

Examensarbete i geografisk informationsteknik nr 35

# Enhetlig visualisering av geotekniska data och geokonstruktioner

En intervju- och implementeringsstudie

**Sophia Bladh & Ylva Kjellberg**

---

*Civilingenjörsutbildningen i Lantmäteri*  
Lunds Tekniska Högskola

Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap  
Lunds Universitet





LUNDS UNIVERSITET  
Lunds Tekniska Högskola

# Enhetlig visualisering av geotekniska data och geokonstruktioner

En intervju- och implementeringsstudie

---

EXTM05 Master uppsats, 30hp  
*Civilingenjörsutbildningen i Lantmäteri*

Sophia Bladh & Ylva Kjellberg

Handledare:

Lars Harrie

Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap

Juni 20, 2023

Opponent: David Andersson & Beatrice Ekström  
Examinator: Andreas Persson

Copyright © Sophia Bladh & Ylva Kjellberg, LTH

Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskaper  
Lunds Universitet  
Sölvegatan 12  
223 62 Lund

Telefon: 046-222 30 30

Fax: 046-222 03 21

Hemsida: <http://www.nateko.lu.se>

Examensarbete i geografisk informationsteknik nr 35

Tryckt av E-tryck, E-huset, 2023

# Abstract

The digitalisation of processes in societal planning has increased the need for a more standardised approach to the visualisation of geographic information. In recent years a lot of progress has been made with regards to digital models of cities and societies. However, this does not apply to underground data and models to the same extent.

The overall objective of this report is to identify areas of improvement for subsurface data visualisation, focusing on the fields of geotechnical engineering and geoconstructions. In order to achieve this, the study has been divided to focus on three main research areas. The first of these aims to identify benefits with greater coordination of underground data. The purpose of the second research question is to establish which requirements are most relevant for visualisation of underground data and subsurface structures. Lastly, the final part of the study aims to turn these requirements into a recommendation for how to visualise the underground in both two and three dimensions.

Various methods have been employed to answer the questions raised in this report. Literature on a variety of topics was consulted in order to identify advantages with more coordination regarding underground data. Sources include governmental agencies, research projects, and international case studies. Requirements for clear visualisation were identified through a study of cartographic principles as well as interviews with people who in different ways work with underground data, and regularly use it to create maps and models. A practical study was then conducted to transform the identified requirements into a recommendation for visualisation of the underground.

The study shows that it is important to have carefully documented and coordinated information to avoid spatial conflicts in the underground. This can reduce costs at the beginning of construction projects, reduce information loss and contribute to a more efficient use of shared resources.

Furthermore the report presents specific requirements and recommendations for visualisation of geotechnical data and subsurface constructions. These recommendations can be used as guidelines for the overall formatting and creation of maps and models of the underground.



# Sammanfattning

I takt med digitaliseringen av samhällsbyggnadsprocessen har kraven på en standardiserad visualisering av geografisk information ökat. Mycket arbete har de senaste åren lagts på digitalisering av stadsmodeller och framtagning av digitala tvillingar. I denna process har den information som befinner sig under marken inte prioriterats i samma utsträckning.

Det övergripande syftet med den här rapporten är att identifiera förbättringsområden för visualisering av undermarksdata, med fokus på geoteknik och geokonstruktioner. För att genomföra detta har rapporten delats upp i tre mindre frågeställningar. Den första av dessa syftar till att ta fram vilka fördelar det finns med samordning av undermarksdata. Därefter undersöks vilka krav som finns för tydlig visualisering av geokonstruktioner och geoteknisk information. Det sista syftet är att omsätta dessa krav till en rekommenderad specifikation för visualisering av dessa data.

Rapportens frågeställningar har besvarats med hjälp av olika metoder. Den första frågeställningen har besvarats med hjälp av litteratur från bland annat experter inom området, myndigheter som arbetar med digitalisering av geografiska data och exempel på hur undermarksdata hanteras internationellt. För att ta fram vilka krav det finns för tydlig visualisering av geokonstruktioner och geoteknik har litteratur inom grundläggande kartografi studerats tillsammans med exempel på projekt som visualiserat olika typer av undermarksdata. Denna litteratur tillsammans med intervjuer med anställda inom olika teknikområden utgör basen för en kravsammanställning. För att ta fram en rekommenderad specifikation har tidigare nämnda metoder kombinerats med empiriska tester vid framtagning av kartmaterial.

Sammanfattningsvis visar studien på att det är viktigt med noggrant dokumenterad och samordnad information för att undvika spatiala konflikter i undermarken. Detta kan minska kostnader i början av byggprojekt, minska informationsförlusten och bidra till en mer effektiv samhällsbyggnadsprocess.

