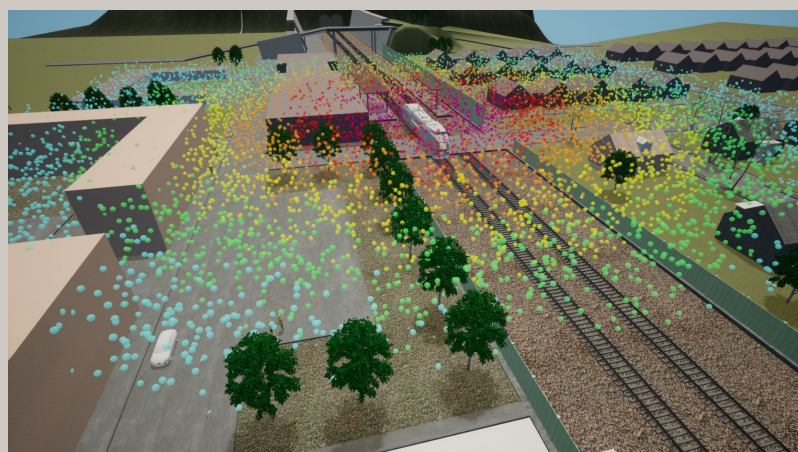
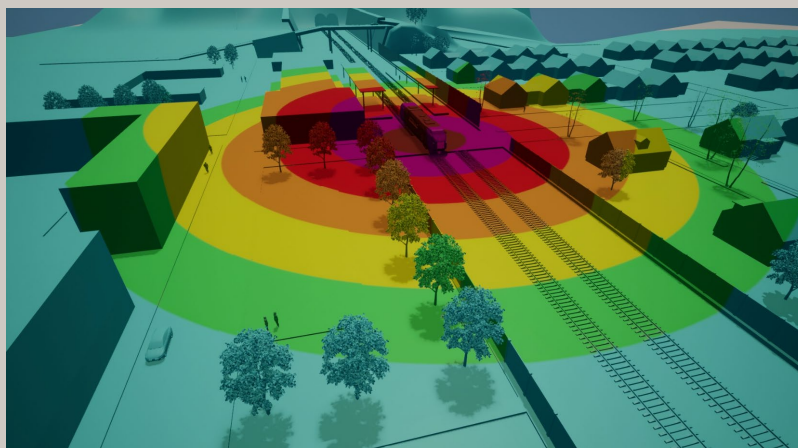


RAPPORT

Att synliggöra det osynliga

Kartläggning av representation av miljödata i digitala modeller



Trafikverket

Postadress: 405 33 Göteborg

E-post: trafikverket@trafikverket.se

Telefon: 0771-921 921

Dokumenttitel: Att synliggöra det osynliga – Kartläggning av representation av miljödata i digitala modeller

Författare: Beata Stahre Wästberg, Liane Thuvander, Susanne van Raalte och Monica Billger

Dokumentdatum: 2021-03-08

Ärendenummer: 7084

Version: 1.0

Kontaktperson: Susanne van Raalte

Innehåll

Sammanfattning	4
Förord	5
Förkortningar	6
Inledning	7
Bakgrund	7
Projektet MiljöVis - Effektiv representation av miljöinformation i infrastrukturmodeller ..	9
Syfte	9
Avgränsningar	10
Målgrupp.....	10
Trafikverkets investeringsprojekt	11
Planeringsprocessen	11
Trafikverkets ansvar för hälsa och miljö - Transportpolitiska hänsynsmålet	12
Systematiskt miljöarbete - Miljösäkring	12
Samordning, kommunikation och visualisering av miljöområdena.....	13
Digitalt Samråd – extern kommunikation.....	13
Samordningskarta – intern kommunikation	14
Samordningsmodell – olika skalor och detaljeringsnivåer	14
Visualiseringsutmaningar för samordningsmodeller.....	15
Urval av miljöområden	15
Visualisering av Buller, Luft och Sociala konsekvenser på Trafikverket	17
Metod och genomförande.....	19
Definitioner av visualiseringsbegrepp	20
Resultat I: Sammanställning av projekt	23
Buller	23
Luftkvalitet	23
Social konsekvensanalys	23
Stadsmodeller – digitala tvillingar	23
Resultat II: Visualiseringskomponenter	29
Geometriska former	29
Visuella egenskaper	31
Visuella tecken	32
Diskussion och Slutsats	33
Referenser.....	38
Bildreferenser	39
Tabellreferenser.....	40

Sammanfattning

En av de stora utmaningarna för infrastrukturplanering idag handlar om hur man samlar, hanterar och kommunicerar stora mängder data. Effekten som ett projekt kommer att ha på miljö och klimat är svår att visa på ett visuellt begripligt sätt. Därför får detta ofta låg prioritet inom fysisk planering och kommer in sent i planeringsprocessen. Trafikverket hanterar miljöparametrar i så kallade samordningsmodeller vilka visar ett stort landskapsområde i en översiktlig skala, där man samlar alla data kopplat till ett projekt. Idag saknas det dock riktlinjer för hur data ska koordineras och standardiseras i dessa modeller.

Den här rapporten är en omvärldsanalys och beskriver en inventering av projekt som fokuserar på visualisering av miljöparametrar i digitala modeller. Syftet är att dra lärdom av dessa som stöd för att kunna utveckla designkoncept för standardiserad visualisering i samordningsmodeller. Inventeringen vänder sig främst till Trafikverkets specialister, samt forskare inom visualiseringsområdet.

Resultaten från omvärldsanalysen presenteras som en projektsammanställning, utifrån miljöområdena buller, luftkvalitet, social konsekvensanalys samt exempel på digitala tvillingar kopplade till stadsmodeller. I inventeringen definieras även centrala visualiseringskomponenter för representation av data, och vi studerar hur dessa används inom de olika miljöområdena.

Rapporten avslutas med en diskussion kring grafisk och rumslig representation, där vi beaktar aspekter som visuella former och visuella egenskaper, vilken dimension (2D eller 3D) data har visualiserats, samt perspektiv och skalor.

Inventeringen ingår i projektet *MiljöVis - Effektiv representation av miljöinformation i infrastrukturmodeller* vars syfte är att utveckla ny kunskap om hur Trafikverkets samordningsmodeller kan bli ett effektivare och tydligare kommunikationsmedel och kvalitetsverktyg. Projektet syftar också till att utveckla nya visualiseringslösningar för integrering av miljödata och sociala aspekter.

Förord

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. Projektet *MiljöVis - Effektiv representation av miljöinformation i infrastrukturmodeller* är ett samarbete mellan Chalmers och Trafikverket, och syftar till att utveckla metoder för att representera miljödata i Trafikverkets samordningsmodeller. I projektet utvecklas olika lösningar som provas i en serie användartester. En demonstration kommer att göras för att pröva en eller flera alternativa lösningar i några av Trafikverkets investeringsprojekt. Utifrån detta utvecklas specifikationer och underlag för implementering. Den här rapporten redovisar en kartläggning av hur man representerar olika slags information i 3D-modeller, vilken ligger till grund för designarbetet inom projektet, men också är tänkt att kunna användas internt på Trafikverket.

Medverkande i projektet:

Trafikverket:

Susanne van Raalte, verksamhetsområde Stora projekt, enhet Teknik, Miljö & Fastighet

Chalmers/Digital Twin Cities Centre (DTCC):

Beata Stahre Wästberg (projektledare), Interaktionsdesign, Data- och informationsteknik

Monica Billger, Arkitekturens teori och metod, Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Liane Thuvander, Arkitekturens teori och metod, Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Vasilis Naserentin, Tillämpad matematik och statistik, Matematiska vetenskaper (DTCC)

Anders Logg, Matematiska vetenskaper (DTCC)

Orfeas, Eleftheriou, DTCC

Sanjay Somanath, Byggnadsteknologi, Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik (DTCC)

Fabio Latino, Chalmers Industriteknik (DTCC)

Daniel Sjölie, Avdelningen för Informatik, Högskolan Väst (DTCC)

Referensgrupp:

Trafikverket:

Frida Angelöw, verksamhetsområde Planering, avdelning Transportkvalitet och enhet Hälsa

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

Chalmers:

Mattias Roupé, Construction Management, Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Förkortningar

2D	Tvådimensionell
3D	Tredimensionell
AR	Augmented Reality
BIM	Byggnadsinformationsmodellering (Building Information Modelling)
GIS	Geografiska Informationssystem (Geographical Information System)
LOD	Detaljeringsnivå (Level of Detail)
MKB	Miljökonsekvensbeskrivning
SKA	Social konsekvensanalys
VR	Virtual Reality

Inledning

Planeringsprocesser inom urban utveckling involverar många deltagare och kräver nya metoder för kommunikation. Simulering och visualisering av framtida scenarier används alltmer i syfte att stödja urban planering. När det gäller miljöfrågor är behovet av att visualisera data stort. Hur kan man visuellt förmedla information som beskriver påverkan - effekter, konsekvenser och upplevelser, i 3D-modeller? 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 svåra att greppa för olika målgrupper, vilket bidrar till att miljöaspekter ofta får låg prioritet och kommer in sent i planeringsprocesser (Stahre Wästberg et al, 2017).

Trafikverket hanterar även miljöparametrar i så kallade samordningsmodeller vilka visar stora landskapsområden där man samlar en stor del av all data kopplat till ett projekt. Det saknas idag riktlinjer för hur miljödata ska koordineras och standardiseras i dessa modeller. Den här rapporten beskriver en inventering av projekt som fokuserar på visualisering av miljöparametrar. Syftet är att dra lärdom av dessa som stöd för att kunna utveckla designkoncept för standardiserad visualisering av miljödata i samordningsmodeller. Målet är att bidra till tydliggörande av miljöpåverkan tidigare i planeringsprocessen.

Vi använder termen *visualisering* i vid bemärkelse. Den 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 implementeras i Virtual Reality (VR) och Augmented Reality (AR)-miljöer.

Vi definierar *miljödata* 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. Denna definition utgår från SIS terminologidatabas (data) respektive lagen (2005:181) om miljöinformation hos vissa enskilda organ. SIS termdatabas Ekvator.

Bakgrund

En av de stora utmaningarna inom infrastrukturplanering idag handlar om hur man samlar, hanterar och kommunicerar stora mängder data. Trots vikten av design och utvärdering av själva representationen i en modell (förståelse och tolkning) hinns detta ofta inte med eller nedprioriteras i framtagandet av Trafikverkets samordningsmodeller. Samordningsmodeller är en sammanställning av modeller från olika teknik- och miljöområden. 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.

Idag beställer Trafikverket samordningsmodeller för att 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. Idag finns 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.

Dagens samordningsmodeller är tunga och svårhanterbara. En geometrisk 3D-modell visar den befintliga miljön (byggnader, landskap mm). Till denna gemensamma modell levererar olika teknikområden (el, konstruktion, installation med flera) sin information, alla med olika standarder för hur man representerar data. Datas mångfald och komplexitet kan vara ett problem när det handlar om att skapa en optimal användarupplevelse. Mångfalden hos slutanvändare skapar dessutom behov av robust och intuitiv användarinteraktion som icke-specialister kan hantera med liten eller ingen träning. Förutom dessa fysiska delar som krävs för att bygga upp infrastrukturen 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.

Visualiseringsverktyg anses ha hög potential för att öka engagemanget hos alla aktörer och intressenter i en planeringsprocess, men på grund av tekniska och ekonomiska utmaningar så är implementeringen problematisk (Brown & Kyttä, 2014, Senbel & Church, 2011 Billger et al, 2017). En utmaning handlar om att kunna hantera flera olika parametrar simultant i en modell (Kyttä et al, 2013). En annan är att data har olika format och kommer från olika källor, såsom statistik, mätningar, observationer, frågeformulär, 2D eller 3D-representationer (skisser, ritningar etcetera), röstinspelningar och sensorer (Billger et al 2017). I ökande grad ingår kognitiva aspekter i digital modellering och visualisering, istället för att som tidigare enbart fokusera på objektets representativa fysiska korrekthet (Billger et al, 2004; Löving et al, 2015). En speciell utmaning för att visualisera data är hur man kombinerar fotorealism och symbolik med färg i samma 3D-modell (Lange, 2005; San José et al, 2011; Stahre et al, 2008; Stahre Wästberg et al., 2017).

Idag finns endast ett fåtal standarder för miljödata. En viktig del i digitaliseringen av samhällsbyggandets processer är att möjliggöra obrutna informationsflöden, eller kanske snarare att tillgängliggöra kvalitetssäkrad information/ -data digitalt för de som behöver den, när de behöver den. Dessutom behöver vi kunna förstå och tillgodogöra oss data enkelt och snabbt. Därför är det viktigt att det finns standardisering för format, gränssnitt och form, både för att visualisera och tillgängliggöra information och överföra den i olika skeden av bygg- och förvaltningsprocessen (Bosch-Sijtsema et al, 2020). Genom fungerande standarder kan man bli resurseffektivare, och därigenom få en ökad kvalitetssäkring, samt en högre produktivitet.

