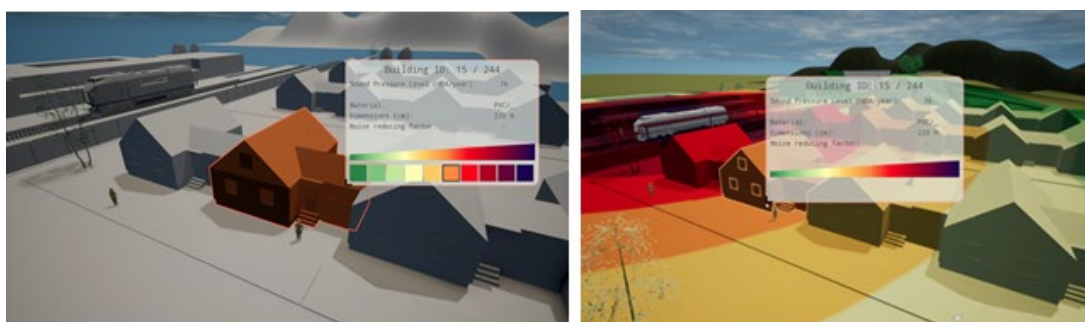
Volymetrisk visualisering (punktmoln) ansågs ge bra förståelse, och vara intressant för att visa utbredningen av ljudet även i höjddled, dvs information i hela 3D-rummet kan visas. Negativa aspekter handlade främst om att den visuellt ser mer ut att vara lämpad för luft än för buller, ser rörig ut och kan misstolkas som att visa densitet.

Informationsnivåer (informationsrutor)

Här sammanfattar vi resultaten från utvärderingen av olika informationsnivåer i modellen i form av informationsrutor (figur 62, 63). Tester gjordes där information om bullereffekt på specifika byggnader visades via en informationsruta med fördjupad information.



Figur 62. Konceptvisualisering för hur man kan visa fördjupad information om bullersituationen på en specifik plats.



Figur 63. Konceptvisualisering för hur man kan klicka på en viss byggnad i modellen och framhäva denna tillsammans med fördjupad information för just den platsen, både utan omgivande bullersituation (vänster) och med omgivande bullersituation (höger).

Deltagare i användarstudierna var mycket positiva till möjligheten att gå från mer översiktlig till mer detaljerad information i modellen. Flera kommenterade hur bra det var att kunna fokusera på specifika objekt (exempelvis en viss byggnad) och få fram detaljerad information. Det upplevdes som att informationsrutorna gav en mer nyanserad bild av förhållanden som varierar inom grannskapet, minskade tvetydigheten, men även att de skulle kunna användas för att avslöja möjliga trender, och vara gnistan för olika idéer. Det upplevdes som bra att man kan filtrera datan och denna lösning skapar interaktivitet och möjlighet till eget utforskande. Detta kan hjälpa till vid identifierandet av problemområden och jämförelser mellan olika platser. Informationsrutan uppfattades som att komplettera heatmapen väl genom att informera om bullernivåer, byggnadsmaterial mm.

Lösningen med att visa en färgskala och dess värden ansågs göra det lätt och snabbt att få en överblick över bullernivåerna liksom ljudkällans ursprung. Färgskala A användes för att visa exemplet med informationsrutor och för detta ansågs skalan fungera mycket väl. Informationsrutan med färgskalan i gjorde det enklare att identifiera bullernivåerna. När det aktuella skalsteget är markerat blir det ännu enklare att koppla till den korresponderande färgen i modellens datavisualisering.

Förslag på förbättringar handlade mest om innehållet i informationsrutan, exempelvis att lägga till ytterligare förklarande information i diagrammet, som att förklara ljudnivåerna ytterligare. Ett förslag till förbättring gällde placering av rutan. Frågan var om det skulle vara möjligt att placera den vid sidan av modellen. Ett annat förslag gällde att stryka dubbleringen av skalor (se figur 63, bilden till vänster) och det framfördes att den undre skalan borde vara tillräcklig. Andra förslag på förbättringar handlade om att förfina områdena att undersöka med den fördjupade informationen, exempelvis att kunna fokusera på olika sidor eller delar av en byggnad och visa olika ljudnivåer där, eller lägga till ett interiörperspektiv med ett fönster på en viss sida av huset särskilt mottagligt för buller. Även klargöra ljudkällan ännu mer. Deltagarna skissade på egna idéer för förbättringar direkt i Miro (figur 64, 65).



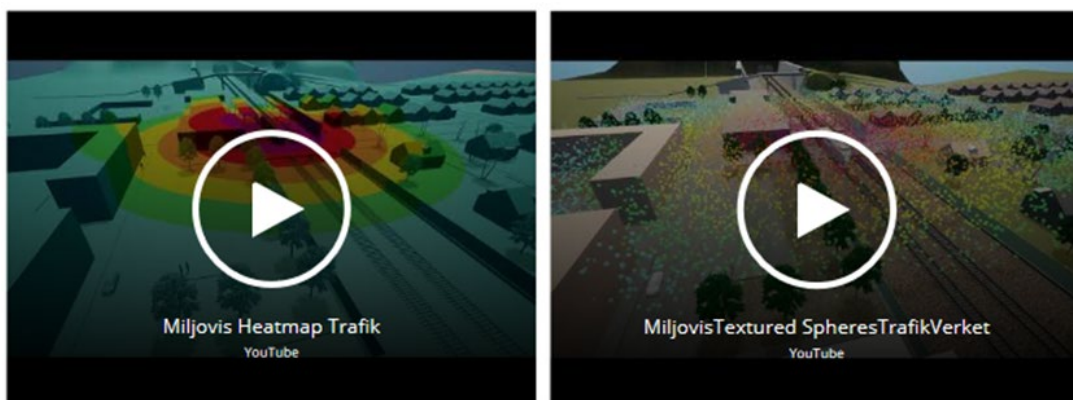
Figur 64. Idéskiss för bullervisualisering från en av studentgrupperna i WS3.



Figur 65. Idéskiss för bullervisualisering från en av studentgrupperna i WS3.

Rörelse och perspektiv

Nedan visas resultat för representation av buller i rörelse och visualiseringar av hur en rörlig ljudkälla påverkar ett område (figur 66). De framtagna animeringarna i form av korta Youtube-filmer uppskattades av workshopsdeltagarna ("cool", "sexy", "great", "mycket begripligt", "trevligt med visualisering i 3D där du kan se buller i aktion") och pekar på vikten av att ha med rörlighet i visualiseringen. Animering visade sig vara ett effektivt sätt att skapa överblick och förmedla mycket information på ett tydligt sätt. Det passar bra för att illustrera och förklara komplicerade begrepp som kräver en detaljnivå över ett större område. Animerad rörelse är närmare verkligheten och animerad visualisering ger ytterligare en förståelsenivå. Den hjälper också till att förstå förändring av buller beroende på avstånd och tid.



Figur 66. Skärmvy över filmklipp med rörlig ljudkälla representerad som heatmap (vänster) och punktmoln (höger).

Rörligheten i animeringarna upplevdes ge en mycket bättre förståelse av buller eftersom buller ofta relateras till rörelse eller att man försöker lokalisera det. I animeringarna blev det tydligt var ljudkällan finns, hur den förflyttar sig, hur buller sprider sig längs järnvägen medan tåget passerar, samt vilken påverkan den har på hela området. Dynamiken och den ringliknande representationen av buller underlättade förståelse och matchade den mentala modellen där ljudvågor som sprider sig från en källa. Tid är en viktig aspekt när det gäller bullernivåer och för att simulera verkligheten ger bättre helhetsbild av hur buller sprider sig över tid. Det upplevdes som bra med en visualisering som visar hur mycket tåget låter och hur långt det når vilket bidrar till förståelse av varierande ljudnivåer över tid. Det tillåter användare också att överväga påverkan av hastighet, till exempel om buller bara kvarstår i 1 sekund när tåget passerar, så är det kanske inte lika viktigt.

Animeringarna uppfattades som ett intuitivt sätt att presentera data och lätta att förstå och följa, men kanske mindre intuitiva att jobba med. De uppskattades då de ger en mycket tydlig bild och god känsla för miljön. Samtidigt kan det vara svårt att exakt identifiera de områden som är påverkade av buller. Färger ansågs fungera bra, enkla och lätta att förstå ("bra färgkodning"). Den tredimensionaliteten gillades. Specialisterna påpekade att animeringarna visar nivåer över tid för enskilda passager men inte om man klarar bullerkrav i och med att nivåerna i förhållande till kraven inte kan utvärderas förrän en (eller oftast flera) passager har beräknats i sin helhet).

Det ansågs bra att använda både punktmoln och heatmaps för att illustrera bullret räckvidd och styrka men heatmaps uppskattades mer. Heatmaps ger en bra överblick, är mycket tydliga och lätta att förstå, bland annat är det lätt att skilja mellan olika nivåer och följa dessa och att identifiera variationer i bullernivåer. Färgerna fungerade bra i heatmaps. Punktmoln ansågs ge en bra upplevelse av buller, men det var svårt att se skillnad mellan enskilda sfärer, att åtskilja färger och att förstå varje sfärs placering i höjddled. De blåfärgade sfärerna upplevdes lite förvirrande - man undrade vad de egentligen betydde, samt vad det innebar när det inte syntes några sfärer alls. Några av deltagarna tyckte initialt att punktmolnsvisualiseringen var förvirrande och att det var svårt att se vad som visades. Sfärerna var vackra men de täckte landskapet lite för mycket, vilket gjorde det svårt att urskilja färgnyanser och svårt att se förändringar. Det sågs också som en risk för att sfärerna blev plottriga, samtidigt som det fanns möjlighet att skapa en enhetlig översikt.

Flera utvecklingsförslag som framfördes. Exempelvis att använda ljud för att visualisera buller skulle kunna ge en ännu bättre förståelse för dynamiken och bullerspridning i ett visst område.