De specifikationer som presenteras senare i rapporten utgör huvuddelen av examensarbetets resultat. Specifikationerna är till för att ge framtida riktlinjer i färgval och övrig utformning vid visualisering av de objekt som har studerats. Tillsammans med den bakgrundsstudie som gjorts och de slutsatser som kunnat dras utifrån denna kan specifikationen användas som grund till en mer omfattande samordningsåtgärd.

# Förord

Denna rapport utgör resultatet av det examensarbete som markerar slutet på utbildningen Civilingenjör inom Lantmäteri på Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet omfattar 30 högskolepoäng, och studien har genomförts i samarbete med avdelningen för Information, Strategi och Samordning på Tyréns i Malmö.

Först och främst vill vi tacka vår handledare Lars Harrie, för vägledning, stöd, och tålamod genom hela processen. Dina kommentarer och analyser har varit ovärderliga för det här arbetet.

Vi vill också tacka Peter Alstorp som har varit vår handledare och närmsta kontaktperson på Tyréns. Tack för all hjälp med teknik och programvara, för ditt engagemang för ämnet, och den kunskap du tillsammans med resten av avdelningen har tillhandahållit. Tack också till Pär Hagberg, avdelningschef på Tyréns, som såg möjligheterna och utöver grundidén också har gett oss bästa möjliga förutsättningar att genomföra denna studie. Utan det ständigt flödande kaffet på kontoret hade detta inte varit möjligt.

Vi vill även rikta ett stort tack till de personer som tagit sig tid att intervjuas av oss, era svar har varit mycket värdefulla för arbetet.

Tack till våra vänner, som fortfarande inte har tröttnat på allt prat om undermarken.

Sist men absolut inte minst vill vi tacka varandra för ett gott samarbete, alla värdefulla diskussioner, och allt hårt arbete. Tack!

*Sophia Bladh & Ylva Kjellberg*

# Ordlista

- API** *Application Program Interface.* Fungerar som en bro mellan system och är ett kontrollerat sätt att överföra information på.
- ArcGIS Portal** Onlineverktyg för visualisering och delning av geografiska data, skapat av Esri.
- ArcGIS Pro** Verktyg för framtagning och analys av geografiska modeller, skapat av Esri.
- BIM** *Building Information Model.* En digital, informationsberikad byggnadsmodell.
- CAD** *Computer-aided design.* Hjälpmedel för att skapa och visualisera objekt i 3D.
- CoClass** System för klassificering av byggd miljö, framtaget av Svensk Byggtjänst.
- Digital tvilling** En digital 3D-modell av till exempel en stad eller ett projektområde, utökad med tillhörande realtidsinformation.
- FME** *Feature Manipulation Engine.* Ett ETL-program skapat av Safe software.
- GeoBIM** Samordnad databas för undermarksdata, drivs av Tyréns.
- Geokonstruktioner** Stödjande eller bärande konstruktion som antingen helt utgörs av jord eller berg eller vars funktion är beroende av omgivande jords eller bergs hållfasthetsegenskaper.
- Geoteknik** Läran om jords och bergs tekniska egenskaper samt hur man använder den kunskapen vid planering och byggande.
- GIS** *Geografiska Informationssystem.* Begreppet innefattar olika system och tekniker som behandlar geodata.
- ISO** *International Organization for Standardization.* Internationell organisation som med hjälp av tekniska kommittéer utvecklar standarder inom olika områden.
- OGC** *Open Geospatial Consortium.* Organisation som definierar och publicerar öppna geospecifikationer.

**PNG** *Portable Network Graphic*. Ett rasterfilformat.

**SGF** *Svenska Geotekniska Föreningen*. Förening med ändamål att främja utvecklingen av geoteknik med grundläggningsteknik och miljögeoteknik.

**SGI** *Statens Geotekniska Institut*. Svensk myndighet som ansvarar för geotekniska frågor.

**SGU** *Sveriges Geologiska Undersökning*. Svensk myndighet som ansvarar för frågor om landets geologiska natur och mineralhantering.