Samtidigt pågår det mycket arbete angående standardisering utanför Trafikverket, exempelvis Naturvårdsverkets strategi för miljödatahantering¹ och smartare

¹ <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Regeringsuppdrag/Arkiv/Digitalt-forst-smartare-miljoinformation/>

miljöinformation² eller det statliga innovationsprogrammet Smart Built Environment's fokusområde standardisering³. Naturvårdsverket har bland annat specificerat ett antal riktlinjer angående standardisering av data, såsom att göra miljödata väl kända, enkla att hitta, direktåtkomliga i former som efterfrågas och tillgängliga så snabbt som möjligt. Dessutom se till att miljödata är väl beskrivna och lätta att förstå, att använda etablerade standarder, samt göra det lätt att använda miljödata för sambearbetning.

Projektet MiljöVis - Effektiv representation av miljöinformation i infrastrukturmodeller

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

Det övergripande målet med projektet är att förbättra och tydliggöra representationen av information i samordningsmodellerna och därigenom skapa effektivare beslutsunderlag och bidra till enklare kvalitetssäkring under planerings- och byggprocessen. 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. Slutmålet är en tydligare kravställning, förslag på användning av objekt- och symboler, färgschema samt detaljerings- och informationsnivåer för miljödata.

MiljöVis är kopplat till pågående forskning på Chalmers och till det nya kompetenscentret Digital Twin City Center som startar i början av 2021. Tillgången till 3D-plattformen för prototyputveckling, den pågående forskningen om representation av miljödata⁴ på Chalmers och samverkan med Trafikverket ger oss goda förutsättningar för att kunna genomföra projektet. Synergieffekter av att kunna utnyttja olika satsningar ger oss bra förutsättningar för ett hållbart och effektivt projekt.

Projektet består av tre faser: 1) inventering, 2) konceptutveckling för representation av abstrakta objekt, osynliga värden och konsekvenser, samt 3) demonstration. Som ett första steg i arbetet har en inventering genomförts, och det är denna inventering som den här rapporten redogör för.

Syfte

Syftet med rapporten är att redogöra för en inventering av hur man förmedlar visuell information avseende olika typer av miljöparametrar i främst 3D-modeller. I förlängningen kommer vi att utveckla ny kunskap om hur komplexa objektorienterade informationsmodeller (samordningsmodeller) kan bli ett effektivare och tydligare kommunikationsmedel och kvalitetsverktyg.

² <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Regeringsuppdrag/Redovisade-2019/Digitalt-forst-smartare-miljoinformation/>

³ <https://www.smartbuilt.se/om-oss/verksamhet/strategin/standardisering/>

⁴ <https://www.ivl.se/sidor/aktuell-forskning/forskningsprojekt/luft/cityairsim-visar-hur-gronska-paverkar-stadsluften.html>

Fokus ligger på att studera hur man använder grafisk och rumslig representation för presentation och analys i olika projekt. Inventeringen är avsedd som kunskapsunderlag och inspiration för MiljöVis-projektets fortsatta designarbete med att ta fram koncept för visualisering av osynliga parametrar, men avses också kunna användas internt på Trafikverket. I det avslutande kapitlet har vi sammanställt rekommendationer baserade på inventeringen.

Avgränsningar

För att uppgiften ska bli hanterbar inom projektets tidsram har det varit nödvändigt att göra vissa avgränsningar.

Trafikverkets planerings- och designprocess består av flera olika skeden (beskrivet i stycket Trafikverkets investeringsprojekt, s 11). Inventeringen fokuserar på det tidiga planeringsskedet lokaliseringsutredning. Det är i här som en samordningsmodell etableras och som miljöaspekter har som störst påverkan.

Vi har valt att studera miljödata utifrån Trafikverkets definierade miljöområden och miljösäkringsområden, där vi gjort ett urval att fokusera på. För att kunna fånga karaktären för olika typer av visualiseringselement har vi valt att fokusera på miljöområden som innefattar distinkt olika typer av data. Dessa är Buller, Luftkvalitet och Sociala konsekvenser (beskrivet i stycket Urval av miljöområden, s 15).

När det kommer till typ av visualisering har vi 3D som utgångspunkt, men undersöker i inventeringen även 2D-området i relation till relevans och lämplighet till vad som ska visas.

Målgrupp

Målgruppen för den här inventeringen är främst Trafikverkets specialister och samhällsplanerare samt forskare inom visualiseringsområdet.

Trafikverkets investeringsprojekt

Trafikverket ansvarar för långsiktig planering av transportsystemet för vägtrafik, järnvägstrafik, sjöfart och luftfart samt för byggande, drift och underhåll av de statliga vägarna och järnvägarna. Verksamhetsområdena Planering, Investering och Stora projekt (projekt över 5 miljarder) står för planering och byggande av väg och järnväg. Ett investeringsprojekt, som alla planerings och byggprojekt benämns, kan innebära både om-, till- eller nybyggnad av anläggning.

Trafikverkets investeringsprojekt, som är i fokus här, genomförs i flera olika skeden som har olika syften, involverar olika aktörer, samt använder olika verktyg för att stödja processen. Det kan handla om att kommunicera internt mellan leverantörer och myndigheten eller att kommunicera med allmänheten i samråd. I alla dessa skeden hanteras en mångfald olika parametrar inom olika miljöområden. Nedan ges en kort beskrivning av Trafikverkets process som helhet, vilka miljöområden som hanteras samt hur denna studie relaterar till detta.

Planeringsprocessen

Ett vanligt investeringsprojekt på Trafikverket utgår från en beställning om att göra en åtgärd, bygga om eller bygga nytt. I beställningen ingår ett utredningsområde och en översiktlig utredning (åtgärdsvalsstudie). Trafikverkets investeringsverksamhet får en beställning och därmed går projektet in i planläggningsprocessen (bild 1) som syftar till att ta fram en väg- eller järnvägsplan. Planen ska fastställas innan åtgärd kan utföras. Denna process består av ett antal olika skeden för att successivt nå fram till en fastställelsehandling.

Gäller projektet till exempel en ny järnvägssträcka så behöver man ta fram en lokalisering, möjliga korridorer. Här vägs ett antal parametrar, värden och konsekvenser emot varandra för att komma fram till bästa möjliga korridor. Under detta planeringsskede, som kallas lokaliseringsutredning, genomförs ett antal samråd och resultatet presenteras i en samrådshandling. När korridor är vald ökar detaljeringsnivån och arbetet med att precisera en möjlig spårlinje inom korridoren startar. Inom nästa skede, systemhandling, projekteras linjen än mer detaljerat och kommer att vara ett underlag för att ta fram ett förfrågningsunderlag till bygghandling.

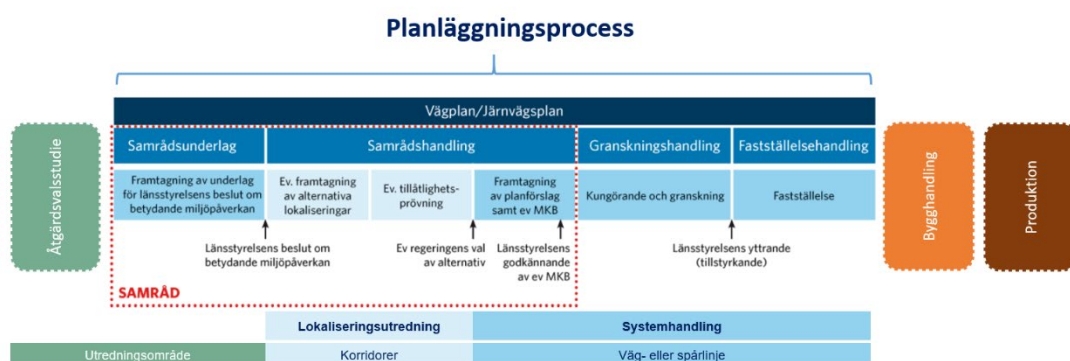


Bild 1. Planerings- och planläggningsprocess i Trafikverket.

Denna forskningsstudie och inventering fokuserar främst på de tidiga skedena i planläggningsprocessen, de som är kopplade till samråden; samrådshandling och

lokaliseringsutredning (bild 2). Även om mycket av det som tas fram i projektet kan appliceras till både tidigare och senare skeden vad gäller hänseende till miljöfrågorna.



Bild 2. Planlägningsprocessen vid planering av ny väg och järnväg.

Trafikverkets ansvar för hälsa och miljö - Transportpolitiska hänsynsmålet

Trafikverket ska som verksamhetsutövare för statliga vägar och järnvägar utföra de skyddsåtgärder, iaktta de begränsningar och vidta de försiktighetsmått i övrigt som behövs för att förebygga, hindra eller motverka att verksamheten eller åtgärden medför skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljön (enligt 2 kap. 2,3 § miljöbalken (1998:808)). Det transportpolitiska hänsynsmålet handlar därför om att säkerhet, miljö och hälsa uppfylls. Hänsynsmålet ska bland annat bidra till att de 16 nationella miljökvalitetsmålen uppnås, däribland "God bebyggd miljö" som innebär att städer, tätorter och annan bebyggd miljö ska utgöra en god och hälsosam livsmiljö, och byggnader och anläggningar ska placeras och utformas på ett miljöanpassat sätt. Buller är en av utmaningarna i detta miljökvalitetsmål.

Systematiskt miljöarbete - Miljösäkring

Att hantera miljöfrågor handlar om att hålla reda på stora mängder information, analysera denna, anpassa lösningar, föreslå åtgärder och beskriva konsekvenser. Det är nödvändigt att systematisera arbetet för att möjliggöra spårbarhet och att lösningar, bortval och så att bedömningar blir transparenta och kan förstås i nästkommande skeden som ibland kanske hanteras av andra personer än det föregående.

Systematisk hantering av miljöfrågor, miljösäkring är en process som är ett stöd för att jobba mer medvetet och aktivt med miljöfrågorna från tidig planering via planläggning till byggande och drift av väg eller järnväg (bild 3). Den syftar också till att bidra till en god miljö- och landskapsanpassning och uppfyllande av miljömålen, efterleva interna krav och lagkrav om miljö samt undvika negativa miljöeffekter.



Bild 3. Processen miljösäkring tydliggör arbetsflödet från planeringsfas till avslutningsfas med aktiviteter.

Inom ramen för miljösäkringsprocessen beskrivs de olika miljöområdena. Under respektive område finns också riktlinjer och andra stöddokument kopplade. Trafikverket belyser i alla sina projekt ett flertal miljöområden för att kunna förstå och bedöma konsekvenser som projektets genomförande kommer att ha på närmiljön. Aktuella miljöområden inom miljösäkring är:

- Arkitektur
- Befolkning, friluftsliv och sociala aspekter
- Buller, komfortvibrationer och stomljud
- Energi och klimat
- Förorenade områden och masshantering
- Landskap (kulturmiljö, naturmiljö, markanvändning)
- Luftkvalitet
- Material, kemiska produkter och avfall
- Vatten
- Övrigt (elektromagnetiska fält, ljus)

Samordning, kommunikation och visualisering av miljöområdena

Vanligtvis presenteras arbetet inom de olika miljöområdena i var sitt utrednings PM som därefter sammanfattas i en miljökonsekvensbeskrivning (MKB) för utredningsområdet. Denna kompletteras med kartor som ofta också presenteras i GIS och samordningskartor. Trafikverket har även krav på visualisering av alla teknik- och miljöområden i 3D, i samordningsmodeller. I samordningsmodellerna ingår därför representation av miljöinformation. Här nedan beskrivs tre exempel på användning av visualisering i både karta och modell.

Digitalt Samråd – extern kommunikation

Samråd ger chans att påverka ett väg- eller järnvägsprojekt. Under arbetet samråder man med länsstyrelsen, berörda kommuner, övriga berörda myndigheter, allmänheten samt de organisationer och enskilda som berörs. Samrådet ska presentera var vägen eller järnvägen ska ligga, hur den ska utformas och vilken miljöpåverkan den får. Under samråden diskuteras förslag till lösning, miljöpåverkan och påverkan på enskilda fastigheter, till exempel om det behövs bullerskydd eller landskapsanpassad utformning.

Trafikverket har utvecklat en plattform för digitalt samråd där man har möjlighet att lämna synpunkter. I denna presenteras en sammanfattning av samrådsunderlaget med bland annat en karta som visar utredningsområdet och tillhörande information. Informationslager som finns är befolkning, landskap, naturmiljö, kulturmiljö, rekreation och friluftsliv, riksintressen, hälsa, yt- och grundvatten, klimat och resurser, samt bedömning av miljöpåverkan, se bild 4.