2D-bullercirkel skulle kunna omvandlas till en 3D-cirkel, dvs en vertikal kupol ovanför ljudkällan för att visa hur buller sprids uppåt. Det vore också intressant om kameran roterades under tiden så att effekterna på till exempel den andra sidan av byggnaderna visas. Ett annat förslag var att använda vägen som ett skjutreglage så att man kan flytta objektet som ljudkällan upp eller ner och se hur ljud beter sig i relation till omgivningen. Det skulle också vara intressant att utöka fokus på en källa och visa hur det påverkar omgivningen även att inkludera en visualisering av ljud som studsar mellan 3D-byggnaderna. Visualisering av sfärerna skulle kunna utforskas genom att testa mindre enheter och öka densitet. Det skulle också vara intressant att kunna kombinera rörlighet med möjligheten att filtrera, lägga till detaljer, och jämföra med existerande liknande scenarios. Målet skulle kunna vara att alla användare i ett projekt jobbar i samma modell, vilken uppdateras i realtid och där man själv väljer vad man vill fokusera på.

Symboler

Här sammanfattar vi resultatet från utvecklingsarbetet med att ta fram anpassade symboler för användning i en 3D-modell, något som Trafikverket idag saknar. Idag levereras modeller till Trafikverket i olika programvaror, vilket medför att symboler måste placeras direkt i modellen, men önskemål finns om att även kunna implementera dem i ett framtida gränssnitt.

Symbolerna kopplade till buller som tagits fram visas i figur 67. Deras slutliga färgskala kom att baseras på färger hämtade från Trafikverkets grafiska profil (figur 68). Koncept för att visa symboler i modell undersöktes och visualiserades i sandlådemodellen (figur 69 - 71). Aspekter som utforskades handlade både om utformning av symbolerna, sätt att implementera dem, och placering i modellen. En utvärdering av hur de implementerade symbolerna skulle se ut i modellen för en person med avvikande färgseende undersöktes även, med hjälp av verktyget Coblis - Color Blindness Simulator (figur 72).



Figur 67. De sju slutliga symbolerna som utvecklades i projektet. Från vänster till höger: elektromagnetiska fält, vibrationer, stömljud, ljud av, ljud på, högt ljud och tunnelknall.

Avseende representation av symboler handlade en utmaning om själva utseendet. Symbolerna skulle visas i 2D men fungera i den tredimensionella miljön, dvs vara tydligt urskiljbara på nära såväl som på långt håll. Till detta behövdes ett enkelt och intuitivt formspråk med få linjer. Vita symboler på färgad bakgrund bedömdes ge störst tydlighet. En tredje färg, gult, lades till för att demonstrera det aktuella fenomenet. Det fenomen som visade sig svårast att symbolisera i 2D var tunnelknall, som till slut kom att kräva ett 3D-perspektiv (figur 67, längst till höger).



Figur 68. Färgskala för de utvecklade symbolerna.

Andra utmaningar i framtagandet av symboler handlade om olika sätt att integrera dem i modellen, samt dess placering. Fördelar sågs med både gränssnittsbundna symboler i en panel (figur 68, 69) och symboler som en del av själva modellen (figur 70). En huvudtanke var dock att symbolen bör ligga i ett eget lager och kunna aktiveras av användaren vid behov, dvs slås av och på. Den ska sedan generera en vy där information ges om vald aspekt, i det område som symbolen hänvisar till. Att visuellt förstärka valt område kan göras på olika sätt, exempelvis med konturer (figur 68), med ökad kontrastverkan på valt område gentemot bakgrunden (användning av färg och ljus), eller med en draperad heatmap eller ett punktmoln för att beskriva en situation.



Figur 69. Symboler placerade i en fast position på skärmen, på en panel i gränssnittet. Genom att klicka på en symbol lyfter modellen fram relevanta områden som blir påverkade utifrån vald parameter, exempelvis stömljud.



Figur 70. Flytande symboler som visas när du klickar på motsvarande symbol i gränssnittet. De tillhör inte 3D-modellen utan är en del av användargränssnittet och syns alltid i en storlek som är läsbar.

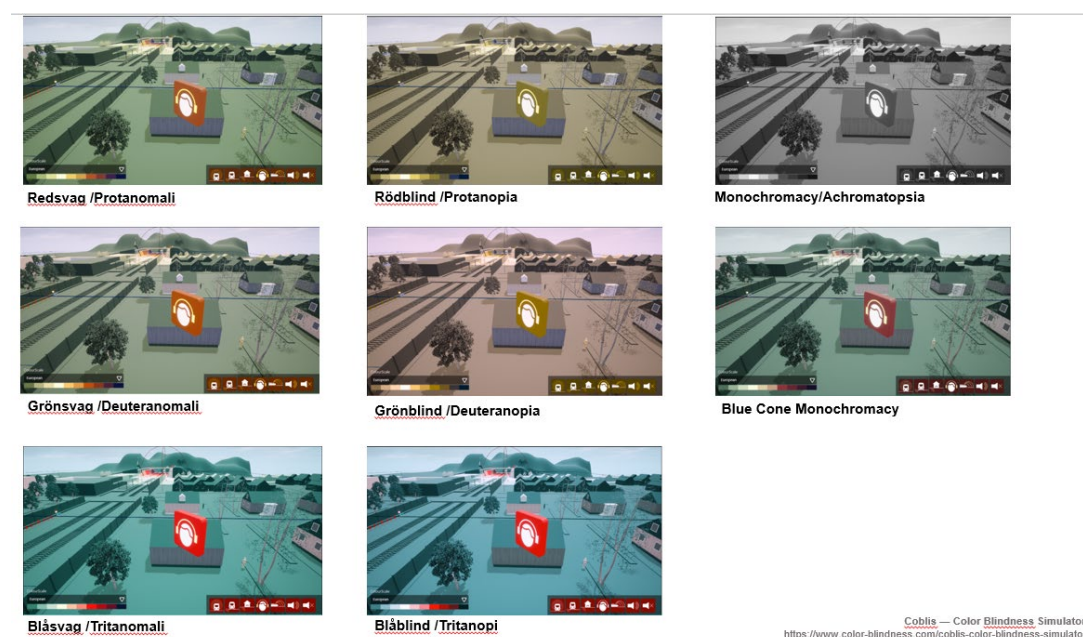


Figur 71. Symboler placerade som objekt direkt i modellen. De tillhör modellen och krymper i storlek när vi zoomar ut. Deras funktion kan vara att markera påverkade områden.

Kommentarer från Trafikverkets specialister och representanter från referensgruppen avseende förslaget med att placera symboler som objekt direkt i modellen handlade både om synlighet i modellen och om interaktion. Önskemål avseende synlighet inkluderade bland annat att alltid ha samma storlek på symbolerna oberoende på avstånd och att använda möjligheterna med 3D och realtid. Att visa symboler som volymer ansågs bra, exempelvis som kuber för ökad synlighet från olika håll, eller som billboards (ensidiga skyltar alltid med framsidan vänd mot användaren). Avseende interaktion ansågs det positivt med möjligheten att göra dem klickbara, och visande / utlösande påverkansområdet för vald aspekt. En kommentar om syfte handlade om att symbolerna bör visa analysen av området utifrån vald parameter.

Förutom utformning diskuterades placering i modellen. Placeringen skulle i så hög grad som möjligt vara intuitiv, dvs placeras på relevanta och representativa områden för vald aspekt. Exempelvis skulle symbolen för fenomenet tunnelknall placeras utanför tunnelmynningen, i området där fenomenet blir märkbart för omgivningen.

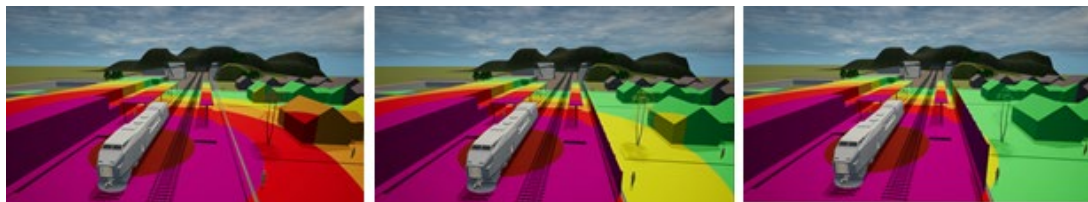
Avseende hur de symbolerna kan te sig för någon med avvikande färgseende gjordes en bildanalys i Coblis - Color Blindness Simulator (figur 72). Symbolernas grafiska utseende verkar fungera tydligt för olika typer av avvikande färgseende. Vid framtagandet av skärmbilder från modellen innehållandes symboler kan det vara värt att tänka på placering och vinkel, då bakomliggande information ibland kan ligga nära i färg med symbolens ytterkanter.



Figur 72. Utvärdering av hur de utvecklade symbolerna kan te sig för någon med avvikande färgseende.