**SVG** *Scalable Vector Graphics*. Ett vektorfilformat.

**Undermarksdata** Information om det som befinner sig under marken.

# Innehåll

<b>I Inledning</b>	<b>1</b>
<b>1 Introduktion</b>	<b>2</b>
1.1 Bakgrund . . . . .	2
1.2 Problemformulering . . . . .	3
1.3 Syfte och forskningsfrågor . . . . .	4
1.4 Genomförande . . . . .	4
1.5 Avgränsning . . . . .	5
1.6 Disposition . . . . .	6
<b>II Teoretisk bakgrund</b>	<b>7</b>
<b>2 Litteraturstudie</b>	<b>8</b>
<b>3 Smartare samhällsbyggnad</b>	<b>9</b>
3.1 Digitalisering inom offentlig sektor . . . . .	9
3.1.1 Nationella grunddata . . . . .	10
3.2 Digitala tvillingar i Sverige . . . . .	10
3.3 Smarta städer . . . . .	12
<b>4 Samordning av undermarksdata</b>	<b>13</b>
4.1 Undermarksdata i Sverige . . . . .	13
4.2 Nationella databaser för undermarksdata i Sverige . . . . .	14
4.2.1 Nuvarande geotekniska databaser . . . . .	14
4.2.2 Befintliga databaser för geokonstruktioner . . . . .	17
4.2.3 Fördelar med en gemensam databas för geokonstruktioner och geotekniska data . . . . .	18
4.3 INSPIRE-direktivet . . . . .	19
4.4 Planering av undermarken . . . . .	19
4.4.1 Undermarksplanering i Sverige . . . . .	19
4.4.2 Undermarksplanering i ett internationellt perspektiv . . . . .	21
4.4.3 Informationshantering och undermarksplanering . . . . .	22
<b>5 Visualisering av geografisk information</b>	<b>24</b>
5.1 Kartografi . . . . .	24
5.1.1 Specifikationer för visualisering och kartografi . . . . .	24
5.1.2 Symboler och textsättning . . . . .	26
5.1.3 Färgsättning . . . . .	27
5.2 3D-visualisering . . . . .	28

5.2.1	Geovisualisering . . . . .	28
5.2.2	Utformning av 3D-kartor . . . . .	28
5.2.3	Färgsättning och transparens i 3D-kartor . . . . .	29
5.3	För- och nackdelar med 3D-visualisering . . . . .	30
5.3.1	Fördelar med 3D-visualisering . . . . .	30
5.3.2	Nackdelar med 3D-visualisering . . . . .	31
<b>6</b>	<b>Integrering av undermarksdata med andra geografiska- och BIM-data</b>	<b>32</b>
6.1	Visualiseringsexempel . . . . .	32
6.1.1	Silvertown Road Tunnel . . . . .	32
6.1.2	The Digital Underground project . . . . .	33
6.2	GeoBIM-konceptet . . . . .	34
6.3	Integrering av undermarksdata i BIM-modeller . . . . .	35
6.3.1	BIM-kompatibilitet . . . . .	35
6.3.2	CoClass för undermarksobjekt . . . . .	36
<b>III</b>	<b>Fallstudie</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>Bakgrund till fallstudie</b>	<b>40</b>
7.1	Disposition . . . . .	40
7.2	Studieområde . . . . .	40
7.3	Data . . . . .	41
7.4	Verktyg . . . . .	42
7.4.1	Program för visualisering . . . . .	42
7.4.2	Övriga program och tekniska hjälpmedel . . . . .	42
<b>8</b>	<b>Intervjuer om nuläget</b>	<b>44</b>
8.1	Sammanställning av intervjuer med Tyréns anställda . . . . .	44
8.2	Sammanställning av intervjuer med SGI- anställd . . . . .	47
8.3	Samgranskning . . . . .	49
<b>9</b>	<b>Kravsammanställning för visualisering</b>	<b>50</b>
9.1	Krav för visualisering av undermarksdata . . . . .	50
9.1.1	Allmän kravsammanställning . . . . .	50
9.1.2	Kravsammanställning geoteknik . . . . .	51
9.1.3	Kravsammanställning geokonstruktioner . . . . .	51
9.2	Kravsammanställning . . . . .	52
<b>10</b>	<b>Framtagning av kartmaterial</b>	<b>53</b>
10.1	Visualisering i 2D . . . . .	53
10.2	Visualisering i 3D . . . . .	59
<b>11</b>	<b>Återkoppling och utvärdering</b>	<b>64</b>
11.1	Återkoppling . . . . .	64
11.2	Utvärdering . . . . .	66