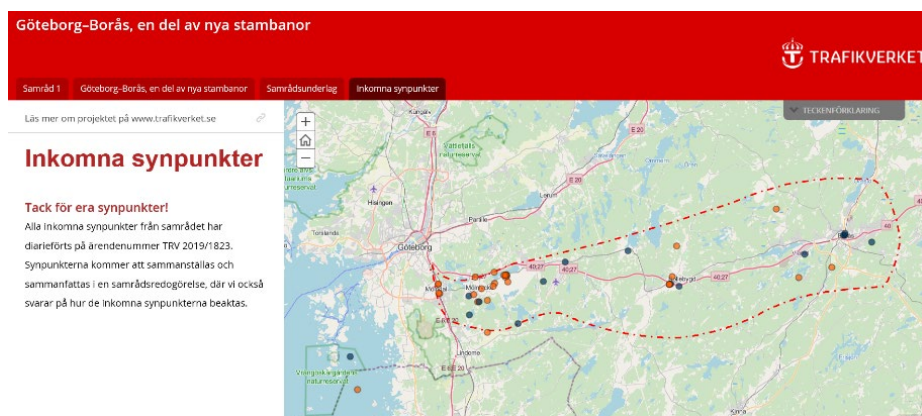


Bild 4. Digitalt samråd med interaktiv karta för ett av Trafikverkets projekt.

Samordningskarta – intern kommunikation

För internt bruk, antingen bara hos leverantör eller mellan leverantör och beställare (Trafikverket) brukar ibland en samordningskarta i GIS (bild 5) användas för att skildra information och förutsättningar inom utredningsområdet. Exempel på sammanställningar som kan finnas med är samordning, riksintressen, forn- och kulturmiljöer, jord- och berggrund, fastigheter med rättigheter, skogsstyrelsen, miljödata, synpunktsanalys. I vissa projekt länkas även objekt till relaterade 3D-modeller, vilka visas i separat fönster eller program.

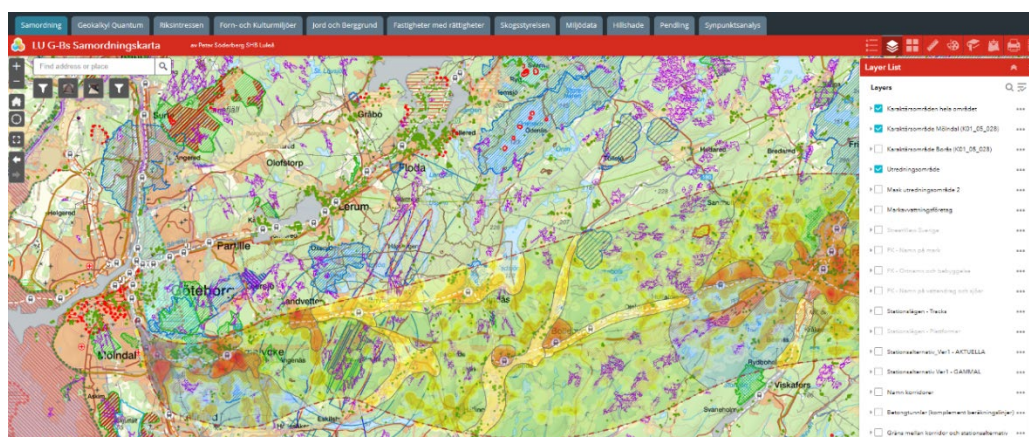


Bild 5. Samordningskarta i GIS i ett lokaliseringsskede. Kartan illustrerar också projektens komplexitet med många olika förutsättningar att ta ställning till, och svårigheten att visa tydliga sammanhang på ett enkelt sätt.

Samordningsmodell – olika skalor och detaljeringsnivåer

Visualisering är ett starkt kommunikationsverktyg som bidrar till bättre förståelse, bättre beslut och mindre antal fel. Trafikverket försöker därför minimera behovet av ritningar och beställer främst BIM-modeller. Samordningsmodellerna ska innehålla alla teknik- och miljöområden och syftar till att man enklare skall kunna se de komplexa samband som

uppstår vid planering av väg- och järnväg. Modellerna kan ha olika detaljeringsnivå beroende på skede och täcker ofta flera mil av landskapet vilket gör att modellerna skiljer sig från de modeller man använder inom byggbranschen (hus/byggnader) (bild 6A, B). Modellerna är alltid kopplade till ett geografiskt koordinatsystem. Beroende på hur man zoomar in och ut i modellen uppfattas skala och detaljering olika.



Bild 6A, B. Samordningsmodeller – olika detaljeringsnivåer.

Visualiseringsutmaningar för samordningsmodeller

Kravet på information i samordningsmodellerna är enkelt; allt som tidigare visats på ritning skall vara med i modellen. Det ger en stor frihet men kan också tolkas olika. Det finns mycket miljöinformation som gör att det lätt kan bli rörigt och ta mycket plats (modellen blir för stor) när allt visas samtidigt. Det finns därför ett stort behov av att fastställa vilka objekt, vilken detaljeringsnivå och vilken information som skall vara med i samordningsmodellen i vilken skede. Likaså är det viktigt för ökad förståelse att objekt presenteras på ett likriktat sätt i modellen via färger och gemensamma symboler. Abstrakta objekt och osynliga värden behöver också fastställas hur de ska visualiseras i modellen så att man lätt kan känna igen sig.

Urval av miljöområden

För att kunna göra en relevant inventering så har vi valt att fokusera på 3 av Trafikverkets miljöområden; buller (inklusive vibrationer och stomljud)⁵, luftkvalitet⁶, samt social hållbarhet (sociala konsekvenser). Dessa områden har valts för att de representerar olika egenskaper som behöver visualiseras och att parametrarna för att beskriva områdenas egenskaper har stor variation. Buller, luftkvalitet och social hållbarhet är viktiga för vår upplevelse och välmående, samtidigt som dessa värden är osynliga och svåra att representera på ett visuellt begripligt sätt. Buller och luft och kan mätas kvantitativt i motsats till sociala konsekvenser som oftast bygger på kvalitativa bedömningar. Ett annat motiv för urvalet var också att ha underlag för att kunna hantera komplexiteten som Trafikverkets projekt innebär. Det är aldrig bara ett område som hanteras utan alltid flera som behöver vägas mot varandra.

Områdena kan definieras enligt:

Buller är ett samlingsbegrepp som innefattar många olika definitioner. Förenklat kan man säga att buller beskriver allt ljud som är oönskat. Buller från trafik bör, vid nya eller ombyggda vägar och järnvägar, normalt inte överskrida vissa riktvärden.

Vibrationer definieras som en lågfrekvent svängning kring ett jämviktsläge. De genereras till exempel från trafik på väg eller järnväg och sprids därifrån till omgivningen. Människor blir exponerade i form av störande helkroppsvibrationer. (Naturvårdsverket, 2016)

Stomljud definieras som ljud som fortplantas via fasta material, till exempel genom stommen i en byggnad. Stomljud genereras då vibrationer från till exempel tågtrafik sprids genom marken till närliggande byggnader och sätter konstruktionen i svängning. Konstruktionen avger i sin tur ett lågfrekvent ljud. (Naturvårdsverket, 2016)

Luftkvalitet All biltrafik skapar buller och luftföroreningar. Luftföroreningar har en betydande negativ påverkan på både människors hälsa och miljön. Riksdagens definition på miljömålet Frisk luft är att "Luften ska vara så ren att människors hälsa samt djur, växter och kulturvärden inte skadas". (Naturvårdsverket, 2020)

Social hållbarhet kan innefatta social rättvisa och inkludering, väl fungerande och anpassningsbara men även uppskattade livsmiljöer, säkerhet, tillit, och medborgerligt deltagande. Miljöer ska fungera för alla människor som ska använda dem oavsett kön, ålder, religion, socio-ekonomisk bakgrund, etnicitet, sexuell läggning eller funktionsnedsättning. Men det handlar också om människors problem och intressen och hur människor kan hitta lösningar och hantera olika situationer. Ur Trafikverkets perspektiv handlar det framförallt om att identifiera och kartlägga sociala värden, mönster och förhållanden inom ett utredningsområde. Utifrån identifierade värden kan lokaliseringalternativ tas fram och bedömas utifrån sociala förutsättningar samt redovisas utifrån de sociala konsekvenser som dessa bidrar till. (Göteborgs Stad, 2017)

Social konsekvensanalys (SKA) handlar om att förstå hur ett område fungerar idag, vilka sociala kvaliteter och behov som finns samt att bedöma huruvida olika åtgärdsförslag stärker/förklarar inventerade sociala aspekter. SKA rör allt från byggnaden och platsen, över stadsdelen, till stad och region. Det finns idag inga fastställda riktlinjer, krav eller

⁵ TDOK 2014:1021 Riktlinje Buller och vibrationer från trafik på väg och järnväg v3.0

⁶ TDOK 2014:0167 Riktlinje Luftkvalitet vid planering av bebyggelse v1.0

framtagen handledning inom Trafikverket för hur en social konsekvensanalys ska genomföras. (Göteborgs Stad, 2017)

Visualisering av Buller, Luft och Sociala konsekvenser på Trafikverket

Oftast visualiseras inte luft och buller i samordningsmodellerna. Men då de gör det illustreras de genom områden, ytor med olika färg, som representerar en viss ljudnivå, och som draperas på markytan, se bild 6A. Men vanligast är att resultatet av analyserna (utbredning av ljudnivå eller partikelhalt) visas på kartor (bild 7, 8A, B) eller som separata visualiseringar inom respektive analysprogram (beräkningsprogram) och inte tillsammans, i en samordningsmodell, med andra teknik- och miljöområden.

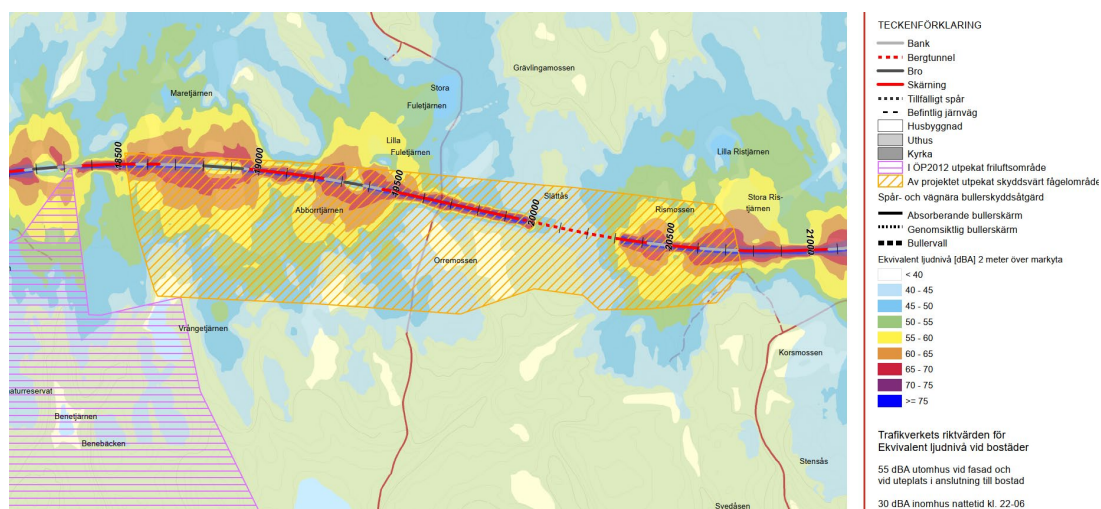


Bild 7. Exempel på bullerutbredning i 2D utifrån en tänkt järnvägssträckning.

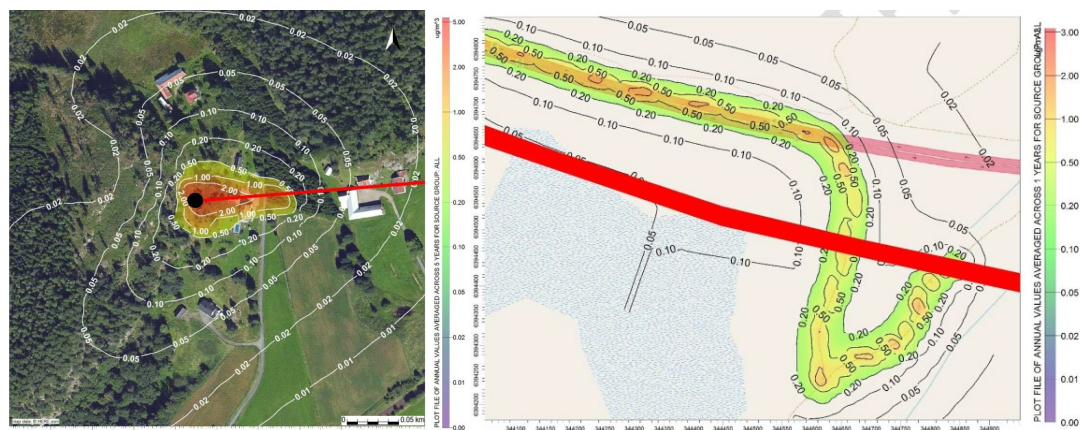


Bild 8A,B. Beräknade halter av partiklar som årsmedelvärde från planerad tunnelmynning och transportväg.