Scenarier

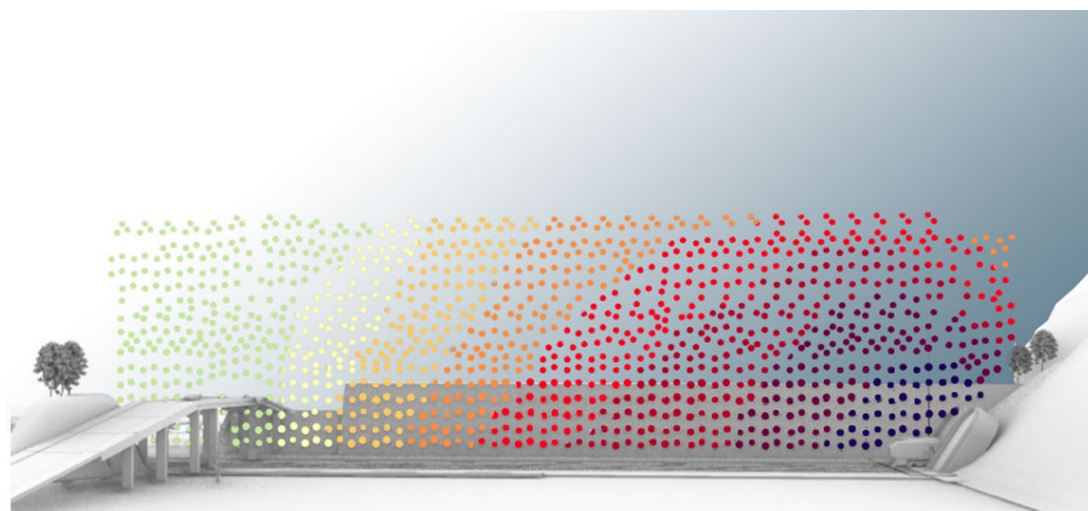
När man ska kommunicera ett förslag är viktigt att kunna visa olika åtgärders syften och effekter på omgivningen. Att kunna visa scenarier är en av de stora fördelarna med att kunna visa information i 3D-modeller. Scenarier som utforskades berörde förändrad bullersituation med ett bullerskydd (figur 73), tunnelknall (figur 74, 75) och elektromagnetiska fält (EMF) (figur 76).



Figur 73. Olika konceptuella scenarier för hur bullersituationen kan se ut utan bullerskydd (vänster), med ett lågt bullerskydd (mitten), och med ett högt bullerskydd (höger). Scenarierna representeras med "Trafikverket-skalan" som draperad heatmap i sandlådemodellen.



Figur 74. Konceptuell visualisering av tunnelknall i fågelperspektiv (vänster) och top-downperspektiv (höger), representerad som en draperad heatmap med den föreslagna standardskalan för buller inom EU (se figur 60).



Figur 75. Konceptuell visualisering av tunnelknall i sektion, representerad som volymetrisk visualisering med den föreslagna standardskalan för buller inom EU (figur 60).



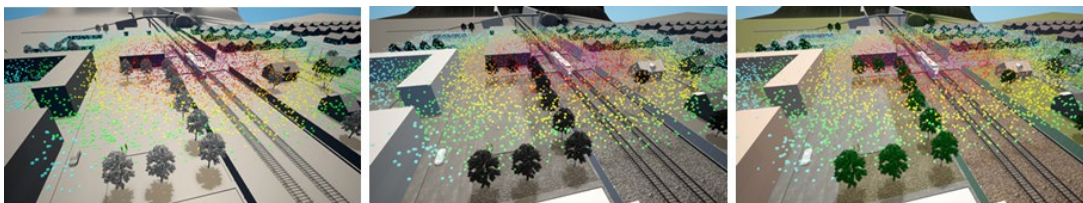
Figur 76. Konceptuell visualisering i sandlådemodellen av elektromagnetiska fält, representerad som tredimensionell heatmap, med "Trafikverket-skalan".

Detaljeringsnivå

Här sammanfattar vi resultaten från utvärderingarna avseende detaljeringsnivå (färg och textur), både för själva modellen (figur 77) och för miljödatan, visad som volymetrisk visualisering (figur 78).

Detaljeringsnivå på modellen

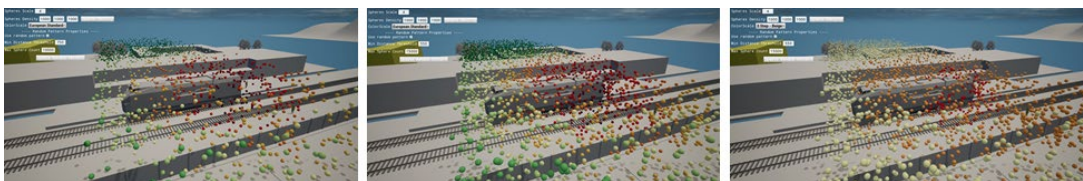
Avseende detaljeringsnivåer på själva modellen jämfördes olika alternativ första gången i WS1. Efter detta tittade vi vidare på frågan om detaljeringsnivåer under utvecklingen av visualiseringslösningarna. Detaljeringsnivåerna som undersöktes var ofärgad (vit) modell utan texturer (figur 77, vänster), gråskalig modell med texturer (figur 77, mitten) och fullfärgad modell med texturer (figur 77, höger). Frågan som ställdes var vilken nivå som fungerar bäst när man ska visa en miljöparameter, som exempelvis buller.



Figur 77. Olika detaljeringsnivå på modellen för att kunna definiera vilken nivå som ger bäst förståelse för själva bullervisualiseringen: ofärgad (vit) modell utan texturer (vänster), gråskalig modell med texturer (mitten), fullfärgad modell med texturer (höger).

Detaljeringsnivå på miljödata (volymetrisk visualisering)

För volymetrisk visualisering gjordes tester med både färg, storlek och densitet på sfärerna (figur 78). Avsikten var att undersöka hur stor och tät den volymetriska visualiseringen behöver vara för att skapa bäst förståelse både för data som visas tillsammans med omgivningen.



Figur 78. Tester med olika densitet på den volymetriska visualiseringen med tre alternativ som sträcker sig från få punkter (vänster) till ökande antal (mitten, höger) med olika färgskalor.

Utveckling av prototyp för storskalig modell

Arbetet som kopplade till prototypen av den storskaliga modellen resulterade i ett skalbart arbetsflöde och identifiering av programvaror och metoder för att visualisera storskaliga data på en visualiseringsplattform. Metoden består av två delar, a) världsskapande och b) data visualisering. Världsskapande handlar om att använda tillgänglig GIS-data för att generera en virtuell 3D-stadsmodell. Datavisualisering handlar främst om att visualisera storskaliga analysdata samtidigt som arbetsflödets processuella karaktär och kompatibilitet med den digitala miljön bibehålls.

World creation

Vi har använt GIS-data från Lantmäteriet⁵ och från andra nationella dataleverantörer för att procedurrellt skapa terräng, vegetation och byggd miljö (byggnader och vägar) i det valda området (Göteborg - Borås). Figur 79 visar olika vyer i den storskaliga modellen av ett 30 x 6 km stort område med dubbelspårig järnväg. Tabell 4 sammanfattar tidsåtgång för de olika processerna. De primära komponenterna som valts ut för den naturliga miljön är terräng och vegetation, medan den byggda miljön huvudsakligen består av byggnader och vägar. Det framtagna arbetsflödet kan vid behov utvidgas till att kompletteras med fler detaljer, till exempel vägmärkingar, trafikskyltar och gatumöblering.

I detta skede syftade projektet till att producera ett skalbart arbetsflöde och utforska mjukvaran och metoderna för att visualisera storskaliga data. Nedan beskrivs arbetsflöden för att skapa den storskaliga modellen.



Figur 79. Skärmbvyer från den storskaliga modellen.

⁵ <https://www.lantmateriet.se/>

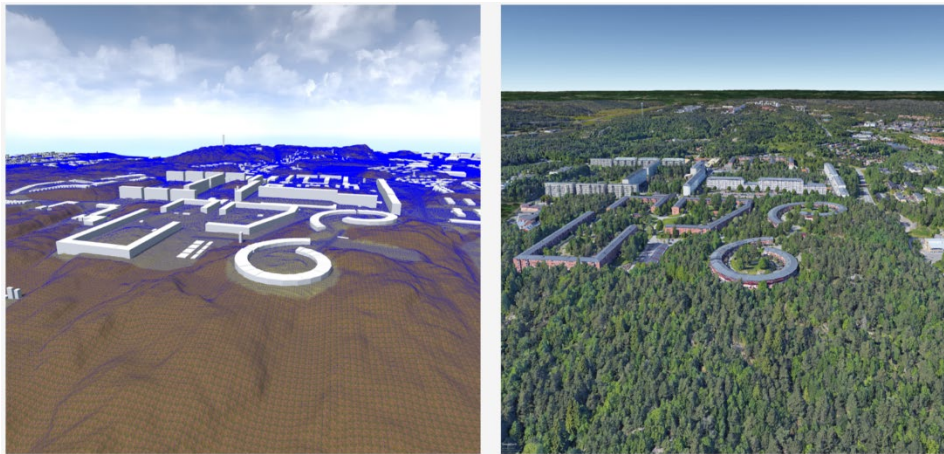
Tabell 4. Tidsåtgång för att generera och ladda element (assets) i den stora modellen. * Manuell input

Process	Time (min)	Process	Time (s)	Program
Generate assets	23.43	Writing	513.1	FME
			42.6	
			8	
		Writing Mask	14.1	
			264.2	
			113.8	
			151.1	
			165.8	
			132.8	
Load assets	6.11	Unreal import config	*	Unreal
		World Composition	205.7	
		Import Building Mesh	152.5	
		Align meshes	*	
		Foliage	8.42	Unreal

Terräng

Lantmäteriet tillhandahöll en digital terrängmodell (DTM) med en upplösning på två meter per pixel, som bestod av 6,25 kvadratkilometer rutor. Terrängmodellen importerades till Unreal Engine via funktionen World Composition (figur 80). För att säkerställa att arbetsflödet var automatiskt introducerade vi ett efterbehandlingssteg som samplade det inkommande DTM-rastret till en förutbestämd upplösning. Rastren kombinerades sedan till ett raster som delades upp i specifika storlekar för att säkerställa maximal yta, samtidigt som antalet rutor i spelmotorn minimerades. Det sista steget i att skapa terrängmodellen var att säkerställa att rutorna namngavs så att spelmotorn skulle kunna identifiera rutmönstret⁶.

⁶ <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/BuildingWorlds/Landscape/TechnicalGuide/>



Figur 80. Digital terrängmodell visualiserad i Unreal Engine (vänster). Skärmdump av samma område i Göteborg från Google Earth (höger).