11.2.1	Krav . . . . .	66
11.2.2	Önskemål . . . . .	67
11.2.3	Förbättringsområden . . . . .	68
<b>12</b>	<b>Omarbetning av kartmaterial</b>	<b>69</b>
12.1	Process . . . . .	69
12.2	Slutgiltigt kartmaterial . . . . .	69
12.2.1	Visualisering i 2D . . . . .	69
12.2.2	Visualisering i 3D . . . . .	73
<b>13</b>	<b>Rekommenderad visualiseringspecifikation</b>	<b>77</b>
13.1	Rekommendationer för visualisering . . . . .	77
13.1.1	I två dimensioner . . . . .	77
13.1.2	I tre dimensioner . . . . .	78
13.1.3	Sammanställning av specifikationer . . . . .	79
<b>IV</b>	<b>Diskussion och slutsatser</b>	<b>80</b>
<b>14</b>	<b>Diskussion</b>	<b>81</b>
14.1	Möjligheter med samordning . . . . .	81
14.1.1	Framtida samhällsnytta och undermarksplanering . . . . .	81
14.2	Diskussion om resultat . . . . .	82
14.2.1	Möjligheter till enhetlighet utifrån specifikation . . . . .	82
14.2.2	Förbättringsområden i implementeringen . . . . .	83
14.3	Utmaningar . . . . .	84
14.4	Vidare studier . . . . .	85
<b>15</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>87</b>
	<b>Litteratur</b>	<b>88</b>
<b>A</b>	<b>CoClass-koder för undermarken</b>	<b>94</b>
A.1	Referenser . . . . .	95
<b>B</b>	<b>Påritning</b>	<b>96</b>
<b>C</b>	<b>Specifikation</b>	<b>98</b>
C.1	Två dimensioner . . . . .	98
C.2	Tre dimensioner . . . . .	100

# **Del I**

## Inledning



# 1 Introduktion

## 1.1 Bakgrund

I och med den snabba digitaliseringen inom samhällsbyggnadssektorn har behovet av standardisering och förbättrad visualisering av byggprocessen ökat. Modellering och visualisering av byggd miljö har länge varit prioriterat och därmed finns både effektiva verktyg och internationellt anpassade nationella standarder. Ett område som har hamnat efter är hantering och visualisering av undermarksdata. Detta medför att framtagandet av digitala tvillingar eller modeller av projekt som innehåller undermarksinformation medför manuellt arbete.

Med undermarksdata menas i den här rapporten information om allt som finns under marken, exempelvis information om berggrunden, konstruktioner i marken, och jordarter. Detta är en generell benämning som ofta används i rapporten. Vid omnämnande av specifika data, som rör till exempel geoteknik eller geokonstruktioner kommer mer specifika begrepp användas. Med geokonstruktioner menas en stödjande eller bärande konstruktion som antingen helt utgörs av jord eller berg eller vars funktion är beroende av omgivande jord eller bergs hållfasthetsegenskaper (SGI, 2018). Exempel på geokonstruktioner som behandlas i projektet är kalkcementpelare, pålar och spontar. Geoteknik är läran om jord och bergs tekniska egenskaper samt hur man använder dessa vid planering och byggande (SGI, 2022). Den geotekniska aspekt som denna rapport framförallt fokuserar på är undersökningspunkter och resultat från geotekniska provtagningar.

Då företag i byggbranschen har olika sätt att hantera information från undersökningar under mark försvinner mycket information längs vägen och undersökningsarbeten måste ofta utföras flera gånger inför varje nytt byggprojekt. Det finns flera olika databaser som behandlar olika typer av undermarksdata, några av dessa behandlas i avsnitt 4.2.1. Dessa databaser saknar dock funktionen att kunna kombinera data från olika områden. SGU har fått i uppdrag att driva på arbetet mot en nationell databas för samordning av undermarksdata. Genom att entreprenader får mer information innan undersökningar av undermarken påbörjas kan dessa anpassas och förbättras, och därmed kan projekten både effektiviseras och bidra med tydligare data till en samordnad databas (Friberg et al., 2018).

Bristen på tillgänglig och lätthanterlig undermarksdata gör att informationsutbytet mellan aktörer blir komplicerat och ökar risken för att data felhanteras eller går förlorad längs vägen. Genom mer standardiserad datahantering och tydligare visualisering minskar risken för spatiala konflikter under marken samtidigt som bättre och tydligare planering kan genomföras. Dessutom blir överlämnandet mellan olika aktörer tydligare om informationen kan visualiseras på ett mer enhetligt och lättförståeligt sätt. Vid visualisering av undermarksdata inom samhällsbyggnadsbranschen används ofta 2D-modeller för att beskriva en tredimensionell verklighet. Då informationen tol-

kas mellan 2D och 3D uppstår det lätt missförstånd mellan de olika parterna i processen. Då 3D-visualisering av undermarksdata är mindre vanligt saknas det en enhetlig standard. Det finns stor variation mellan utformning av kartor mellan olika företag, myndigheter och till och med individer på samma företag.