Information om de sociala konsekvenserna såsom till exempel besöksmål och rörelsestråk finns främst tillgänglig som GIS-data i en kartapplikation och läggs inte in i samordningsmodellen. Ifall den tas med så representeras data ofta som ytor, linjer, och punkter (hotspots) med attribut (information) länkade till sig (bild 9).

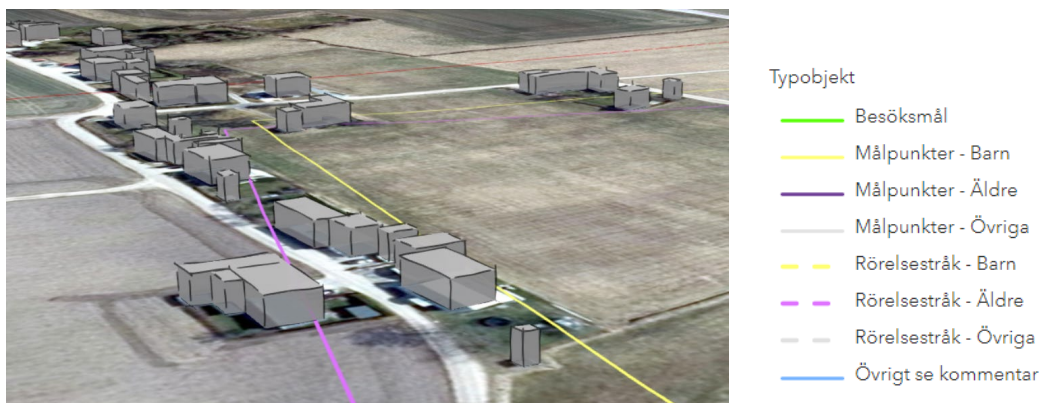


Bild 9. Legend för SKA-inventering. Typobjekt i form av ytor, linjer och punkter med tillhörande attribut kan appliceras både i karta och modell.

Metod och genomförande

Inventeringen genomfördes under våren 2020 och har baserats på en litteraturstudie kombinerad med en omvärldsanalys, litteraturstudie, samtal med aktörer på Trafikverket, samt projektmöten och workshops.

Litteraturstudien har fokuserat på att hitta 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. Både litteraturstudien och omvärldsanalysen har baserats på sökningar på internet med ett antal sökord och sökordskombinationer. För forskningsartiklar och rapporter har databaserna Google Scholar och Scopus använts. För projekt har Googles bilddatabas använts, samt kunskap om relevanta projekt på Chalmers och Göteborgs Universitet. I litteraturstudien har vi framför allt undersökt interna rapporter från Trafikverket i syfte att förstå hur deras arbetsprocesser fungerar.

Samtal har förts med miljöspecialister på Trafikverket, för att få Trafikverkets syn på miljöfrågorna. I projektmöten och workshops har vi i en formativ process identifierat vilka miljöområden vi behöver arbeta med, genom att tillämpa trattmodellen. Tillvägagångssättet innebär att vi börjat med en bred informationsinsamling om miljöområdena som Trafikverket jobbar med och vilken typ av data som använts. Sedan har vi valt ett antal områden att fokusera på för att kunna styra litteraturstudien och sökning av projekt.

I ett nästa steg har vi samlat in relevanta exempel på projekt och sammanställt dessa i form av en powerpointpresentation som fungerar både som ett projektbibliotek och bas för rapporten. I sammanställningen har vi tilldelat projekten ett miljöområde, dvs. buller, luftkvalitet och sociala konsekvenser. Sedan har information om varje projekt strukturerats enligt en mall som vi själva tagit fram, där vi noterat 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 sist första reflektioner.

Slutligen har vi genomfört en översiktlig analys, baserad på både litteraturstudien och projektsammanställningen, som underlag för att utveckla framtida designkoncept inom projektet *MiljöVis - Effektiv representation av miljöinformation i infrastrukturmodeller*. Här har vi fokuserat på hur olika typer av data visualiseras idag, som vi kallar för visualiseringskomponenter, i första hand med avseende på representation och perspektiv.

Definitioner av visualiseringsbegrepp

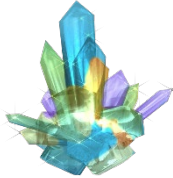
Det finns många aspekter att ta hänsyn till vid skapandet av en visualisering, vilka påverkar hur den i slutändan kommer att upplevas. Aspekter som vi valt att fokusera på är: *representation, dimension, perspektiv, skala, samt detaljeringsgrad.*

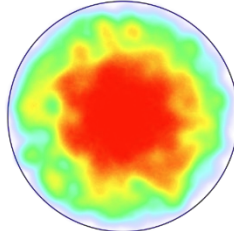
Med *representation* avser vi designvalen kopplade till de olika miljöområdena samt till en grundmodell. Grundmodellen är den plattform där man kan visa data som representerar osynliga fenomen kopplade till de olika miljöområdena. Vi avser här främst stadsmodeller eller så kallade digitala tvillingar (för definition av digitala tvillingar se stycke Stadsmodeller – Digitala tvillingar, s 24), men inkluderar även kartor.

I inventeringen har vi baserat och anpassat våra representationsbegrepp främst utifrån Ware (2004) och delat upp dem i grupperna *geometriska former, visuella egenskaper* och *visuella tecken*.

Geometriska former är komponenter som tillsammans utgör det visuella grundmaterialet i en modell. Vi har definierat följande begrepp: *ytor, linjer, punkter, volymer, 3D-rutnät* och *heatmaps* (se tabell 1).

Tabell 1. Urval och definition av olika typer av geometriska former, baserade främst på Ware (2004). Bildreferens till varje definition (a - f) finns listade i rapportens referenslista.

Geometriska former	Definition	Exempel
Ytor	En yta är en avgränsning av ett objekt i 2D. Generellt sett har de flesta ytor tydligt definierade gränser och kan därför vara oändligt varierade. Ytor förekommer både i 2D- och 3D-visualiseringar.	 (a)
Linjer	En linje är ett enkelt grafiskt objekt, som är markant längre i proportion till sin bredd och kan visas fristående eller tillsammans med andra objekt. På en yta definierar linjer ofta riktningar och gränsdragningar. Linjer förekommer både i 2D- och 3D-visualiseringar.	 (b)
Punkter	En punkt betecknar ett objekt utan någon utsträckning och kan definieras genom dess läge i ett koordinatsystem. Punkter förekommer både i 2D- och 3D-visualiseringar.	 (c)
Volymetriska objekt	Ett tredimensionellt volymetriskt objekt är ett objekt med tre dimensioner: en längd, en bredd och en höjd. Inom visualisering är objekten tomma skal, vars sidor består endast av en utsida. Volymetriska objekt inkluderar exempelvis sfär, kub, pyramid, kon, prisma, cylinder.	 (d)

3D-rutnät	3D-rutnät definierar ett tredimensionellt rutnät med datapunkter med olika x,y,z koordinater. Punkterna visar olika värden och mappas till exempelvis färger och opacitetsvärden.	 (e)
Heatmaps	En heatmap (värmekarta) är en datavisualiseringsteknik som visar ett fenomenets storlek och spridning i form av olikfärgade ytor. Färgvariationer visas med till exempel nyans eller intensitet som anger hur fenomenet varierar över ett område. Värmekartor används vanligtvis för att visualisera densiteten hos ett punktdata-set (punktmoln).	 (f)

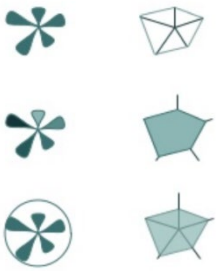
För att information ska kunna tydliggöras och identifieras i relation till sitt sammanhang behöver man oftast definiera olika visuella egenskaper för varje geometrisk form. Vi har delat in visuella egenskaper i begreppen *Färg*, *Textur* och *Mönster* (se tabell 2).

Tabell 2. Urval och definition av olika typer av visuella egenskaper. Bildreferens till varje definition (a - c) finns listade i rapportens referenslista.

Visuella egenskaper	Definition	Exempel
Färg	Färg är liksom textur en grundläggande visuell egenskap hos en form och används för att beskriva formens innebörd. Då färg uppfattas olika beroende på kulturella associationer och biologiska olikheter i färgseende är det viktigt att noga tänka på hur man använder en viss färg i ett sammanhang. Färgskala: En färgskala är en sekvens av färger och används för att representera kontinuerligt varierande värden inom många vitt skilda områden. Att applicera färgskalor i heatmaps är ett vanligt sätt att visualisera data.	 (a)
Textur	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.	 (b)
Mönster	En regelbunden visuell upprepning, som kan bestå av upprepade linjer, former eller färger på en yta. Det kan till exempel vara en textur som upprepar sig till att bli ett mönster.	 (c)

Visuella tecken förmedlar information till en viss målgrupp genom sin utformning och kan fungera som viktiga komplement i en geometrisk visualisering. Vi har valt att dela in visuella tecken i *Symboler*, *Ikoner* och *Glypher* (se tabell 3).

Tabell 3. Urval och definition av olika typer av visuella tecken. Bildreferens till varje definition (a -c) finns listade i rapportens referenslista.

Visuella tecken	Definition	Exempel
Symboler	I det här sammanhanget definierar vi symboler som en grafisk bild vars syfte är att representera till exempel ett begrepp, en handling eller ett scenario. En symbol är en enkel konceptuell bild vars betydelse måste läras in, till exempel trafikskyltar. En symbol liknar inte det den representerar.	 (a)
Ikoner	Ikoner är en enkel bild som endast representerar synliga objekt eller fenomen. Ikoner är alltså <i>inte</i> konceptuella bilder och man behöver därför inte lära in deras mening.	 (b)
Glypher	En glyph är ett grafiskt objekt som genom sin utformning - färg, form och storlek -förmedlar olika datavärden. Glypher kan representeras i ett rutnät (2D eller 3D) eller i ett diagram.	 (c)

Dimension avser i det här sammanhanget miljöer representerade både i 3D och 2D. I inventeringen har vi dock ett tydligt fokus på 3D-miljöer.

Perspektiv och Skala. Perspektiv handlar om olika vyer som användaren kan inta i sin interaktion med modellen. Det finns flera sorters perspektiv och några av de mest välkända varianterna är fotgängarperspektiv (gatuvy) och fågelperspektiv (sett högt uppfifrån). Olika perspektiv kopplar till olika användningsområden och syften med modellen.

Skala anger förhållandet mellan ett visst avstånd på en avbildning och motsvarande avstånd i verkligheten. Trafikverkets modeller täcker stora områden. Beroende på vilka utsnitt man tittar på, med andra ord beroende på hur man zoomar in och ut i modellen, kommer skalan att upplevas olika. Att lägga till exempelvis människor eller fordon i modellen kan ge en uppfattning om skalan.

Detaljeringsnivå, ofta kallad Level of detail (LOD), har betydelse för hur man uppfattar visualiseringen och vad man fokuserar på. Detaljeringsnivån är oftast kopplad till skalan.

Resultat I: Sammanställning av projekt

Nedan presenteras resultaten från omvärldsanalysen, en sammanställning av projekt utifrån miljöområden och exempel på digitala tvillingar kopplade till stadsmodeller (för definition av digitala tvillingar se stycke Stadsmodeller – Digitala tvillingar, sista stycket på sidan).

Sökningen gav en uppsjö av träffar och det är inte möjligt att studera alla projekt som finns. Vi har riktat in oss på att täcka en mångfald av visualiseringstekniker inom varje miljöområde och för digitala tvillingar, varav de mest relevanta visas här. Inom området buller redovisas 5 projekt, inom området luftkvalitet 8 projekt, och inom området social konsekvensanalys 10 projekt, samt 8 stadsmodeller. Vissa av projekten berör flera miljöområden. Projekten är presenterade i omvänd kronologisk ordning, det vill säga de nyaste ligger först.

Buller

Inom området bullersimulering och –visualisering kan vi konstatera att det finns relativt få forskningsprojekt som fokuserar på bullervisualisering i 3D, jämfört med 2D. Däremot finns det ett antal mjukvaruutvecklare som fokuserar på detta, exempelvis SoundPLAN, CadnaA software och noise3D. I vår kartläggning har vi valt att koncentrera oss på projekten istället för mjukvaruutvecklarna. Projekten sträcker sig från 2012 fram till idag. En intressant utvecklingsriktning är kombinationen av visualisering och auralisering (ljudsimulering), vilket möjliggör en mer omfattande upplevelse. Se tabell 4 för ett urval av studerade projekt.