Vegetation

Lantmäteriet tillhandahöll data angående klassificeringen av markanvändning i form av vektorpolygoner. Datan bestod av 13 markanvändningsklasser som vatten, barrskogar, lågbyggda, högbyggda och industriella områden. För enkelhetens skull minskades markanvändningsklasserna till fyra - vatten, skog, gård och städer. För var och en av dessa markanvändningsklasser skapades en yta. Sedan utfördes en process med uppdelning och namnbyte på ytorna (output tiles). Vegetation genererades automatiskt (figur 81).



Figur 81. Vegetation som genererats genom Procedural Mesh Generator.

Vägar

Lantmäteriet och Trafikverket tillhandahöll vägdata som centerlinje-vektordata. Vektordata består av tjugo väglklasser som tunnlar, genomfarter, allmänna vägar och vägar under uppbyggnad, tillsammans med en rad vägbredder. Vi förenklade genom att dela in vägarna i fyra klasser och tilldela varje klass fasta vägbredder. Centerlinjedatan efterbehandlades sedan för att kunna skapa masker för spelmotorn.

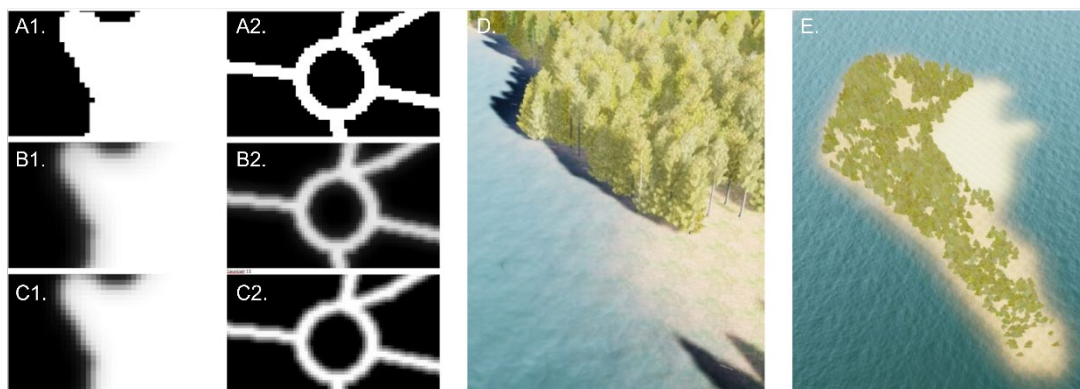
Mittlinjerna användes för att skapa ytor med olika vägbredd enligt väglklass. Ytan utökades därefter för att inkludera väggränsregioner. Ytorna delades in i rutor och namngavs.

Landskapsintegrering

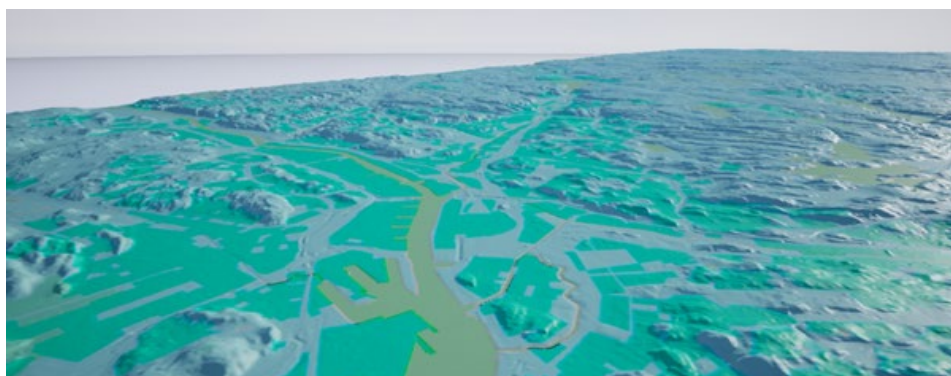
Det sista steget i förberedelsen av landskapsrutorna var att se till att de olika lagren införlivades i en enda sömlös komposition. Två problemställningar togs upp i detta steg:

1. Markanvändningsgränserna genererades oavsett vägnät. Detta orsakade en överlappning av binära rastervärden vid skärningspunkten mellan en markanvändningsklass och ett vägsegment.
2. Processen för rastering av vektordata resulterade i en kraftig nedgång i cellvärdena; detta medförde att man får visuella pixelgränser vid kanterna av vektordatan.

Först minskade vi rasterdatan för markanvändningslagret för vägnätet för att undvika överlappning. Sedan applicerades ett konvolutionsfilter över lagren med hjälp av en gaussisk funktion, vilket säkerställde en gradvis nedgång i värden vid gränserna för lagren (figur 82). För att slutföra integrationsprocessen importerade vi sedan terrängmasken till Unreal Engine med hjälp av funktionen World Composition, gav skalningsfaktorer i x-, y- och z-led, och tilldelade efterföljande landskapsmasker ett procedurellt landskapsmaterial (figur 83).



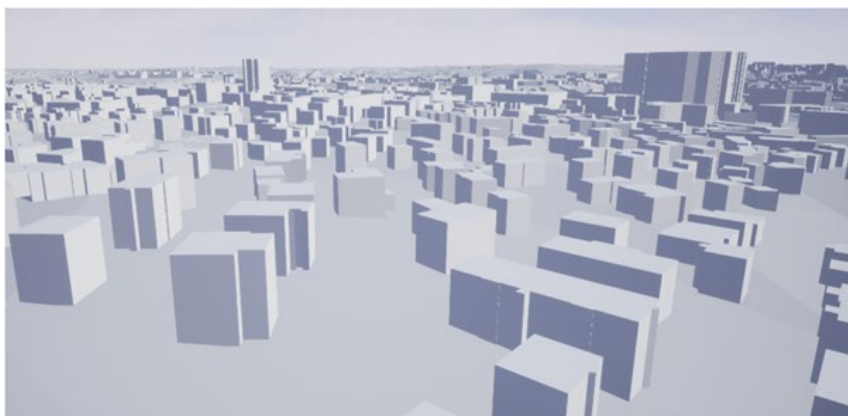
Figur 82. Datan som innehåller gränser för varje markanvändningskategori inkluderar typer av markanvändning som vägar, vatten, skog, jordbruksmark, tätort och öppen mark. Eftersom Lantmäteriets data är tillgänglig som vektordata måste den först konverteras till rasterdata innan Unreal Engine kan använda den. Unreal Engine använder dessa svartvita maskor som rasterbilder för att identifiera var de olika materialen måste appliceras inom 3D-modellen (svart representerar frånvaron av en kategori och vitt representerar förekomsten av den). Ett av problemen vi stöter på i denna process är gränserna mellan de olika markanvändningstyperna. Kanterna är skarpa och smälter inte in i varandra naturligt (figur A1, 2). För att lösa detta använder vi en gaussisk funktion för att släta ut kanterna på ett naturligt sätt (figur B1, 2). Slutligen korrigeras kontrasten i rastret (figur C1,2). Figur 6 (höger) - d och e visar resultaten av lagerblandningen när de bearbetade maskerna har laddats in i Unreal Engine.



Figur 83. Flygfoto över terrängmodell med landskapsmasker applicerade i Unreal Engine.

Byggnader

Byggnaderna genererades med hjälp av två datalager från Lantmäteriet - byggnadens footprint och ett LiDAR-punktmoln. Först bestämde vi byggnadens höjd genom att beräkna medianvärdena för punkter i z-led ovanför byggnadens fotavtryck. Byggnader (dvs enkla volymer i form av extruderade polygoner) genererades sedan genom att extrudera deras fotavtryck till respektive höjd (figur 84). Vi omplacerade sedan byggnaderna i z-led för att möta terrängen. Därefter genererades en DataSmith-fil från byggmaskerna och importerades till spelmotorn. Vi stötte på problem med att geolokalisera byggnaderna procedurrellt. Byggnaderna behövde en mindre manuell förflyttning x, y och z-led.



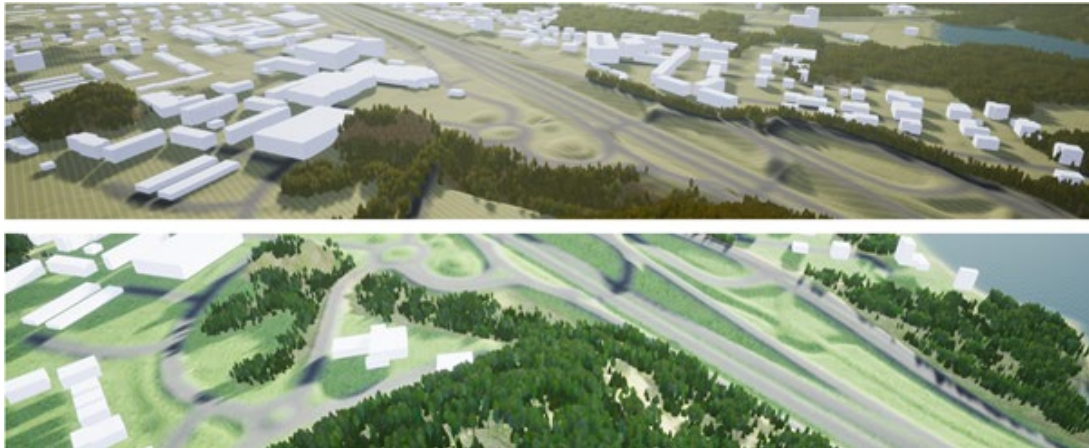
Figur 84. Byggnader i form av extruderade polygoner i Unreal Engine.

Procedurrellt landskapsmaterial

Unreal Engine erbjuder en "Landscape Layer Blend"-nod i Noden gjorde det möjligt för oss att blanda flera texturer och material kopplade till landskapsmaskerna. Ett lager adderades för varje klass av landskapsmaterialet och tilldelades en struktur (figur 85, 86).