Framtagandet av 3D-modeller medför vissa svårigheter. Eftersom syftet med en 3D-modell ofta är att förmedla mer komplex information än vad som går med material i 2D är kraven på läsbarhet höga. Detta kan utgöra ett problem när flera lager av objekt överlappar varandra i flera riktningar. En dåligt utformad modell försvårar kommunikation. För att undvika detta måste avvägningar göras angående vilken information som ska vara med i modellen, samt hur olika objekt och ytor ska visualiseras. Utöver färgsättning och symboler blir det i 3D också möjligt att använda transparens som ett verktyg för att samtidigt visa flera informationslager som överlappar eller korsar varandra.

Ett förbättrat visuellt underlag underlättar för både fältingenjörer, projektörer, och konstruktörer. Med delade visuella miljöer blir dessutom kommunikation och förståelse mellan olika aktörer tydligare, och risken för felsteg under ett projekts arbetsgång minskar. Det finns därmed ett syfte med att ta fram en specifikation för en mer enhetlig visualisering av undermarksdata.

## 1.2 Problemformulering

Samhällsbyggnadsbranschen har kunnat utnyttja den tekniska utvecklingen väl, och många informationshanterande processer är i hög grad både digitala och automatiserade. Däremot har utbytet av information mellan aktörer inom projekt inte kommit lika långt. Detta innebär att information försvinner under konvertering och i kommunikation, samt att bristen på samordning gör det svårare att överföra grundläggande information från ett projekt till ett annat. En del av problematiken kring informationsutbytet är att utvecklingen av modellering av infrastruktur ovan mark inte har sammankopplats med framtagandet av undermarksmodeller. Det krävs därför manuellt förfarande för att sammanfoga dessa till en mer komplett modell (Svensson och Friberg, 2019a).

Även visualiseringen av undermarksdata har hamnat efter i utvecklingen. Då andra geografiska data varit i fokus vid utvecklingen av till exempel digitala tvillingar har det som finns under marken prioriterats bort. En av anledningarna till detta kan vara att det är svårt att ta fram en tydlig 3D-modell av det som finns under marken, samt att det inte finns några specifikationer till hur det ska göras. Visualisering av undermarksdata är en viktig del av den tekniska utvecklingen inom samhällsbyggnadsbranschen då den bidrar till ökad kunskap om områden i början av byggprojekt.

Det finns för nuvarande flera olika databaser för olika typer av undermarksdata, dessa beskrivs i avsnitt 4.2.1. Problemet med dessa är att det inte finns något sätt att kombinera informationen från de olika databaserna. Det finns ett intresse att undersöka samordningen av information från olika aktörer för att presentera den på ett tydligt och lättförståeligt sätt.

## 1.3 Syfte och forskningsfrågor

Det övergripande syftet är att identifiera förbättringsområden för visualisering av undermarksdata, med fokus på geoteknik och geokonstruktioner. De processer vi fokuserar på är visualisering i de tidiga skedena av byggprojekt. Analysen genomförs ur ett bredare samhällsbyggnadsperspektiv, och fördelar med enhetlig visualisering av undermarksdata diskuteras.

För att kunna genomföra detta delas frågeställningen upp i ett antal forskningsfrågor, dessa innefattar:

- Vilka fördelar finns med samordning av undermarksdata?
- Vilka krav finns för bra och enhetlig visualisering av geokonstruktioner och geoteknisk information?
- Hur kan dessa krav omsättas till en specifikation för visualisering?

Projektet ämnar därmed bidra till kunskapsutvecklingen inom området samt föreslå en väg framåt. Genom att sammanställa standarder och önskemål från olika teknikområden och föreslå en gemensam specifikation kan hantering och visualisering av undermarksdata effektiviseras och göras mer enhetlig.

## 1.4 Genomförande

Arbetets genomförande är uppdelat i en teoretisk del och en praktisk del. Den teoretiska delen består av en litteraturstudie som presenteras närmare i kapitel 2. Den praktiska delen består av en fallstudie indelad i ett par mindre steg, som beskrivs nedan.

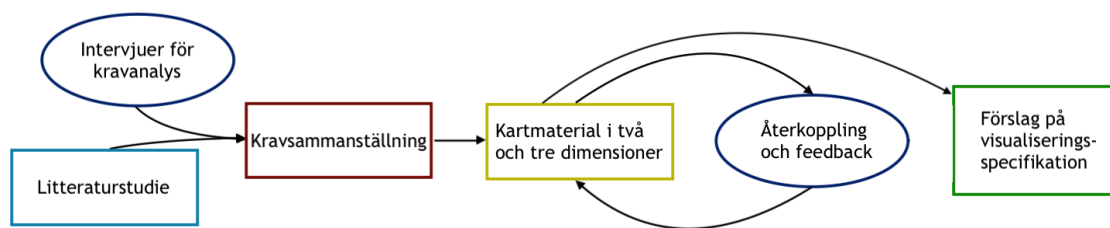
Målet med fallstudien är att sammanställa en kravlista och utifrån den ta fram möjliga specifikationer för de objekt som behöver kunna visualiseras i digitala undermarks-miljöer.