Lufthkvalitet

De studerade projekten som relaterar till luftkvalitet är ofta kopplade till lägesbeskrivningar av luftkvaliteten i städer och innefattar ett brett spektrum av olika typer av mätbara luftföroreningar. Vissa projekt baserar visualiseringarna på års- eller månadsmedelvärde, medan andra visar luftkvaliteten i realtid. Konceptuella projekt samt relevanta företagsprojekt har inkluderats i inventeringen. Projekten sträcker sig från 2010 fram till idag, vissa är pågående. Se tabell 5 för ett urval av studerade projekt.

Social konsekvensanalys

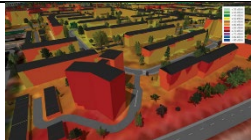
Social hållbarhet och social konsekvensanalys har tolkats brett i inventeringen allt från att visa demografiska data, både statistiska och uppmätta, till hur människor upplever platser idag och hur de vill att dessa utvecklas. Projekt som handlar bland annat om att kartlägga och beskriva befintliga kvaliteter och beskriva eller simulera framtida utvecklingar har inkluderats samt företag som jobbar med olika relevanta projekt. Projekten täcker ett tidsspann från 2012 fram tills idag. Tabell 6 sammanfattar projekten. Visualiseringar förekommer i både 2D och 3D.

Stadsmodeller – digitala tvillingar

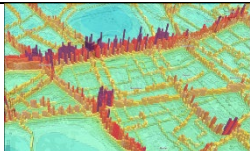
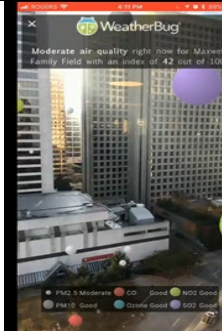
Vi har valt att ta med ett urval av projekt som behandlar digitala tvillingar i vår inventering, då digitala tvillingar är relevanta när det kommer till utförandet av grundmodellen, dvs modellen i vilken de olika parametrarna ska visas, se tabell 8. En digital tvilling för en smart

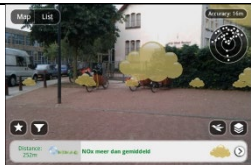
stad kan ses som en virtuell kopia av en stad. Den består av en digital representation av stadens olika aspekter, och baseras på både på fysiska data, som till exempel geodata, och realtidsdata, som exempelvis sensordata (Palau, 2018). Tabell 7 visar ett urval skandinaviska, europeiska och internationella digitala tvillingar.

Tabell 4. Inventerade projekt inom miljöområde Buller. Referens till varje projekt (a-e) finns listade i rapportens referenslista.

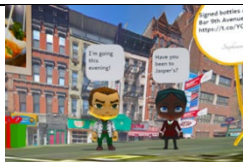
Projekttitel & Länk	Projekt-period	Fokus	Bild och referens
Mapping the Sound Environment of Andorra and Escaldes-Engordany by Means of a 3D City Model Platform www.mdpi.com/2413-8851/3/3/89	2018–	Att använda identifiering av ljudkällor och deras enskilda påverkan på bakgrundsbuller i staden till att utveckla ett visualiseringsverktyg som kan representera denna information i realtid.	 (a)
DemoVirPEN - demonstrator för virtuell planering och scenarioanalys av osynliga miljöfaktorer med fokus på buller i staden www.chalmers.se/en/projects/Pages/A-demonstrator-for-virtual-planning-and-scenario-analysis-of.aspx Film på youtube: https://www.youtube.com/watch?v=-4btcZW-g1c	2018–2019	Att utveckla en prototyp till ett planeringsverktyg som genom visualisering och auralisering (ljudsimulering) kan ge större förståelse för effekterna av buller i olika scenarier.	 (b)
MiljöVis – Ett dialogverktyg för visualisering av miljödata i stadsmodeller https://visresgot.se/project/228/	2017–2018	Att utveckla en prototyp till ett dialogverktyg för att visualisera kombinerade miljödata (luft, buller, vind) i en urban 3D-modell.	 (c)
Data fusion in urban modeling and visualisation www.chalmers.se/en/departments/ace/research/Architectural%20Theory%20and%20Method/Pages/Data-fusion.aspx	2015–2016	Fokus på att samla in data om olika aspekter av stadslivet; aggregera och visualisera dem för visuellt baserad analys av big data. Visualisering och auralisering av buller.	 (d)
Planning the City of Tomorrow in 3D www.esri.com/about/newsroom/arcuser/planning-the-city-of-tomorrow-in-3d	2012–	Utveckling av bullermodeller i 3D utifrån 2D-data för påverkan av buller på ett område. Tillsammans med statistisk information kan man se hur många människor påverkas av olika ljudnivåer i olika utvecklingsscenarier.	 (e)

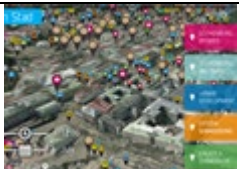
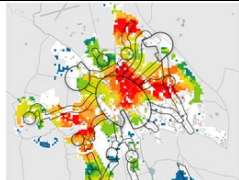
Tabell 5. Inventerade projekt inom miljöområde Luftkvalitet. Referens till varje projekt (a – h) finns listade i rapportens referenslista.

Projekttitel & Länk	Projekt-period	Fokus	Bild och referens
3D Map of Nitrogen Dioxide Pollution	2020 –	En 3D-webbkarta, baserad på modellerade årliga föroreningsnivåer för NO ₂ 2020. De beräknade uppgifterna presenteras som en raster (ett rutnät med uppskattade föroreningsvärden) visualiserade med staplar.	 (a)
https://parallel.co.uk/3D/laei-no2/#13.02/51.50681/-0.1614/0/45; https://mappinglondon.co.uk/2018/3d-map-of-nitrogen-dioxide-pollution/; https://parallel.co.uk/			
WeatherBug Weather App uppdaterad med Augmented Reality för att visa luftpartiklar	2020	App/webbplats för att förutse vädret, inklusive att visa luftpartiklar i omgivningen i AR. AR-partiklarna kan förstoras till 3D-modeller för att förstå sammansättningen av luften. Även AR-funktion som visar allergener som pollen, avgaspartiklar mm, med realtids- och platsspecifik information.	 (b)
https://arpost.co/2018/11/06/weatherbug-weather-app-updated-with-augmented-reality-to-show-air-particles/			
New York Times AR-visualisering för att jämföra världens mest förorenade luft med den egen stads	2019	För att hjälpa tidningens läsare att visualisera de enorma effekterna av luftföroreningar använder en ny artikel från New York Times en åtföljande AR-mobilupplevelse för att visualisera den nästan osynliga föroreningen som finns i luften.	 (c)
www.nytimes.com/interactive/2019/12/02/climate/air-pollution-compare-ar-uk.html?smid=tw-nyclimate&smtyp=cur ; https://vrscout.com/news/nyt-app-ar-air-pollution/			
Google Air quality maps	2019	Google skapar Köpenhamns luftkvalitetskarta i samarbete med Köpenhamns stad och Utrecht universitet. Tar in data från Google Street View-fordon för att mäta luftkvalitet på gatunivå. Den preliminära kartan visar block-för-block-koncentration av olika luftföroreningar.	 (d)
www.google.com/earth/outreach/special-projects/air-quality/			
CityAirSim - Visualisering och modellering av urban luftkvalitet. Påverkan av vegetation, trafik-emissioner, bebyggelsestruktur	2018–2021	Att i VR visualisera hur vegetation, tätare byggnadsstruktur och framtida trafiksituation påverkar luftkvaliteten, och visa hur luften påverkas om hus, växtlighet och vägar placeras på olika sätt.	 (e)
www.mistraurbanfutures.org/sv/projekt/cityairsim-ska-visa-hur-trafik-gronska-och-tatt-byggande-paverkar-stadsluften			

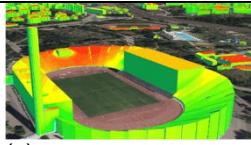
MiljöVis – Ett dialogverktyg för visualisering av miljödata i stadsmodeller https://visresgot.se/project/228/	2017–2018	Att utveckla en prototyp till ett dialogverktyg för att visualisera kombinerade miljödata (luft, buller, vind) i en urban 3D-modell.	 (f)
How to visualize the invisible: Simulating air pollution dispersions in a 3D city model https://research.chalmers.se/en/publication/181836	2012–2013	Projektet undersöker olika sätt att representera miljöfaktorer i 3D-stadsmodeller.	 (g)
MIMAQ: Visualizing air quality in augmented reality https://wtffuture.wordpress.com/2010/09/12/mimaq-visualizing-air-quality-in-augmented-reality/	2010	MIMAQ tillhandahåller mobila miljösensorer för att mäta de viktigaste föroreningsindikatorerna och visa resultaten i realtids-AR, och som medelvärden över tid som visas på en karta.	 (h)

Tabell 6. Inventerade projekt inom miljöområde Social hållbarhet. Referens till varje projekt (a – j) finns listade i rapportens referenslista.

Projekttitel & Länk	Projekt-period	Fokus	Bild och referens
Geollery https://dl.acm.org/doi/fullHtml/10.1145/3290605.3300915	2019–	Social mediaplattform för att skapa, dela och utforska geotaggad information med virtuella avatarer. Användare kan ses, chatta och samarbeta i samma virtuell miljö i realtid. För utforskning, ha kul och som turistguide.	 (a)
Urban history http://4dbrowser.urbanhistory4d.org/#/	2016–2020	Fotogrammetrisk analys av historiska fotografier integreras i processen med historisk bildanalys för att skapa en rumslig relation till dagens situation. Identifikation av mönster, singulariteter och diskontinuiteter i arkitektur och stadsbild.	 (b)
Tala om vad du tycker... Framtagning av en dialogmetodik https://research.chalmers.se/en/publication/511212	2016–2018	Kartläggning av boendekvaliteter i bostadsområdet i dialogform med hjälp av det kartbaserade enkätverktyget Maptionnaire	 (c)

Sociala värden som 3D stadsvisualisering	2015–2016	3D-visualiseringar av sociala värden och energianvändning baserad på data från enkäter, byggnadsdata, infrastruktur och demografiska data. Bland annat visualisering av medborgarnas attityder angående ekonomiska status, byggd miljö, social integration.	 (d)
www.mdpi.com/2071-1050/8/2/195			
Street score	2014	Verktyg som mäter och visualiserar upplevd trygghet/säkerhet för olika typer av gatuvyer. En algoritm tilldelar en poäng till en gatuvy baserad på hur säker den uppfattas.	 (e)
http://streetscore.media.mit.edu/about.html			
Manhattan Population Explorer	2014–2018	Interaktiva 2D och 3D visualiseringar av befolkningen i Manhattan, kvarter för kvarter och timme för timme för en typisk vecka i slutet av våren. Även statistiska data visualiseras.	 (f)
http://manpopex.us/			
Min Stad	2012–	Interaktiv karta där medborgarna i Göteborg kan ge förslag på ändringar eller berätta en story.	 (g)
http://minstad.goteborg.se/minstad/index.do			
Urban CoBuilder	2012–2020	AR verktyg för att kollaborativt designa urbana miljöer med hjälp av byggklossar som har olika urbana funktioner och spelmekanismer.	 (h)
https://research.chalmers.se/publication/515953/file/515953_Fulltext.pdf			
Morphocode Explorer	pågående	Interaktivt verktyg för att utforska städer genom dataanalys och visualisering. Analys av befintliga platsförhållanden, mätning av urbana indikatorer och rumslig analys direkt i webbläsaren.	 (i)
https://explorer.morphocode.com/			
Spacescape	2001–	Ett forskningsdrivet konsultföretag som undersöker relationen mellan stadens form och hur den används och upplevs. Olika typer av stadsrums- och stadslivsanalyser, bland annat rumsliga analyser av segregation, trygghet och jämlikhet, gångflödesmätningar och platsobservationer.	 (j)
www.chalmers.se/en/centres/dtcc/Pages/default.aspx			

Tabell 7. Inventerade projekt avseende Stadsmodeller, med fokus på digitala tvillingar. Referens till varje projekt (a – h) finns listade i rapportens referenslista.