Figur 85. Sammansättning av materiallagerinformation i 3D-modellen i Unreal Engine. Unreal Engine erbjuder en "Landscape Layer Blend"-nod i materialredigeraren. Noden gör att vi kan blanda flera texturer och material kopplade till landskapsmaskerna. Ett lager läggs till för varje klass och tilldelas en struktur. Genom att kombinera flera lager kan man lägga till ytterligare detaljer i geometrin utan att öka 3D-modellens komplexitet. Detta görs genom att lägga på specifika texturer som informerar Unreal Engine om hur ljus interagerar med dessa material. Figur 85 visar en enda scen från den slutliga modellen som har färgerna på eller av alternativt. I de sektioner där färgerna är avstängda ser vi fina detaljer på marken som varierar beroende på landskapsklass. Dessa detaljer skapas med hjälp av "bump-" och "displacement-"texturer som innehåller information om hur den släta ytan ska förvrängas för att ge modellen ett mer realistiskt utseende utan att behöva ytterligare polygoner.

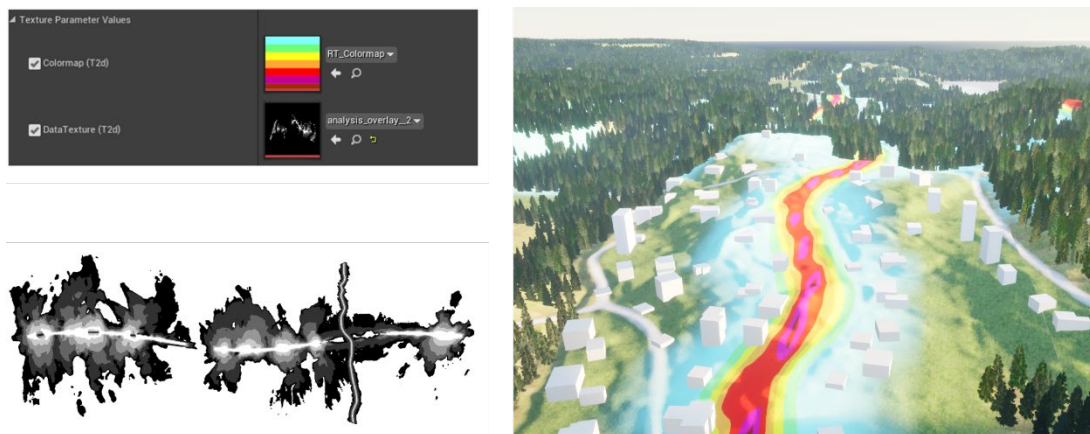


Figur 86. Flygvy över modellen före materialfärgkorrigering (överst). Flygvy över modellen efter färgkorrigering (nederst).

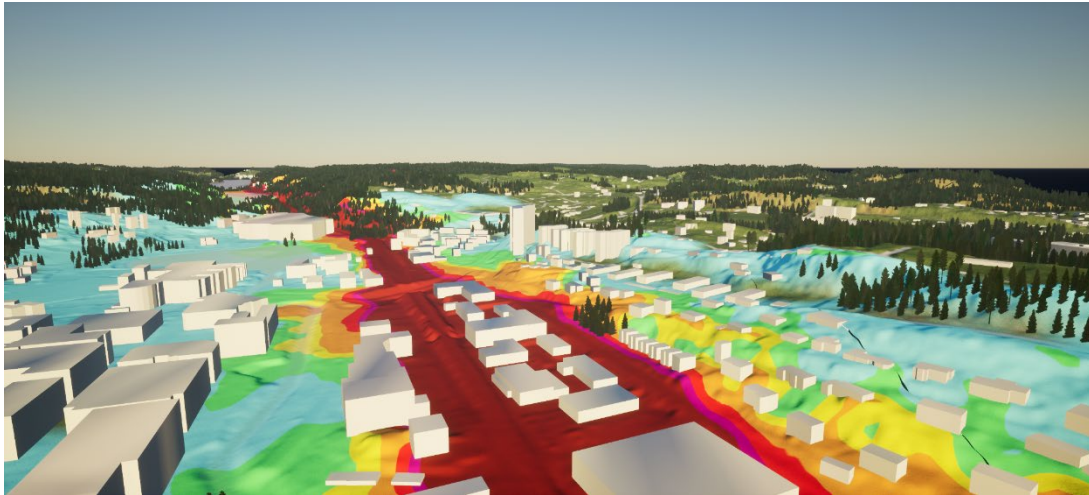
Applicering av färgskalor i storskalig modell

Här redovisar vi en sammanfattning av arbetet med att representera några av designkoncepten i den storskaliga modellen.

Visualisering, virtuellt experimenterande och testbäddande är några av de viktigaste användningsområdena för en virtuell 3D-stadsmodell. Den data som har visualiserats producerades av sensorer, analyser och simuleringar i olika datatyper. Visualisering av data som isolinjer (2D-konturdata), volymdata och tredimensionella strömlinjeformade data har gjorts med olika metoder. Gränsvärden (isolinjer) visualiserades genom att lägga ett skalat färgvärde på markytan. Volymetriska data visualiserades som volymetriska partiklar (sfärer) med skalade färgvärden, och 3D-strömlinjer visualiserades som antingen statiska eller rörliga strömlinjer av partiklar också med ett skalat färgvärde (figur 87 – 90).



Figur 87. I Unreal Engine UI laddades färgskalan som PNG-fil och gråskalemasken för den data som skulle visualiseras (vänster, överst). Gråskalemasken som ska visualiseras (vänster nedre). Slutlig visualisering av gråskalemasken i Unreal Engine (höger).



Figur 88. Resultat - Visualisering av bullerdata som färgade ytor (isoytor) i Unreal Engine.



Figur 89. Flygvy över den slutliga 3D-modellen i Unreal Engine.



Figur 90. Exempel på olika färgskalor i modellen.

Diskussion och slutsatser

Det övergripande syftet med projektet har varit att kunna bidra med metoder för att representera miljödata i Trafikverkets samordningsmodeller. I studien har vi genomfört en inventering av befintliga visualisering av miljöparametrar, utvecklat designkoncept som vi utvärderat i användartester. I projektet har även en arbetsprocess för att kunna ta fram storskaliga samordningsmodeller tagits fram. I detta avsnitt diskuterar vi resultaten av studierna och redovisar våra slutsatser.

I projektet har främst tre frågor har varit i fokus:

1. *Hur kan man representera osynliga parametrar som viss miljödata i samordningsmodeller på ett begripligt sätt?*
2. *Hur påverkar utformningen av olika visualiseringskomponenter uppfattningen av miljödata i en 3D-modell och hur kan dessa ge förståelse för hur platsen kommer att upplevas?*
3. *Vad krävs av en 3D-visualisering för att fungera för olika syften och målgrupper?*

Fråga 1 har behandlats framförallt i inventeringen (Stahre Wästberg et al, 2021) och då på ett mer övergripande plan. Frågorna 2 - 3 går mer in i detaljerna och diskuteras i styckena Utformning av visualiseringskomponenter (s 79), och Olika syften och olika målgrupper (s 82).

Representation av miljödata

Inventeringsrapporten *Att synliggöra det osynliga – Kartläggning av representation av miljödata i digitala modeller* är en delrapport i projektet. Vi har valt att ta med vissa delar från delrapporten i sin helhet i den här slutrapporten. Texten i detta avsnitt är kopierad från sidorna 33–35 i delrapporten:

Inventeringen visade att sätten att visualisera data i de studerade projekten var ganska likartade oberoende av miljöområde. Det finns tydliga trender när det handlar om användning av geometriska former för representation av olika slags parametrar. Vi kunde bland annat se att visualisering av volymetriska objekt (till exempel punkter och staplar) inte förekommer lika frekvent som ytor och plan för att visa exempelvis en färgskala. Detta kan kopplas till vad som är enklast att visualisera, men kanske även till vad man anser är det effektivaste sättet att förmedla information. Det kopplar också till vilket utsnitt och ur vilket perspektiv modellen är tänkt att användas i. En högre detaljeringsnivå på geometriska former är sannolikt effektivare ju mer man zoomar in på modellen, och det är en stor skillnad på att se information från ett fågelperspektiv jämfört med att röra sig längs exempelvis en gata eller järnvägssträckning. I Trafikverkets modeller visas oftast stora områden, som en väg- eller järnvägssträckning, både ur ett fågelperspektiv men även med möjlighet att zooma in på områden av intresse. Detta innebär att detaljeringsnivån på den abstrakta informationen som visas i modellen i ett fågelperspektiv blir lägre, och representeras annorlunda, jämfört med om man ser modellen ur ett perspektiv närmare marken.

Att visa flera parametrar samtidigt är viktigt för att kunna få en mer heltäckande lägesbild, kunna göra jämförelser och hitta konflikter mellan olika parametrar. Vi ser även här att det finns ganska stora likheter i val av representationsteknik mellan de olika miljöområdena. Ofta väljer man att särskilja informationen visuellt genom att visa den ena parametern

horisontellt (som exempelvis en heatmap draperad på underliggande geometri) och vertikalt (som exempelvis staplar eller andra volymetriska objekt). Visuella tecken, och speciellt glypher är spännande då de kan visualisera komplexa fenomen eller situationer och visa olika nivåer av information.

Även kombinationen av olika medier för interaktion och presentation kan underlätta visualisering av olika parametrar och samspelet mellan olika områden, samt användas för att studera platser simultant i varierande skalor. Att lägga ihop olika typer av modeller (exempelvis taktila och digitala) och att använda olika typer av gränssnitt för interaktion kan vara ett intressant spår att utforska när Trafikverket utvecklar stora samordningsmodeller. Detta gäller framför allt när olika användare adresseras, som både specialister och medborgare i samråd.