Fallstudien kommer bestå av en intervjuomgång, som syftar till att samla in information som lägger grunden för en kravsammanställning. Ett steg mot effektivare kommunikation är att informationen ska kunna tolkas och förstås av inblandade aktörer, också i multidisciplinära sammanhang. Genom att intervjua personer med olika roller får vi flera perspektiv och idéer på vad som behöver lyftas fram i en visualisering, samt om det finns särskilda standarder som behöver beaktas.

Utifrån kravsammanställningen kommer vi ta fram visningsmaterial som innehåller data från de teknikområden vi har intervjuat. Utformningen av materialet kommer göras enligt de krav och önskade specifikationer vi har identifierat, och kommer bestå av en modell i 3D och en karta i 2D.

Det framtagna materialet skickas sedan ut till intervjudeltagarna för återkoppling. Utifrån den feedback som ges kommer materialet utvärderas och omarbetas. Slutligen presenteras materialet som förslag till hur samordnad undermarksinformation kan visualiseras i samma modell eller karta. Tillsammans med det visuella underlaget kommer specifikationer kring hur datan från de olika teknikområdena bäst visualiseras i samma modell läggas fram.

Denna typ av iterativ arbetsgång är vanlig inom bland annat interaktionsdesign, och fyller en tydlig funktion när ett verktyg eller en produkt tas fram för flera olika typer av användare. Genom att få återkoppling av tänkta användare kan tankar och perspektiv som dyker upp under projektets gång fångas in, och arbetas in i den slutliga produkten (Preece et al., 2015). Arbetsgången illustreras i figur 1.1.



**Figur 1.1:** Projektets arbetsgång.

## 1.5 Avgränsning

Fallstudien kommer fokusera på hur undermarksdatan på en tydligt sätt kan visualiseras både i 2D och 3D. De verktyg som främst kommer användas är ArcGIS Pro och ArcGIS Portal. ArcGIS och dess expansioner är bland de vanligaste verktygen som används i branschen, och vi bedömer att detta är en fördel då det finns mycket resurser att ta hjälp av för programmet. Det är även viktigt att poängtera att analysen utförs från ett samhällsbyggnadsperspektiv, vilket innebär att datan som utvärderas är vanligt förekommande i början av byggprojekt.

Vidare begränsas studien till att endast fokusera på två olika teknikområden inom ett område på ca 2 ha. Detta öppnar för en mer detaljerad och direkt jämförelse mellan de olika objekten.

De teknikområden som ligger i fokus för fallstudien är geokonstruktioner och geotekniska data. De objekt som visualiseras och jämförs är:

- Betongpålar (cirkulära och kvadratiska)
- Kalkcementpelare (K/C-pelare)
- Energibrunnar
- Spont

- Stag
- Påldäck

Utöver det studeras även undersökningspunkter inom geoteknik samt hur dessa två områden kan visualiseras tillsammans.

I en studie av Kent och Vujakovic (2009) har skillnader mellan symbolisering för topografiska kartor mellan Europas länder studerats. Resultatet visar att det inte finns ett standardiserat sätt att visualisera topografiska kartor inom Europa. Med hänvisning till detta anser vi inte att det finns någon nytta med att ta fram en internationell specifikation för visualisering av geoteknik och geokonstruktioner. Den bakgrundsinformation som används i vår studie har valt utifrån hur informationen vanligt visualiseras. Exempel på hur undermarksdata visualiseras i projekt i till exempel London och Singapore kommer dock att studeras.

## 1.6 Disposition

Rapporten utgörs av fyra delar. I den första delen *Inledning*, introduceras bakgrund, syfte, problemformulering, avgränsning och disposition. I nästkommande del *Teoretisk bakgrund*, presenteras den litteraturstudie som genomförts. Avsnittet tar upp teoretisk bakgrund samt problem inom området och vikten av att ha ett välfungerande system för informationen. Litteraturstudien går även in på klassificeringssystem och hur undermarksdata hanteras internationellt samt kartografiska principer. I rapportens tredje del *Fallstudie* beskrivs det praktiska arbetet som genomförts och dess resultat presenteras inklusive förslag på visualiseringsspecifikation. Slutligen avslutas rapporten med *Diskussion och slutsatser*.