Projekttitel & Länk	Projekt-period	Fokus	Bild och referens
Digital Twin Cities Centre (DTCC)	2020–	En virtuell öppen plattform håller på att byggas med bas i Göteborg. Olika sorters data integreras i en stadsmodell för att simulera och visualisera varierande aspekter av stadens liv.	 (a)
www.chalmers.se/en/centres/dtcc/Pages/default.aspx			
Virtual Singapore (VS)	Pågående	Dynamisk 3D-stadsmodell och samarbetsplattform, inklusive 3D-kartor, där användare från olika sektorer kan utveckla verktyg och applikationer.	 (b)
www.smartnation.gov.sg/what-is-smart-nation/initiatives/Urban-Living/virtual-singapore ; www.wired.com/2017/02/virtual-singapore-looks-just-like-singapore-irl-data/			
Helsingfors stadsmodell	Pågående	Två 3D stadsmodeller: semantisk informationsmodell för analyser, och en visuellt realistisk modell för onlinetjänster och bas för designprojekt.	 (c)
www.hel.fi/helsinki/en/administration/information/general/3d/			
Digital City Rotterdam	Pågående	Visar vad som händer i staden i realtid. I Rotterdam 3D visas till exempel byggnaders funktion och höjd.	 (d)
https://www.3drotterdam.nl/#/			
Herrenberg	Pågående	Utvecklingen av en prototyp till en digital tvilling för Herrenberg, Tyskland. 3D modell i VR.	 (e)
https://cities-today.com/how-a-small-german-town-is-using-an-advanced-digital-twin/			
Virtual Newcastle Gateshead	Pågående	Syftet med VNG-projektet är att söka sätt att skapa en definitiv, exakt, interaktiv modell av Newcastle och Gateshead med potential att användas för en rad applikationer.	 (f)
www.northumbria.ac.uk/about-us/academic-departments/architecture-and-built-environment/research/virtual-reality-visualisation/research-enterprise-projects/virtual-newcastle-gateshead/			
VU.CITY	Pågående	Interaktiv 3D-modell av 13 städer, främst i Storbritannien. Användare kan importera till eller bygga sin egen 3D-modell inom VU.CITY för att omedelbart testa förslag.	 (g)
https://vu.city/			
Virtual London	2005	3D-modell av London. Användare kan ströva omkring i ett virtuellt galleri som avatarer och utforska frågor som rör London i ett spelliknande miljö.	 (h)
https://www.ucl.ac.uk/bartlett/casa/virtual-london			

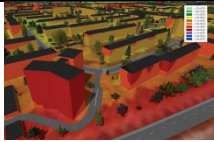
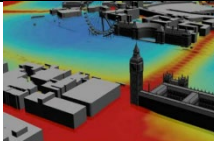
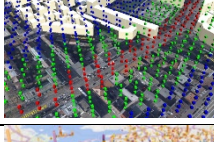
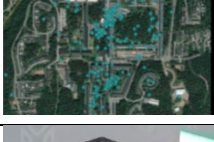
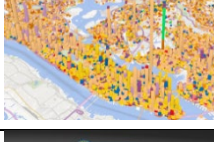
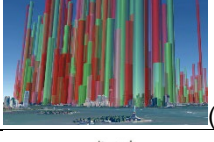
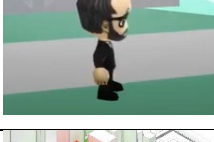
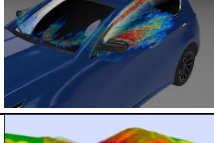
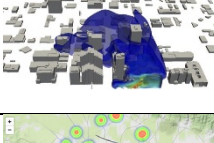
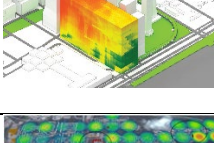
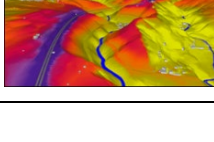
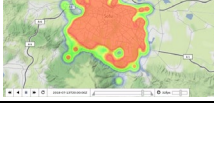
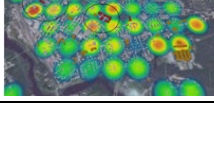
Resultat II: Visualiseringskomponenter

Nedan presenteras resultaten från den övergripande analysen med exempel på hur olika visualiseringsaspekter används inom de olika miljöområdena. Avseende representation har vi tittat på hur man i skilda projekt visualiserar olika typer av osynliga data i en grundmodell uppdelat i: geometriska former (se tabell 8), visuella egenskaper (se tabell 9) och visuella tecken (se tabell 10). Visualiseringskomponenterna som använts i projekten som vi studerat är rätt likartade oberoende av vilket miljöområde de tillhör. Visualiseringsteknikerna mellan miljöområdena varierar inte heller nämnvärt, dock är en del datorprogram fokuserade på representation av en viss typ av parameter, exempelvis buller.

Geometriska former

Med geometriska former avser vi ytor, linjer, punkter, volymetriska objekt. 3D-rutnät och heatmaps (se tabell 1 för definition av begreppen). I tabell 8 ger vi exempel på användning av geometriska former inom de olika studerade områdena. Här kan vi se att en av de vanligaste representationsformerna är heatmaps främst för luft och buller (som bygger på kvantitativa data) men även för sociala aspekter (som bygger på kvalitativa data). Heatmaps är ett effektivt sätt för att visa data på ett översiktligt plan, men svårare att tillämpa för att visa specifika värden. Den så kallade regnbågsskalan, som oftast används inom både luft- och bullervisualisering med heatmaps, kan vara svår att tolka intuitivt, då de olika färgernas inbördes ordning inte är uppenbar för alla. Exempelvis kan detta bero på om man har olika kulturella referensramar eller om man har ett defekt färgseende. Former som staplar och volymetriska objekt används mer inom social konsekvensanalys, sannolikt kopplat till att det bygger på en annan, ofta kvalitativ, typ av data. Volymetriska objekt är den visualiseringsform som överlag används mest sällan, och var svårast att hitta referensprojekt för. En intressant form för representation av buller med dynamiska linjer visas i exempel 8d. Faktumet att man använder skiftningar både i linjernas färg, densitet och storlek kan ge en utökad förståelse för bullersituationen på en plats.

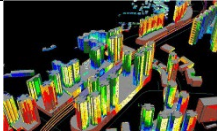
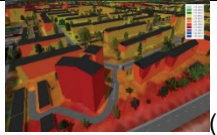
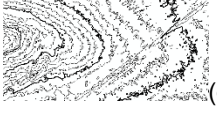
Tabell 8. Indelning av geometriska former i olika typer för visualisering av osynliga data, med exempel på användning inom de olika studerade områdena. Med geometriska former avser vi ytor, linjer, punkter, volymetriska objekt, 3D-rutnät och heatmaps (se Tabell 1 för definition av begreppen). Referens till varje exempel (a - r) finns listade i rapportens referenslista.

Geometrisk form	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)

Visuella egenskaper

Med visuella egenskaper avser vi här färg, textur och mönster (se tabell 2 för definition av begreppen). I tabell 9 visar vi olika typer av visuella egenskaper hos geometriska former med exempel på användning inom de olika studerade områdena. Vi kan se att färg, särskilt färgskalor, är den visuella egenskap som används i särklass mest för att förmedla information, framförallt när det handlar om buller och luftkvalitet (som baseras på kvantitativa data) men även vanligt förekommande för sociala aspekter (som oftast baseras på kvalitativa data). Mönster och andra texturer är ovanligare för representation av olika typer av parametrar, men här finns en utvecklingspotential, framför allt när man ska representera en kombination av olika typer av data, eller i sammanhang då man måste ta extra hänsyn till defekter i färgseendet.

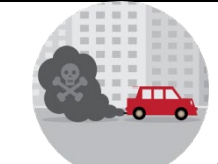
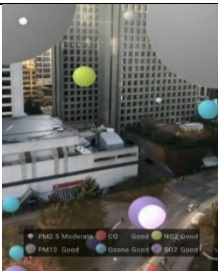
Tabell 9. Olika typer av visuella egenskaper hos de geometriska formerna med exempel på användning inom de olika studerade områdena. Med visuella egenskaper avser vi här färg, textur och mönster (se tabell 2 för definition av begreppen). Referens till varje exempel (a - i) finns listade i rapportens referenslista.

Visuella egenskaper	Exempel		
	Buller	Luftkvalitet	Sociala aspekter
Färgskala	Exempel på vanligt förekommande typer av färgskalor:  Divergerande färgskala (a)  Sekventiell färgskala (b)  Spektral färgskala, exempelvis den så kallade regnbågsskalan (c)		
Texturer	 (d)	 (e)	 (f)
Mönster	 (g)	 (h)	 (i)

Visuella tecken

Med visuella tecken avser vi här symboler, ikoner och glypher (se tabell 3 för definition av begreppen). I tabell 10 visar vi olika typer av visuella tecken med exempel på användning inom de olika studerade områdena. Det visade sig svårt att hitta projekt där visuella tecken är en del av projektmodellerna inom de valda områdena, även om de förekommer i stor omfattning i grafiskt presentationsmaterial där informationsvisualisering ingår. I de projekt där visuella tecken ingår används symboler och ikoner vanligen i 2D, medan glypher ofta visas i både 3D och 2D. Efter vad vi kan se när vi studerat olika projekt är att det är AR-området som är mest innovativt i användningen av visuella tecken av olika slag. Här verkar mediet i sig möjliggöra en större användning av informationsvisualisering. Potentialen hos glypher ligger i att man med dessa kan förmedla olika nivåer av information, något som vi dock endast hittat ett fåtal exempel med.

Tabell 10. Olika typer av visuella tecken med exempel på användning inom de olika studerade områdena. Med visuella tecken avser vi här symboler, ikoner och glypher (se tabell 3 för definition av begreppen). Referens till varje exempel (a - i) finns listade i rapportens referenslista.

Visuella tecken	Exempel		
	Buller	Luftkvalitet	Sociala aspekter
Symboler	 (a)	 (b)	 (c)
Ikoner	 (d)	 (e)	 (f)
Glypher	 (g)	 (h)	 (i)

Diskussion och Slutsats

I den här inventeringen har vi undersökt hur man förmedlar visuell information i 3D-modeller inom miljöområdena buller, luftkvalitet, och social konsekvensanalys. Syftet har varit att få ett kunskapsunderlag och inspiration för vårt fortsatta designarbete med att ta fram koncept för visualisering av osynliga parametrar. Vi har främst fokuserat på grafisk och rumslik representation (visuella former och visuella egenskaper) men kommer även att diskutera betydelsen av perspektiv, skala och detaljeringsnivå, dimension (2D eller 3D), samt interaktivitet.

Sätten att visualisera data i de studerade projekten är ganska likartade oberoende av vilket miljöområde de visar. Det finns exempelvis tydliga trender när det handlar om användning av geometriska former för representation av olika slags parametrar. Vi kan bland annat se att visualisering av volymetriska objekt (till exempel punkter och staplar) inte förekommer lika frekvent som att använda ytor och plan för att visa exempelvis en färgskala. Detta kan kopplas till vad som är enklast att visualisera, men kanske 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 detaljeringsgrad 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 detaljeringsgraden på den abstrakta information som visas i modellen i ett fågelperspektiv blir lägre, och representeras annorlunda, jämfört med om man ser modellen ur ett perspektiv närmare marken.

Färgskalor, framför allt presenterade som heatmaps, är de visuella egenskaper vi kan konstatera är den mest använda för att förmedla information. De används i långt större utsträckning än mönster och andra typer av texturer, liksom symboler, ikoner och glypher. Däremot är de intressanta för bland annat sin associationskapacitet, dvs förmåga att förmedla mer detaljerad information om egenskaper. Exempelvis skulle man kunna representera en egenskap som densitet med hjälp av mönster i stället för, eller tillsammans med en heatmap. Detta skulle kunna utvecklas och utvärderas i designfasen av vårt projekt.

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 lager 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 experter och medborgare i samråd. Bild 10A visar en fysisk (taktill) modell med en digital projektion av byggnadsdata, kombinerad med en digital projektion av statistiska data och en 3D-modell på väggen intill.

Här kan man visa både en större och en mindre skala samtidigt: projektionen på den fysiska modellen visas i en skala och projektion på väggen visas i en annan. Båda modellerna är visade ur ett fågelperspektiv. I ett annat exempel (bild 10B) kombineras också en taktillmodell med en digital modell där kompletterande information däremot tillgängliggörs via en AR-applikation. 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.

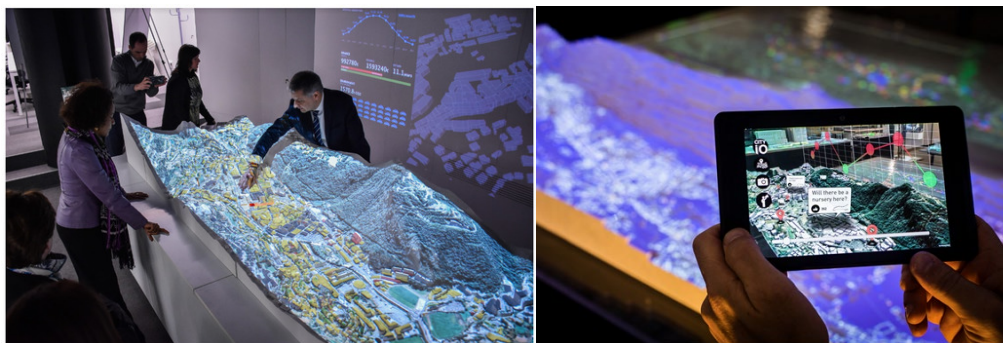


Bild 10A, B. Kombinationen av olika medier för interaktion kan både underlätta visualisering av olika parametrar och områden tillsammans, och för att studera platsen simultant i varierande skalor. Bild 10A visar en kombination av taktillmodell och digital projektion i Andorras stadsmodell (Alsina-Pagès et al, 2019). Bild 10B visar hur en taktillmodell kombineras med en digital modell som blir tillgänglig via en AR-applikation (CityLab, 2018).