Kombinationen av olika medier för interaktion kan både underlätta visualisering av olika parametrar och områden tillsammans, och för att studera platsen simultant i varierande skalor. När det kommer till visuellt uttryck verkar AR tillåta en större frihet i sättet att åskådliggöra och kombinera data, samt möjlighet att visa data och resultat på plats, till exempel i mobilen. Här är datatillgången den största utmaningen om det handlar om realtid.

När det gäller olika dimensioner är det vanligt att man kombinerar 2D och 3D. Inom de studerade miljöområdena är 2D fortfarande vanligt förekommande, men 3D används allt mer, framförallt i presentationssammanhang. Vi kan se att skalan på det visualiserade området spelar en roll här: i sammanhang där man visar projekt i en mindre, mer övergripande skala visas ofta projektet i 2D, detta särskilt om det kopplas till visualisering av endast en parameter. Om man vill visa ett område i en större, mer detaljerad skala, och kunna visa mer än en parameter simultant kan 3D ge större möjligheter.

Att navigera mellan 2D (exempelvis vanligt kartmaterial) och 3D (till exempel VR, AR) har sina svårigheter avseende både teknik och design. Designspecifika utmaningar kan handla exempelvis om vilka media som bäst kompletterar varandra för att förmedla information på ett tydligt vis i ett visst sammanhang eller för en viss målgrupp, hur man visuellt kombinerar en 3D modell och kartmaterial i 2D, vad 3D-modellen ska fokusera på, och i vilken inzoomningsnivå den ska visas i för att bäst komplettera kartan.

Resultaten från vår inventering visar att det finns många olika sätt att visualisera och representera miljödata. Avsaknaden på allmänna riktlinjer och standarder avseende själva representationen av data gör att samma information visualiseras olika beroende på exempelvis vilka trender som finns inom visualisering och områden, programmets visualiseringsmöjligheter, personliga preferenser, osv. Denna avsaknad medför problem när det kommer till att skapa gemensam förståelse, samsyn kring ett projekt, men inte minst också för att få konsistenta indata i modeller (upphandlingskrav till exempelvis konsulter). För bättre förståelse borde man ha en likriktning för exempelvis användning av färger och symboler i form av standarder. När ett program används i stor omfattning kan dess standardsatta färgskalor och övriga representationsmöjligheter fungera som en inofficiell standard inom området. För bullervisualisering har till exempel det dominerande programmet Soundplans förinställda regnbågsskala blivit som en inofficiell standard. För representation av buller, liksom för luftkvalitet och sociala aspekter saknas dock standardiserade färgskalor. Även inom forskningslitteraturen saknas en större diskussion kring standarder av datavisualisering inom samhällsplanering.

Miljöområdena Luft och Buller innehåller vissa markanta likheter. Båda områdena baseras på kvantitativa, mätbara värden som visualiseras på ett ganska likartat sätt. Traditionen har

varit att visa denna typ av data i 2D, i ett och samma lager, men det blir allt vanligare att visa denna typ av information i 3D-modeller, ofta i en kombination av 2D-visualiseringar (heatmaps) för de osynliga parametrarna.

Sociala konsekvensanalyser (SKA) innefattar ett mycket bredare och mer mångfacetterat område och baseras både kvalitativa och kvantitativa data. SKA kan markera olika kategorier av platser, såsom känsliga kulturmiljöer, skolor eller kan mäta upplevelsen av platser, till exempel trygghetsvandringar. Vanligt är områdesmarkeringar med linjer, punkter, ytor och volymetriska objekt. Heatmaps kan visa densiteten av exempelvis socio-ekonomiska data, liksom användning och upplevelse av platser.

Utformning av visualiseringskomponenter

Frågan som vi vill besvara i detta stycke är: *Hur påverkar utformningen av olika visualiseringskomponenter uppfattningen av miljödata i en 3D-modell, och hur kan dessa ge förståelse för hur platsen kommer att upplevas?*

Färgskalor

Den här sammanfattande diskussionen utgår från resultaten som redovisats i styckena Intuitiv tolkning av färgers rangordning i en skala (s 48) - Utvärdering av använda färgskalor (s 49) under Designkoncept (s 48).

När vi prövade vilket värde deltagarna associerade som högsta och lägsta värde i en typisk regnbågsskala för buller, så visade resultaten hög samstämmighet mellan de olika grupperna i studien (figur 52). Aspekter som upplevdes som problematiska med regnbågsskalorna var de mörka färgerna (mörkgrön, blå, mörkröd), särskilt den mörkgröna färgen. Problemet med att använda blå färger som högsta värde och mörkgrönt som lägsta värde kunde vi också se i utvärderingen av skalorna vi använt i projektet.

Utvärderingen av färgskalorna A - H visade motstående uppfattningar om att använda ökad mättnad/minskad ljushet jämfört med att använda en mångfald kulörstarka färger. Skalorna med ökad mättnad/minskad ljushet ansågs vara fördelaktiga för att snabbt få en överblick över var hur bullersituationen såg ut som helhet (skala C, E, F). Skalan med en mångfald kulörstarka färger förordades med argumentet att kontrasten mellan stegen var bra för att lätt kunna identifiera bullernivåerna (skala B). Det här dilemmat visar att båda dessa principer för färgskalor kan vara relevanta att använda och att det beror på syftet med visualiseringen vilken som ska användas. Principen med en gradvis ökning av mättnad (kulörstyrka/minskad ljushet) kan också vara fördelaktig om man vill kunna visa flera parametrar samtidigt, då varje skala kan ha en kulörton som gradvis ökar i kulörstyrka.

En av skalorna kombinerade principerna att använda en regnbågsskala med en inbyggd ljushetsgradient (skala A) pekades ut som en fördel vid behov av att snabbt kunna identifiera respektive bullernivå och läsa av området för gränsvärdet som var ljusare.

I utvärderingen var flera skalor anpassade för avvikande färgseende genom sin minskade ljushet (skala C, E-H). Däremot innehöll dessa skalor röda och gröna färger som tappade kulörstyrka, blev brun-eller gråaktiga och förmodligen gjorde stegen mindre tydliga (figur 60). Detta behöver studeras ytterligare med målgruppen. Skala D var den enda skala som byggde på gult och blått som motsatta betydelsebärande färger. Detta är färger som alla med

röd-gröna färgdefekter väl kan urskilja, vilket också gav en positiv respons av de fåtal personerna identifierade med avvikande färgseende i studien.

En annan aspekt som kom fram i studien var att färger är informationsbärare med inbyggda konnotationer, exempelvis att grönt är lugnt och rött betyder värme och fara, och att blått kan hänvisa till kyla, luft och vatten. Den blå-gula skalan pekades i utvärderingen ut som mer neutral, men också problematisk eftersom den inte hade tydliga associationer, och därmed blev icke-intuitiv.

För att en skala ska fungera både för personer med normalt färgseende och personer med avvikande färgseende skulle en ytterligare lösning kunna vara att utveckla en speciell skala som skiljer på nivåerna med olika mönster eller linjer mellan stegen istället för färger. Detta är intressant att titta närmare på i en fortsättning av projektet.

Visualiseringen borde alltid erbjuda möjligheten att välja mellan olika färgskalor utifrån behov. Figur 91 ger exempel på 3 skalor med olika fingradighet som kan vara möjliga att använda, avseende hur detaljerad information man vill förmedla. Skalorna är utvecklade utifrån de skalor vi testat i projektet, baserat på resultat från användartesterna.



Figur 91. Exempel på tre färgskalor med två olika fingradighet: den översta skalan utgår från skala A, där vi har ökat antalet steg, samt ändrat ändfärgerna. Den mittersta skalan är en förkortad version av skala C, där vi har ökat kontrasten mellan stegen. Dessa båda skalor är anpassade för röd-gröna färgdefekter på så sätt att de har ökad färgmättnad och minskad ljushet. Den understa skalan visar ett alternativ som undviker röda och gröna färger. Skalan bygger på användarresultat för skala D, där den blå färgen uppskattades av personer med färgdefekt seende. Här har vi istället valt färgen lila som inte associerar lika tydligt till vatten för normalseende.

Formspråk: Heatmaps och punktmoln

Texten i detta avsnitt är kopierad från Stahre Wästberg et al (2021, sidan 33), samt från användarstudien presenterad i styckena Formspråk: Heatmaps och punktmoln och (s 60) och Rörelse och perspektiv (s 63).

I inventeringen har vi sett att färgskalor, framför allt presenterade som heatmaps, är de visuella egenskaper som används mest för att förmedla information. Heatmaps används i långt större utsträckning än mönster och andra typer av texturer, liksom symboler, ikoner och glypher. Däremot är texturer, liksom symboler, ikoner och glypher intressanta för bland annat sin associationskapacitet, dvs förmåga att förmedla mer detaljerad information om egenskaper. Vi har därför valt att utveckla och utvärdera designkoncept för både heatmaps och punktmoln samt även tagit fram förslag på symboler kopplade till buller.

Användarstudien visade att deltagare upplevde heatmaps och punktmoln olika men båda fungerade bra för att visa bullrets räckvidd och intensitet. Fördelen med draperade heatmaps var att de lättare kunde visa detaljerade färgskalor, vilket möjliggjorde fler steg i en skala än i en volymetrisk visualisering. I heatmaps gick det också att se tydligare skillnad mellan olika värdeintervaller. Detta kan vara fördelaktigt när man vill filtrera vissa värden

eller visa specifika steg. Heatmaps skapar en snabb överblick med genomsnittsvärden för ett visst område men ger bara information kopplad till en yta. Punktmoln uppfattades vara visuellt tilltalande och ge en enhetlig översikt. Samtidigt upplevdes de som gyttriga, och det var svårare att se skillnaderna mellan färger som representerar olika värden. Följaktligen bör man vara restriktiv med antalet steg i färgskalan som visas i ett punktmoln. En fördel med punktmoln är att det kan visa utbredningen av ljudet även i höjdlängd och inkludera hela luftrummet. En intressant association bland användare var att punktmolnsvisualisering är visuellt mer lämpad för luft än för buller.