## **Del II**

### Teoretisk bakgrund

## 2 Litteraturstudie

Litteraturstudien är indelad i fem kapitel efter ämne. Första delen, kapitel 3, beskriver hur samhällsbyggnadsprocessen utvecklas genom digitalisering. Det här kapitlet beskriver hur digitaliseringen av samhällsbyggnadssektorn ser ut generellt sett och ger en bakgrund till hur hanteringen av undermarksdata har halkat efter. Dessutom lyfts koncept som digitala tvillingar och smarta städer samt hur trender kring dessa kan kopplas till undermarken.

Därefter beskrivs samordningen av undermarksdata i kapitel 4 för att ge en inblick i hur undermarksdata hanteras i olika direktiv och databaser i Sverige. Kapitlet berör också den lagstiftning som finns kring planering av undermarken i Sverige, samt exempel på hur andra länder hanterar undermarksdata för samhällsplanering.

Kapitel 5 beskriver olika teorier och metoder som används vid utformningen av en karta. Syftet är att ge en bakgrund till de metoder som kommer användas vid framtagningen av kartor i fallstudien. Kapitlet beskriver också vilka fördelar det finns med att visualisera undermarksdata i 3D.

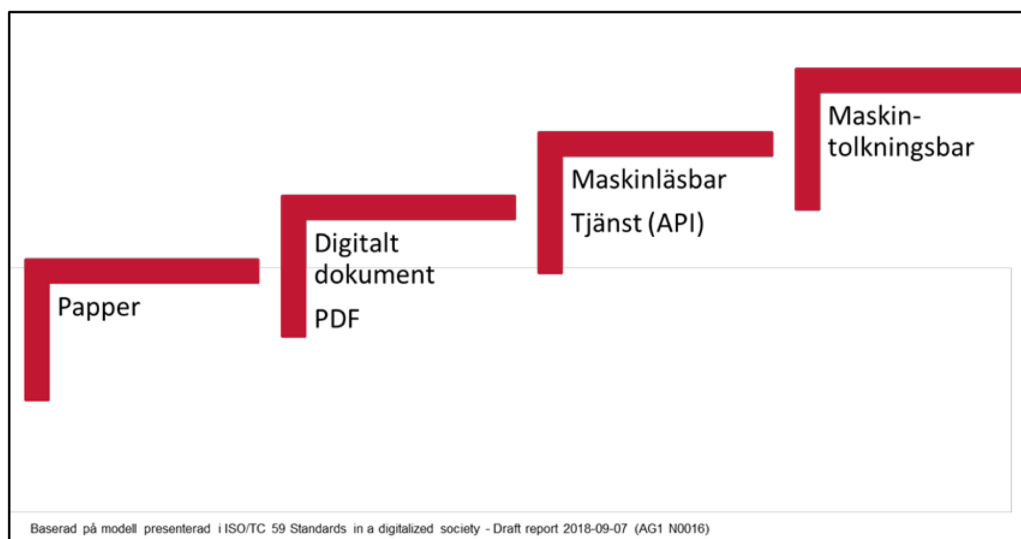
I kapitel 6 presenteras specifika problem kring integrering av undermarksdata i 3D-modeller. Avsnitt 6.1 presenterar projekt där användandet och visualiseringen av undermarksdata har spelat avgörande roller, och avsnitt 6.2 lyfter bland annat hur undermarksdata kan integreras med BIM-modeller.

# 3 Smartare samhällsbyggnad

## 3.1 Digitalisering inom offentlig sektor

På uppdrag av regeringen har Boverket under ett antal år undersökt och utvärderat digitalisering av samhällsbyggnad inom offentlig sektor i Sverige. Syftet med undersökningen är att hitta en väg framåt för ökad digitaliseringsgrad. Genom att identifiera trender inom den digitala utvecklingen kan mål sättas upp för hur detta kan appliceras på samhällsbyggnadsprocessen, och vilka fördelar detta kan medföra för samhället i stort. Det framgår att detta bör angripas från flera vinklar, till exempel måste regelverk anpassas för att uppmuntra och underlätta bland annat digital informationshantering, samtidigt som nationella tjänster som tillåter digital ärendehantering måste tas fram (Boverket, 2021).

Digitalisering är något som sker i flera steg. Ett steg i processen är de bestämmelser som har antagits för digitala detaljplaner, vilka syftar till att alla detaljplaner som upprättats efter 1 januari 2022 ska vara maskinellt läsbara (Boverket, 2023). Detta är ett exempel på ett område där digitalisering inom samhällsbyggnad, från offentligt håll, har kommit en bra bit på vägen, se figur 3.1.



**Figur 3.1:** Olika steg i en digitaliseringsprocess, från Boverket (2021).

Boverket menar också att en mer digital process medför ett mer standardiserat informationsflöde, vilket förenklar hanteringen av både ärenden och information. Detta väntas särskilt gynna utvecklingen för mindre företag och kommuner (Boverket, 2021).