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.

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.

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.

Trafikverkets samordningsmodeller är idag tunga och svårhanterbara. Den geometriska 3D-grundmodellen som visar den befintliga miljön (byggnader, landskap mm) kompletteras med dataleveranser från olika teknikområden (el, konstruktion, installation, med flera), alla med olika standarder för hur man representerar data. Datas mångfald och komplexitet kan vara ett problem när det handlar om att skapa en optimal användarupplevelse. Baserad på vår inventering, rekommenderar vi för Trafikverkets framtida utveckling av representation i samordningsmodeller:

Baserad på vår inventering, rekommenderar vi för Trafikverkets framtida utveckling av representation i samordningsmodeller:

- Att utveckla standarder för representation av data när det gäller visualiseringskomponenter, såsom geometriska former (ytor, linjer, punkter, volymetriska objekt, 3D-rutnät och heatmaps) anpassade efter visualiseringens detaljeringsgrad, visuella egenskaper (framförallt färgskalor), samt visuella tecken (såsom symboler och ikoner).
- Att utveckla metoder för att visa flera parametrar samtidigt. Detta för att kunna få en mer heltäckande lägesbild, kunna göra jämförelser och hitta konflikter mellan olika områden och parametrar.

- Att utveckla samordningsmodeller med hög grad av interaktivitet för att effektivt och pedagogiskt kunna kommunicera med olika målgrupper (experter inom Trafikverket, externa konsulter, medborgare, med flera) och syften (intern kommunikation mellan experter inom Trafikverket, extern konsultation, samråd, etc).
- Att 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.
- Utöver detta rekommenderar vi att kombinera olika typer av modeller (exempelvis taktila och digitala) och att använda olika typer av gränssnitt för interaktion när Trafikverket utvecklar stora samordningsmodeller.

Avslutningsvis ger vi några skilda exempel (bild 12A-F) på visualiseringar som representerar miljödata, både i 2D och 3D, på ett sätt som vi tycker är intressant och innovativt. I en digital informationsvisualisering kan man använda ett visuellt språk som inte är begränsat av den fysiska världens ramar, något som kan vara användbart för att pedagogiskt kunna förmedla information till olika målgrupper.



Bild 11A. Visuell analys av byggnaders utsiktsmöjligheter över parkområden. (Prado, 2019)

Bild 11B. En projektion av olika animerade cirklar i en stadsmodell för att visa buller på platsen där de mättes. Cirklarnas diameter och krusningens amplitud varierar beroende på ljudmätningarna vid varje tidpunkt. (Alsina-Pagès et al, 2019)

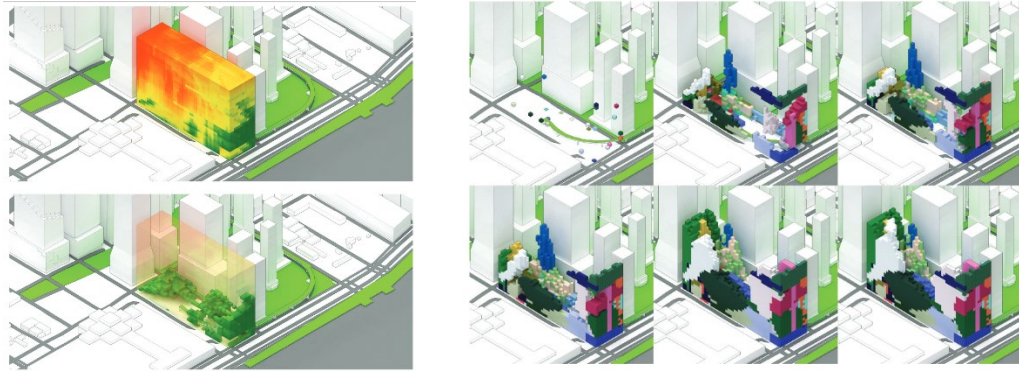


Bild 11C, D. Voxelmodellering är en standardmetod inom geometrisk modellering, och kan tillämpas på heterogen och volymetrisk rumsanalys. Här representeras individuella och kombinerade kriterier till färgvärden för att tydliggöra förhållanden och samband inom social konsekvensanalys. (Prado, 2019)

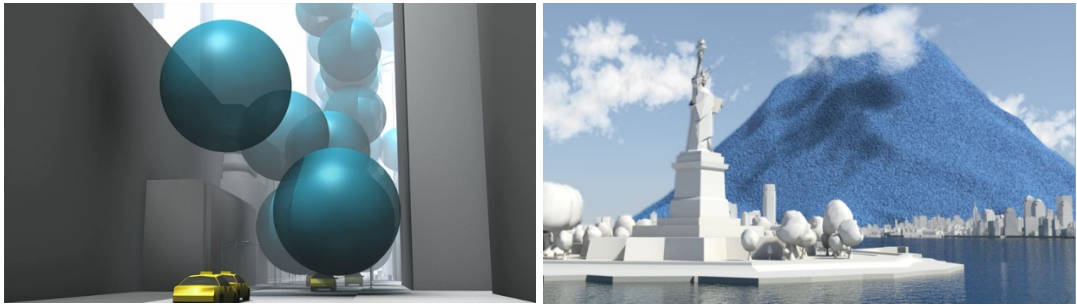


Bild 11E, F. Dynamisk animation som visar de totala utsläppen och utsläppstakten i New York City (Carbon Visuals, 2014). E. Visualisering av faktiska mängder global fossil bränsleförbrukning och koldioxidutsläpp (Carbon Visuals, 2015).

Referenser

Billger M, Heldal I, Stahre B, et al. (2004) Perception of color and space in virtual reality: A comparison between a real room and virtual reality models. In: *Proceedings of SPIE: Human Vision and Electronic Imaging IX*, San Jose, CA, USA, 19–21 January 2004, pp. 90–98.

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.

Bosch-Sijtsema, P, van Raalte, S, Carlstedt, J (2020), *Modellorienterat integrerat arbetssätt: Modellorienterat integrerat arbetssätt för bättre samverkan i komplexa projekt* (6883, 1.0), Göteborg: Trafikverket.

Brown G & Kytä M (2014) Key issues and research priorities for public participation GIS (PPGIS): A synthesis based on empirical research. *Applied Geography* 46: 122–136.

Evans, C., & Gibbons, N. (2007). The interactivity effect in multimedia learning. *Computers & Education*, 49, 1147–1160.

Göteborgs Stad (2017). *[SKA] Social konsekvensanalys. Människor i fokus 1.2*. Göteborgs Stad Stadsbyggnadskontoret.

Kytä 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.

Lange E (2005) *Issues and Questions for Research in Communicating with the Public through Visualization*. Heidelberg: Wichmann Verlag.

Löfving B; Billger B & Thaug J (2015), Visualization of Disability Glare Due to Veiling Luminance, In: *Energy Procedia, 6th International Building Physics Conference (IBPC)*, Torino, Italy, June 14–17, 2015 (1876–6102). Vol. 78 (2015), 735–740.

Naturvårdsverket (2020), *Frisk luft*, <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Sveriges-miljomal/Miljokvalitetsmalen/Frisk-luft/> (hämtad 2020-08-31)

Naturvårdsverket (2016), *Nationell samordning av omgivningsbuller - Redovisning av arbetsgruppen "Gemensamma definitioner och begrepp"*, Reviderad 2016-10-05

Palau, A (2018), *Digital twins in cities: A virtual replica of urban networks*, <http://www.resccue.eu/blog/digital-twins-cities-virtual-replica-urban-networks> (hämtad 2020-08-31)

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, pp. 1–9.

Senbel M & Church SP (2011) Design empowerment: The limits of accessible visualization media in neighborhood densification. *Journal of Planning Education and Research* 31: 423–437.

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

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

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*. Morgan Kaufmann.

Bildreferenser

Framsidan: Bilder hämtade från projektet *MiljöVis - Effektiv representation av miljöinformation i infrastrukturmodeller*.

Bild 1. Illustration över planerings- och planlägningsprocess (2020) Trafikverket

Bild 2. Planlägningsprocessen (2020) Trafikverket

Bild 3. Miljösäkring (2020) Trafikverket

Bild 4. Digitalt samråd (2020) Trafikverket

Bild 5. Samordningskarta (2020) Trafikverket

Bild 6. A Bullerutbredning (2017) Statens vegvesen

Bild 6.B Modell över Hallandsåsåsen (2016) Trafikverket

Bild 7. Bullerutbredning (2020) Trafikverket

Bild 8A-B. Partikelhalt (2020) Trafikverket

Bild 9. Legend SKA-inventering (2020) Trafikverket

Bild 10A. Alsina-Pagès, R.M.; Vilella, M.; Pons, M.; Garcia Almazan, R. Mapping the Sound Environment of Andorra and Escaldes-Engordany by Means of a 3D City Model Platform. *Urban Sci.* **2019**, *3*, 89.

Bild 10B. CityLab (2018), *AR Is Transforming Tech. What Can It Do for Cities?*
<https://medium.com/citylab/ar-is-transforming-tech-what-can-it-do-for-cities-c32d4647e8cd> (hämtad 2020-08-31)

Bild 11A. 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

Bild 11B. Alsina-Pagès, R.M.; Vilella, M.; Pons, M.; Garcia Almazan, R. Mapping the Sound Environment of Andorra and Escaldes-Engordany by Means of a 3D City Model Platform. *Urban Sci.* **2019**, *3*, 89.

Bild 11C, D. 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

Bild 11E. Carbon Visuals (2014), *New York's carbon emissions - in real time*,
<http://www.carbonvisuals.com/projects/new-yorks-carbon-emissions-in-real-time>,
(hämtad 2020-08-31)

Bild 11F. Carbon Visuals (2015), *The case for Carbon Capture & Storage*,
<http://www.carbonvisuals.com/projects/wbcsd> (hämtad 2020-08-31)

Tabellreferenser

Tabell 1. Urval och definition av olika typer av geometriska former

(a – d, f) Bildexemplen är hämtade från PNG EGG, <https://www.pngegg.com/en/> bilddatabas för fria bilder. (Hämtade mellan 20-06-01 och 20-08-10)

(e) Stahre Wästberg B, Tornberg J, Billger M, et al. (2013) How to visualize the invisible simulating air pollution dispersions in a 3D city model. In: *Proceedings for CUPUM 2013 – 13th international conference on computers in urban planning and urban management*, Utrecht, the Netherlands, 2–5 July.

Tabell 2. Urval och definition av olika typer av visuella egenskaper

(a - b) Bildexemplen hämtade från PNG EGG, <https://www.pngegg.com/en/> bilddatabas för fria bilder. (Hämtade mellan 20-06-01 och 20-08-10)

(c) Bilden gjord av Beata Stahre Wästberg, 2020.

Tabell 3. Urval och definition av olika typer av visuella tecken

(a) Bild hämtad från PNG EGG, <https://www.pngegg.com/en/> bilddatabas för fria bilder, (hämtad 20-08-10)

(b) Bradley, S (2020), Icon, Index, and Symbol — Three Categories of Signs, <https://vanseodesign.com/web-design/icon-index-symbol/> (hämtad 20-08-10)

(c) Bild hämtad från LinkedIn, <https://www.slideshare.net/VANDA-project/towards-glyphbased-visualizations-for-big-data-clustering> (hämtad 20-08-10)

Tabell 4. Inventerade projekt inom miljöområde Buller

(a) Alsina-Pagès, R.M.; Vilella, M.; Pons, M.; Garcia Almazan, R. *Mapping the Sound Environment of Andorra and Escaldes-Engordany by Means of a 3D City Model Platform*. *Urban Sci.* **2019**, 3, 89.