Sammanfattningsvis fungerade draperade heatmaps bättre för lägesbeskrivning och för att initialt ge förståelse för den övergripande bullersituationen på en plats, medan den mer detaljerade volymetriska visualiseringen bättre lämpar sig för att kunna visa värden på en specifik punkt i rummet.

Informationsnivåer (informationsrutor)

Att utveckla ett användargränssnitt som innehåller olika informationsnivåer är viktigt beroende på olika användares olika behov av information. Det kan ge möjlighet till ökad interaktivitet för att kunna detaljstudera exempelvis påverkan på enskilda byggnader. Informationsrutor kan innehålla olika sorters grundläggande information om platsen och vilken sorts data som visas.

Rörlighet och möjlighet till interaktivitet

Ytterligare en central faktor som vi har hittat i litteraturen och som spelar stor roll för upplevelsen och förståelsen av information är hur *interaktiv* visualiseringen är. Interaktivitet är viktig för att förstå komplexa sammanhang över exempelvis tid. Graden av interaktivitet varierar från låg till hög beroende på typ av teknik och kontroll som finns tillgänglig för användaren. Det finns ett allmänt antagande, ofta kallat interaktivitetseffekt, som säger att ju högre grad av interaktivitet, desto större blir inlärningseffekten (Evans och Gibbons 2007). Inom lärandeforskning har man studerat om interaktivitet kan underlätta uppfattning och förståelse under en inlärningsprocess. Resultaten visade att ökad interaktivitet förbättrade elevernas prestation betydligt (Wang et al, 2011). Detta är ett argument för att ha en applikation med hög grad av interaktivitet när man presenterar projekt för olika målgrupper, som snabbt behöver kunna sätta sig in i en fråga.

Användarstudien visade att rörlighet och möjlighet till interaktion gör visualiseringen tydligare och lättare att förstå. Det var tydligt med den positiva responsen för de exempel i studien där det fanns en dynamik inbyggd, antingen för att ljudkällan rörde sig genom landskapet eller för att användaren kunde interagera med datan via en informationsruta.

Detaljeringsnivå

Förhållandet mellan bakgrund och visualiserad information behöver studeras ytterligare så att man hittar bra lösningar där tillräcklig information på bakgrunden (miljön) kan urskiljas samtidigt som datavisualiseringen är tydlig. Det är viktigt att tänka på att färgerna inte visuellt smälter in i bakgrunden. För volymetrisk visualisering kan man laborera med storlek, densitet och placering på sfärerna. En väg att utforska är att utforma dem så att de visuellt anpassar sig efter bakgrund och ljushet i modellen. En annan metod kan vara att

laborera med ljushetsnivån i själva modellen för att nå den nivå som bäst framhäver datan med bibehåller orienteringsförmågan i modellen.

Symboler och scenarier

Laborationerna med symboler i projektet fokuserade på utseende, färgsättning och placering antingen i modell eller i gränssnitt. Symbolerna utvärderades inte med användare, något som behöver göras för att kunna utveckla idéerna.

Att kunna visa scenarier är en av de stora fördelarna med att kunna visa information i 3D-modeller. Diskussionen angående scenarier lyfte fram behovet av att kunna kombinera flera miljöområden, samt behovet att kunna visualisera scenarier och konsekvenser.

Olika syften och olika målgrupper

Frågan som vi vill besvara i detta stycke är: *Vad krävs av en 3D-visualisering för att fungera för olika syften och målgrupper?*

En effektiv visualisering gör att man inkluderar och skapar samsyn bland intressenterna i planeringsprocessen och på så sätt bidrar till en helhetssyn och därmed hållbarare lösningar. Det har varit tydligt i användarstudierna att olika lösningar bra för olika syften / målgrupper (analys/kommunikation, specialistanvändare/lekmän).

Sammanfattningsvis kan man säga att i bullersammanhang är det intressant för specialister att visa om ett riktvärde överskrids eller inte. Buller under ett gränsvärde kan beskrivas med till exempel olika nyanser av grönt eftersom det inte är så intressant att veta hur långt ifrån gränsvärdet man är som att man underskrider gränsvärdet.

Slutsatsen är att det kan behövas mer än en färgskala för visualisering av buller i 3D. Behoven av en viss färgskala kan variera beroende på vilken målgrupp man vänder sig till men också bero på att antalet steg man vill visa kan variera. Planerare och specialister kan behöva mer detaljerade skalor, med flera steg, för att kunna utvärdera olika alternativ och konsekvenser. Allmänheten kan behöva få förståelse för påverkan av ett förslag på närmiljön, och hur det skiljer sig från dagens läge. Då kan det vara bättre att ha färre steg och bara visa den övergripande informationen. Tydligt urskiljbara steg eller en mer sömlös övergång kan vara ett annat val. Personer med avvikande färgseende behöver en anpassad skala som alltid finns tillgänglig.

Rekommendationer

I detta projekt har vi undersökt olika aspekter av vad som krävs för att effektivt visualisera miljödata i samordningsmodeller. Baserad på inventeringen (Stahre Wästberg et al, 2021, s 35–36) och utvecklingsarbetet med designkoncept som gjordes i projektet rekommenderar vi nedanstående punkter för Trafikverkets framtida utveckling av representation av information i samordningsmodeller:

- **Att anpassa visualiseringen utifrån syfte och målgrupps behov av information.**
 - Målgruppsutvärdera. Dvs pröva olika lösningar för olika syften (intern analys och kommunikation mellan specialister inom Trafikverket, extern konsultation, samråd, etc) och för olika målgrupper (specialister inom Trafikverket, externa konsulter, medborgare, med flera)
 - Demonstrera scenarier (nuläge och påverkan av olika lösningar) för ökad förståelse av olika åtgärders konsekvenser i tidiga skeden.
- **Att utveckla samordningsmodeller med högre grad av interaktivitet för effektiv och pedagogisk kommunikation.**
 - Filtrera/avgränsa information utifrån behov (filtrering på t ex gränsvärde, fingradighet).
 - Möjliggör val av visuell detaljerings- och informationsnivå efter behov.
 - Möjliggör kombination av platsbundna grunddata (medelvärden) och variationen av tillfälliga värden (när ett tåg passerar) för exempelvis buller, både med visualisering och med auralisering.
 - Använd animeringar/filmer för att visa komplexa och rörliga data (till exempel passerande tåg) för att ge en bättre helhetsbild och effektivare kommunikation.
- **Att utveckla metoder för hur man kan visa flera parametrar samtidigt.**

Detta för att kunna få en mer heltäckande lägesbild, kunna göra jämförelser och hitta konflikter mellan olika områden och parametrar.

 - Kombinera olika datalager (till exempel luft och buller och längre fram även kombination av olika miljöområden kopplade till sociala aspekter) för en tydligare helhetsbild och kunna se kopplingar mellan olika effekter, till exempel på miljö och hälsa.
- **Att utveckla underlag till standarder för representation av data när det gäller visualiseringskomponenter.** Detta inkluderar exempelvis geometriska former (ytor, linjer, punkter, volymetriska objekt, 3D-rutnät och heatmaps) anpassade efter visualiseringens detaljeringsnivå, visuella egenskaper (framförallt färgskalor), samt visuella tecken (såsom symboler och ikoner).
 - Använda färgskalor som stödjer effektiv kommunikation i samordningsmodeller så att det finns skalor för olika målgrupps behov tillgängliga, där minst en skala är anpassad för avvikande färgseende (se förslag figur 91).

- Utvärdera ytterligare den anpassade föreslagna EU-standardskala för buller (regnbågsskala) behövs, framförallt för att visa allt under gränsvärde som antingen ljusgrönt eller ofärgat, samt ta bort den blå färgen som maxvärde.
- Utvärdera monokroma färgskalor i olika kulörtoner (från vitt/transparent till kulörstarkt) för att kunna visa flera parametrar samtidigt. En sekventiell skala från ljust till mörkt fungerar bra för att ge en snabb och tydlig överblick.
- Utvärdera ytterligare relationen mellan modellens färger och detaljnivå och skalan för informationsvisualisering. Prova att anpassa samordningsmodellens färgskala (mörka ner t ex) för att tydligare visa informationsvisualiseringen. Skalans relation till bakgrund är viktig för förståelse av information och tolkning av modellen.
- Definiera vilka dimensioner och skalor som bäst kompletterar varandra för att förmedla information på ett tydligt vis i ett visst sammanhang eller för en viss målgrupp. Det kan gälla hur man visuellt kombinerar en 3D-modell och kartmaterial i 2D, vad 3D-modellen ska fokusera på, och vilken inzoomningsnivå den ska visas i för att bäst komplettera kartan.
- Vidareutveckla formspråket, alltså användningen av heatmaps och volymetriska visualiseringar - heatmaps för överblick och filtrering, volymetrisk för bättre 3D-förståelse).
- Utvärdera symboler med användargrupper. Vidareutveckla dessa för att kombineras med övriga datavisualiseringar. Identifiera lämplig teknik för att integrera symbolerna i samordningsmodellen.

Utblick framåt

Utifrån studiernas resultat och våra rekommendationer har vi kommit fram till att det finns ett behov av mer tvärvetenskaplig forskning om olika visualiseringslösningar och metoder för att kommunicera miljö- och hälsofaktorer. De lösningar som tagits fram inom detta projekt behöver vidareutvecklas så att de kan implementeras och användas i Trafikverkets objektorienterade informationsmodeller (samordningsmodeller).

Vår vision är mer utvecklade och tydliga riktlinjer och standardisering, för representation och visualisering av miljödata i 3D-modeller, som därmed kan förbättra kommunikation, tydliggöra beslutsunderlag och förenkla och effektivisera kvalitetssäkringen under planerings- och byggprocessen. En sådan utveckling skulle även kunna bidra till att enklare förutse hälso- och hållbarhetseffekter av olika förslag till åtgärder, samt att bättre tydliggöra synergier och konflikter mellan olika målbilder.

För att kunna utveckla ett representationsspråk för visualisering av komplexa data i samordningsmodeller är det viktigt att, i ett fortsatt arbete, fokusera på följande delar:

- *utveckla metoder för att visa flera parametrar samtidigt i en 3D-modell* för att kunna få en mer heltäckande lägesbild, kunna göra jämförelser och hitta konflikter mellan olika områden och parametrar.
- *utveckla specifikationer för representation av komplexa data* för att ge optimal förståelse för olika målgrupper (beslutsstagare, specialister, allmänhet) genom att ta fram designlösningar för hur färg, form och symboler bör användas i samordningsmodeller.
- *definiera vilka visualiseringsmetoder som lämpar sig bäst för olika detaljnivåer* för att förmedla information på ett tydligt vis i ett visst sammanhang eller för en viss målgrupp.
- *definiera vilka detaljnivåer och vilka perspektiv* (fågel- och markperspektiv) som bäst fungerar för att förmedla information på ett tydligt vis i ett visst sammanhang eller för en viss målgrupp.
- *utveckla metoder för valmöjligheter/anpassning till dialogsituationer i Trafikverkets samordningsmodeller* för att effektivt och pedagogiskt kunna kommunicera med olika målgrupper.
- *bidra till Trafikverkets kravställning för samordningsmodeller* för att effektivt och pedagogiskt kunna kommunicera med olika målgrupper.

Referenser

- Alberts, W & Alférez, J (2012). *The use of colours in END noise mapping for major roads*.
- Anderson, T & Shattuck, J (2012). Design-Based Research: A Decade of Progress in Education Research? *Educational Researcher*, 41 (1), pp. 16–25.
- Billger, M; Thuvander, L & Stahre Wästberg, B (2017). In search of visualization challenges: The development and implementation of dialogue tools for supporting urban planning processes, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 44(6), 1012–1035.
- Billger, M.; Heldal, I.; Stahre, B.; Renström, K. (2004) Perception of Colour and Space in Virtual Reality: A comparison between a real room and virtual reality models. In *Proceedings of the SPIE: Human Vision and Electronic Imaging IX*, San Jose, CA, USA, 19–21 January 2004, 90–98.
- Bláha, J.D.; Štěrbá, Z. (2014). Colour Contrast in Cartographic Works Using the Principles of Johannes Itten. *Cartogr. J. World Mapp.* 2014, 51, 203–213.
- Borland, D.; Taylor, R.M., II. (2007) Rainbow Color Map (Still) Considered Harmful. *IEEE Comput. Graph. Appl.* 2007, 27, 14–17.
- Bryant, B.; Holiner, M.; Kroot, R. et al (2014). Usage of color scales on radar maps. *J. Oper.Meteor.* 2014, 2, 169–179.
- Chmielewski, S & Tompalski, P (2017). Estimating outdoor advertising media visibility with voxel-based approach, *Applied Geography*, 2017, 87, 1-13, ISSN 0143-6228, <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.07.007>.
- Ek, M, (2018) *Förstudie - Visualisering av inspektionshandlingar i 3D* (2018), Trafikverket Ärendenummer 6289.
- Evans, C., & Gibbons, N. (2007). The interactivity effect in multimedia learning. *Computers & Education*, 2007, 49, 1147–1160.
- Fridell Anter, K (2014). NCS och andra färgsystem I: Fridell Anter, K & Klaren, U (Eds.). *Färg & Ljus: För människan-i rummet*. AB Svensk Byggtjänst.
- Frisk, M, Moström J, Nilsson D och Landeholm S (2006) *Visualisering av kulturmiljö i vägplanering – projektrapport*, Riksantikvarieämbetet och Vägverket, Riksantikvarieämbetet, Stockholm, <http://samla.raa.se/xmlui/handle/raa/279>
- Ishihara, S (1972). [Tests for Colour-Blindness](#). Kanehara Shuppan. Retrieved 24 August 2021.
- Jonasson, H & Gustafson, A (2010). *Anvisningar för kartläggning av buller enligt 2002/49/EG*, Energiteknik, SP RAPPORT 2010:77, ISBN 978-91-86622-20-6)
- Grainger, S.; Mao, F.; Buytaert, W. (2016). Environmental data visualization for non-scientific contexts: Literature review and design framework. *Environ. Model. Softw.* 2016, 85, 299–318.
- Kyttä, M; Broberg, A; Tzoulas, T, et al (2013). Towards contextually sensitive urban densification: Location-based softGIS knowledge revealing perceived residential environmental quality. *Landscape and Urban Planning* 113: 30–46.
- Naturvårdsverket, Havs- och vattenmyndigheten och länsstyrelserna (2019), *Strategi för miljödatahantering, version 1.03*, godkänd av MIT-gruppen (tidigare strategiskt

samverkansråd för objektfamiljen Miljö och Natur) och förvaltat av Miljöinformationsrådet.

Novak, A; Gredenman, T; Fred, R et al (2016). *Regional vägledning för kartläggning av omgivningsbuller i Stockholms län*, Rapport: 2016:03, ISBN: 978-91-88361-04-2

Pack, ML (2010). Visualization in transportation: Challenges and opportunities for everyone. Visualization Viewpoints. Published by *IEEE Computer Society*, July/August 2010.

Prado, M (2019). Morphogenic Spatial Analysis: A Novel Approach for Visualizing Volumetric Urban Conditions and Generating Analytical Morphology. *Technology|Architecture + Design*, 3:1, 65–75, DOI: 10.1080/24751448.2019.1571827

Rigden, C (1999). The Eye of the Beholder’— Designing for Colour-Blind Users, *British Telecommunications Engineering*, Vol. 17, 291-295.

San José, R; Pérez, JL & González-Barras, RM (2011). 3D visualization of air quality data. In: *The 11th international conference “Reliability and statistics in transportation and communication, RelStat*, Riga, Latvia, 19–22 October 2011, 1–9.

Stahre Wästberg, B; Thuvander, L; van Raalte, S; Billger, M (2021). *Att synliggöra det osynliga – Kartläggning av representation av miljödata i digitala modeller*. Rapport Trafikverket. Dokumentdatum: 2021-03-08 Ärendenummer: 7084 Version: 1.0

Stahre Wästberg, B.; Billger, M.; Adelfio, M. (2020) A User-Based Look at Visualization Tools for Environmental Data and Suggestions for Improvement—An Inventory among City Planners in Gothenburg. *Sustainability*, 12, 2882. <https://doi.org/10.3390/su12072882>

Stahre Wästberg, B; Billger, M; Forssén J et al (2017). Visualizing environmental data for pedestrian comfort analysis in urban planning processes. In: *Proceedings for CUPUM 2017 - 15th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management*, Adelaide, Australia, July 11–14, 2017

Stahre, B; van Raalte, S & Heldal, I (2008). Sketching Techniques in Virtual Reality: Evaluation of Texturing in an Urban Planning Model. In: *Proceedings for VSM ’08 – Conference on Virtual Systems and MultiMedia*, Limassol, Cyprus, October 20 – 26, 2008

Wang, P. Y., Vaughn, B. K., & Liu, M. (2011). The impact of animation interactivity on novices’ learning of introductory statistics. *Computers & Education*, 56(1), 300–311.

Ware, C. (2004). *Information Visualization: Perception for Design* (2nd ed.). Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco. <https://doi.org/10.1016/B978-155860819-1/50001-7>

Yuan, C. & Ng, E. (2012). Building porosity for better urban ventilation in high-density cities – A computational parametric study, *Building and Environment*, 50 (2012), pp 176-189.

Webbreferenser:

MathsWorks (2021). Volume Visualization <https://se.mathworks.com/help/matlab/volume-visualization.html>, besökt 2021-06-30

Tech27 (2018). Point Cloud - What are Point Clouds? <https://tech27.com/resources/point-clouds/>), besökt 2021-06-30.

BILAGA 1

Projektpublikationer

Projektrapport:

Att synliggöra det osynliga – Kartläggning av representation av miljödata i digitala modeller (Stahre Wästberg, et al, 2021). <https://research.chalmers.se/en/publication/523088>



Blogg-inlägg, inklusive film:

Epic-game blog, inklusive film (figur 92): <https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/visualizing-the-invisible-the-sound-of-real-and-virtual-worlds>



Pågående artikel som planeras skickas till tidskrift:

S. Somanath, V. Naserentin, O. Eleftheriou, D. Sjölie and Anders Logg. A workflow for procedural urban digital twin generation and visualization of large-scale data. In production.

BILAGA 2

Lista på aktiviteter

Arbetet inom projektet har koordinerats och genomförts utifrån inplanerade gemensamma aktiviteter. På grund av den rådande pandemin har samtliga gemensamma aktiviteter som tagit plats efter vecka 11, 2020, ägt rum digitalt, via Zoom och Skype.

Aktiviteter inom projektet har bestått av:

- Kick-off möte med projektteamet och ledningen för DTCC, 16 januari 2020.
- Gemensamma månadsmöten med projektteamet (15 möten, ett möte per månad).
- Workshoppar (14 oktober 2020, 21 januari 2021, 23 februari 2021), tabell 2.
- Referensgruppsmöten (30 april 2020, 3 december 2020).
- Möten med specialister och utvecklingsledare (Frida Angelöw och Magnus Palm, Trafikverket).
- Möten mellan projektledningen och Susanne van Raalte, Trafikverket.
- Utvecklingsarbete (inventering, design, planering, ansökningsskrivande).
- Slutpresentation och diskussion, 7 maj 2021.
- En projektpresentation för styrkeområdet ICT, Chalmers 2 februari 2021.
- En sammanfattande projektpresentation med Trafikverket och forskare från Chalmers den 7 maj 2021.

Trafikverket, 405 33 Göteborg. Besöksadress: Vikingsgatan 9.
Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 020-600 650

trafikverket.se