(b) Forssén et al (2020), *DemoVirPEN - demonstrator för virtuell planering och scenarioanalys av osynliga miljöfaktorer med fokus på buller i staden*, <https://www.chalmers.se/en/projects/Pages/A-demonstrator-for-virtual-planning-and-scenario-analysis-of.aspx> (hämtad 20-08-10)

(c) Stahre Wästberg et al (2018), *MiljöVis – Ett dialogverktyg för visualisering av miljödata i stadsmodeller*, <https://visresgot.se/project/228/> (hämtad 20-08-10)

(d) Billger, M et al (2016), *Data fusion in Urban modeling and Visualisation*, <https://www.chalmers.se/en/departments/ace/research/Architectural%20Theory%20and%20Method/Pages/Data-fusion.aspx> (hämtad 20-08-10)

(e) Baumann, J (2017), *Planning the City of Tomorrow in 3D*, <https://www.esri.com/about/newsroom/arcuser/planning-the-city-of-tomorrow-in-3d/> (hämtad 20-08-10)

Tabell 5. Inventerade projekt inom miljöområde Luftkvalitet

- (a) Parallel, *3D Map of Nitrogen Dioxide Pollution*, <https://parallel.co.uk/3D/laei-no2/#13.02/51.50681/-0.1614/0/45>; <https://mappinglondon.co.uk/2018/3d-map-of-nitrogen-dioxide-pollution/>; <https://parallel.co.uk/> (hämtad 20-08-10)
- (b) ARPOST (2018), *WeatherBug Weather App uppdaterad med Augmented Reality för att visa luftpartiklar*, <https://arpost.co/2018/11/06/weatherbug-weather-app-updated-with-augmented-reality-to-show-air-particles/> (hämtad 20-08-10)
- (c) Popovich, N. et al (2019), *See How the World's Most Polluted Air Compares With Your City's*, <https://www.nytimes.com/interactive/2019/12/02/climate/air-pollution-compare-ar-uk.html?smid=tw-nyclimate&smtyp=cur>; <https://vrscout.com/news/nyt-app-ar-air-pollution/> (hämtad 20-08-10)
- (d) Google Air quality maps, <https://www.google.com/earth/outreach/special-projects/air-quality/> (hämtad 20-08-10)
- (e) Pleijel, H. et al (2020) *CityAirSim - Visualisering och modellering av urban luftkvalitet – Påverkan av vegetation, bebyggelsestruktur och trafikemissioner*, <https://www.ivl.se/sidor/aktuell-forskning/forskningsprojekt/luft/cityairsim-visualiser-hur-gronska-paverkar-stadsluften.html> (hämtad 20-08-10)
- (f) Stahre Wästberg et al (2018), *MiljöVis – Ett dialogverktyg för visualisering av miljödata i stadsmodeller*, <https://visresgot.se/project/228/> (hämtad 20-08-10)
- (g) Stahre Wästberg B, Tornberg J, Billger M, et al. (2013) *How to visualize the invisible simulating air pollution dispersions in a 3D city model*. In: *Proceedings for CUPUM 2013 – 13th international conference on computers in urban planning and urban management*, Utrecht, the Netherlands, 2–5 July.
- (h) MIMAQ: *Visualizing air quality in augmented reality* (2010), <http://mimaq.org/>, <https://wttfuture.wordpress.com/2010/09/12/mimaq-visualizing-air-quality-in-augmented-reality/> (hämtad 20-08-10)

Tabell 6. Inventerade projekt inom miljöområde Social hållbarhet

- (a) Geollery, <https://geollery.com>;
- <https://dl.acm.org/doi/fullHtml/10.1145/3290605.3300915> (hämtad 20-08-18)
- (b) UrbanHistory4D, <http://4dbrowser.urbanhistory4d.org/#/> (hämtad 20-08-18)
- (c) *Tala om vad du tycker...Framtagning av en dialogmetodik och visuell kartläggning av olika värden i ett bostadsområde*, <https://research.chalmers.se/en/publication/511212> (hämtad 20-08-18)
- (d) *Revealing Social Values by 3D City Visualization*, <https://www.mdpi.com/2071-1050/8/2/195> (journal article) (hämtad 20-08-18)
- (e) Streetscore, <http://streetscore.media.mit.edu/about.html> (hämtad 20-08-18)
- (f) Manhattan Population Explorer, <http://manpopex.us/> (hämtad 20-08-18)
- (g) Min Stad, <http://minstad.goteborg.se/minstad/index.do> (hämtad 20-08-18)
- (h) Urban CoBuilder, https://research.chalmers.se/publication/515953/file/515953_Fulltext.pdf (hämtad 20-08-18)
- (i) Morphocode, <https://explorer.morphocode.com/> (hämtad 20-08-18)

(j) Spacescape, <https://www.spacescape.se/> (hämtad 20-08-18)

Tabell 7. Inventerade projekt avseende Stadsmodeller, med fokus på digitala tvillingar

- (a) *Digital Twin Cities Centre (DTCC)*,
<https://www.chalmers.se/en/centres/dtcc/Pages/default.aspx> (hämtad 20-08-24)
- (b) *Virtual Singapore (VS)*, <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>,
<https://www.smartnation.gov.sg/what-is-smart-nation/initiatives/Urban-Living/virtual-singapore> ; <https://www.wired.com/2017/02/virtual-singapore-looks-just-like-singapore-irl-data/> (hämtad 20-08-24)
- (c) *Helsingfors stadsmodell*,
<https://www.hel.fi/helsinki/en/administration/information/general/3d/> (hämtad 20-08-24)
- (d) *Digital City Rotterdam*, <https://www.3drotterdam.nl/#/> (hämtad 20-08-24)
- (e) *Herrenberg*, <https://cities-today.com/how-a-small-german-town-is-using-an-advanced-digital-twin/> (hämtad 20-08-24)
- (f) *Virtual Newcastle Gateshead*, <https://www.northumbria.ac.uk/about-us/academic-departments/architecture-and-built-environment/research/virtual-reality-visualisation/research-enterprise-projects/virtual-newcastle-gateshead/> (hämtad 20-08-24)
- (g) *VU.CITY*, <https://vu.city/> (hämtad 20-08-24)
- (h) *Virtual London*, <https://www.ucl.ac.uk/bartlett/casa/virtual-london> (hämtad 20-08-24)

Tabell 8. Indelning av geometriska former i olika typer för visualisering av osynliga data, med exempel på användning inom de olika studerade områdena

- (a) Baumann, J (2017), *Planning the City of Tomorrow in 3D*, au Winter 2017 esri.com, pp 12-15, <https://www.esri.com/about/newsroom/arcuser/planning-the-city-of-tomorrow-in-3d/> (hämtad 2020-06-29)
- (b) Smith, D.; Crooks, A.; (2010) *From buildings to cities: techniques for the multi-scale analysis of urban form and function*. (CASA Working Papers 155). Centre for Advanced Spatial Analysis (UCL): London, UK
- (c) Justin Fung, *Manhattan population explorer; Design, Development, Data & Modelling* <http://manpopex.us/> (hämtad 2020-06-29)
- (d) Alsina-Pagès, R.M.; Vilella, M.; Pons, M.; Garcia Almazan, R. Mapping the Sound Environment of Andorra and Escaldes-Engordany by Means of a 3D City Model Platform. *Urban Sci.* **2019**, *3*, 89.
- (e) Google Earth Outreach, *Air Quality*, <https://www.google.com/earth/outreach/special-projects/air-quality/> (hämtad 2020-06-29)
- (f) Dembski, F.; Wössner, U.; Letzgus, M.; Ruddat, M.; Yamu, C. Urban Digital Twins for Smart Cities and Citizens: The Case Study of Herrenberg, Germany. *Sustainability* **2020**, *12*, 2307.
- (g) Robertson, A. (2012) *3D city planning tool maps noise pollution as visible data*, <https://www.theverge.com/2012/4/2/2920286/3d-city-planning-tool-noise-pollution-fraunhofer-institute> (hämtad 2020-06-29)

- (h) Price, R. (2019), *Written in the wind: visualising air pollution levels – in pictures*, <https://www.theguardian.com/cities/gallery/2019/apr/09/written-in-the-wind-visualising-air-pollution-levels-in-pictures> (hämtad 2020-06-29)
- (i) Thuvander, L.; Stenberg, J. & Torrez, A. (2019). Tala om vad du tycker om Hammarkullen. Framtagning av en dialogmetodik och visuell kartläggning av olika värden i ett bostadsområde. Rapport, Hyresgästföreningen Region Väst & Chalmers tekniska högskola, Inst. Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
- (j) Zheng et al (2014), *Diagnosing New York city's noises with ubiquitous data*, UbiComp '14: Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing September 2014 Pages 715-725
<https://doi.org/10.1145/2632048.2632102>
- (k) Carbon Visuals (2014), *Mapping local air pollution in New York*, <http://www.carbonvisuals.com/old-projects> (hämtad 2020-06-30)
- (l) Geollery, proof-of-concept, proposed/patented by Ruofei Du/Amitabh Varshney, <https://www.youtube.com/watch?v=VKRAv3vDjv4> (hämtad 2020-06-29)
- (m) Mann, A & Perot, F (2015), *Designing quieter HVAC systems coupling LBM and flow-induced noise source identification methods*, 10th FKFS Conference: Progress in Vehicle Aerodynamics and Thermal Management, Stuttgart, 2015
- (n) Stoter J (2020), *State of the Art in 3D City Modelling: Six Challenges Facing 3D Data as a Platform*; <https://www.gim-international.com/content/article/state-of-the-art-in-3d-city-modelling-2> (hämtad 2020-06-30)
- (o) Marshall Prado (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
- (p) CadnaA software, *Outdoor noise prediction*, <https://www.o1db.com/our-solutions/our-products/noise-prediction/outdoor-noise-prediction-software/> (hämtad 20-08-24)
- (q) *Datathon Sofia Air Solution – Telelink Case Solution*, (2018), <https://www.datasciencesociety.net/telelink-case-solution/> (hämtad 2020-06-30)
- (r) Johansson, T., Segerstedt, E., Olofsson, T., & Jakobsson, M. (2016). Revealing social values by 3D city visualization in city transformations. *Sustainability*, 8(2), 195.

Tabell 9. Indelning av visuella egenskaper hos de geometriska formerna i olika typer, med exempel på användning inom de olika studerade områdena

- (a, b) Anpassad efter Ware, C. 2004. *Information Visualization: Perception for Design*. Morgan Kaufmann.
- (c) Bild av Beata Stahre Wästberg och Monica Billger, 2020.
- (d) Brown AL, Lam KC, van Kamp I. Quantification of the exposure and effects of road traffic noise in a dense Asian city: a comparison with western cities. *Environ Health*. 2015; 14:22. Published 2015 Mar 7. doi:10.1186/s12940-015-0009-8
- (e) Baumann, J (2017), *Planning the City of Tomorrow in 3D*, au Winter 2017 esri.com, pp 12-15, <https://www.esri.com/about/newsroom/arcuser/planning-the-city-of-tomorrow-in-3d/> (hämtad 2020-06-29)
- (f) Imottesjo, H., & Kain, J. H. (2018). The urban CoBuilder—a mobile augmented reality tool for crowd-sourced simulation of emergent urban development patterns: requirements, prototyping and assessment. *Computers, Environment and Urban Systems*, 71, 120-130.

(g) *Minimizing noise from lidar for contouring and slope analysis* (2019), <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/lidar-solutions-minimizing-noise-from-lidar-for-contouring-and-slope-analysis.htm> (hämtad 20-08-11)

(h) Buie, L (2019), *Investigate Pollution Patterns with Space-Time Analysis*, <https://learn.arcgis.com/en/projects/investigate-pollution-patterns-with-space-time-analysis/> (hämtad 20-08-11)

(i) FYRKANTIGT VÄRRE. Hammarkullsskolan, Mixgården och Hammarbadet. Skalenligt med pixlar i plattformsspelet Minecraft. Foto: SBK i: Göteborg Direkt, 2016-06-02, Hammarkullen utvecklas pixel för pixel, <https://www.goteborgdirekt.se/nyheter/hammarkullen-utvecklas-pixel-for-pixel/BbbpeD!uaGzzTmLCTZ7hltJKsG6zA/> (hämtad 20-08-11)

Tabell 10. Indelning av visuella tecken i olika typer, med exempel på användning inom de olika studerade områdena

(a) MiljöVis: A dialogue tool for visualization of environmental data in 3D city models (2018), <https://visresgot.se/project/228/> (hämtad 2020-06-29)

(b) MIMAQ: Visualizing air quality in augmented reality (2010), <https://wttfuture.wordpress.com/2010/09/12/mimaq-visualizing-air-quality-in-augmented-reality/> (hämtad 2020-06-29)

(c) Min Stad. <http://minstad.goteborg.se/minstad/index.do> (hämtad 2020-06-29)

(d) Halle, H (2020), Noise complaints are way up now that New Yorkers are stuck at home, <https://www.timeout.com/newyork/news/noise-complaints-are-way-up-now-that-new-yorkers-are-stuck-at-home-040820> (hämtad 2020-06-30)

(e) *Making Cities Smarter, Livable and Sustainable with The Sustainability Cloud™*, <https://www.logicladder.com/solutions/smart-city-platform-for-energy-water-environment> (hämtad 2020-06-30)

(f) Spacescape (2019). Sociala värden i Täbys grönområden. Sammanställning av tidig dialog – underlag till grönsplan.

(g) Data fusion in Urban modeling and Visualisation (2016, <https://www.chalmers.se/en/departments/ace/research/Architectural%20Theory%20and%20Method/Pages/Data-fusion.aspx> (hämtad 2020-06-29)

(h) WeatherBug Weather App Updated with Augmented Reality to Show Air Particles (2018), <https://arpost.co/2018/11/06/weatherbug-weather-app-updated-with-augmented-reality-to-show-air-particles/> (hämtad 2020-06-29)

(i) UrbanHistory4D, 4dbrowser.urbanhistory4d.org/ (hämtad 2020-06-30)



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

www.trafikverket.se