Boverkets uppdrag innefattar inte utvärderingar kring samordning av geodata på nationell nivå, och inte heller specifikt hur undermarksdata hanteras och kan användas. Däremot pekar de slutsatser som presenterats än så länge på att det finns ett stort be-



hov av utveckling och modernisering av informationshantering inom samhällsbyggnad.

### 3.1.1 Nationella grunddata

På uppdrag av regeringen arbetar Myndigheten för digital förvaltning, som förkortas DIGG, för ökad digitalisering inom samhället. Ett pågående projekt inom området Ledning och Samordning berör det som kallas *nationella grunddata*. Detta är uppgifter som används av flera olika aktörer inom offentlig förvaltning, vilket ställer krav på enhetlighet i framtagande och användning av data. För att möjliggöra detta har ett nationellt ramverk tagits fram, med överenskomna egenskaper, principer, och riktlinjer (DIGG, 2022).

I nuläget har fem grunddatadomäner identifierats. Lantmäteriet ansvarar för grunddatadomänen *Fastighets- och geografisk information*, i nära samarbete med Geodatarådet (Lantmäteriet, uå). Arbetet har under 2021 och 2022 delats in i två arbetsgrupper, där den ena har fokuserat på innehåll såväl som bland annat referens- och informationsmodeller. Den andra arbetsgruppen har istället fokuserat på styrning och struktur samt processer inom domänen (Klintborg och Stölen, 2022).

Arbetet med nationell datasamordning är en av grundförutsättningarna för effektiv digitalisering av samhället. Utvecklingen av en grunddatadomän för geografisk information talar för att användandet av geodata vid till exempel samhällsplanering, försvarsärenden, och miljöutredningar kan komma att öka. Med större mängd delbara data myndigheter emellan kan beräkningar bli mer precisa och beslutsunderlag bli bättre.

## 3.2 Digitala tvillingar i Sverige

En grundläggande förutsättning för digitala tvillingar är förekomsten av digitala stadsmodeller som kan berikas med information. Ett projekt som arbetar med detta är 3CIM, CIM står för City Information Modelling (Smart Built Environment, 2020a). Projektet ämnar utveckla en lättillgänglig metod för att ta fram informationsrika stadsmodeller i 3D. Dessa modeller ska kunna användas som bas till en digital tvilling, då de kan berikas med både semantiska och dynamiska data (Uggla et al., 2023).

Det är väsentligt för projektet att den metod som arbetas fram för 3CIM går att visualisera på olika plattformar. Detta uppnås genom att ta fram en standard för modellering som är verktygsberoende och därför kan visualiseras med ett flertal olika verktyg (Uggla et al., 2023). Viljan att ta fram en standard som sedan kan användas av andra städer och kommuner i deras arbete med stadsmodeller kan ses som en indikation på värdet av samordning och standardisering.

Smart Built Environment, som är ett strategiskt innovationsprogram, genomförde år 2020 en förstudie på området digitala tvillingar inom samhällsbyggnadsprocessen i Sverige (Smart Built Environment, 2020b). De aspekter som anses viktigast har identifierats för att framtagande och vidareutveckling av digitala tvillingar ska kunna följa

de behov som branschen har (Smart Built Environment, 2020b). Av förstudien framgår det att hållbarhet är den enskilt viktigaste aspekten i framtagandet och användandet av digitala tvillingar. Fyra åtgärder rekommenderas för att optimera den fortsatta utvecklingen. Den första är skapandet av en nationell, tvärsektoriell hub för digitala tvillingar i Sverige (Smart Built Environment, 2020b). Möjligheterna att genomföra detta undersöks vidare i en uppföljningsrapport, där det förtydligas att denna typ av hub kan och bör fungera som samordnande organ för övriga tre åtgärder som föreslås i förstudien (Smart Built Environment, 2021).

Utifrån projektets förstudie har en kravanalys tagits fram, och ett antal egenskaper identifierats som särskilt viktiga. Intervjuer har genomförts med möjliga kandidater, vilka sedan har utvärderats enligt kravanalysen. Bland de listade egenskaperna finns bland annat krav på möjligheten att verka nationellt såväl som internationellt, kompetens och fackkunskap inom organisationen, samt att organisationen ska vara stabil med möjlighet att satsa långsiktigt (Smart Built Environment, 2021).

Därefter har en kvalitativ bedömning av kandidaterna genomförts, som resulterade i en rankad lista, där RISE<sup>1</sup> presenteras som den aktör med bäst möjlighet att driva denna hub (Smart Built Environment, 2021). Undersökningsprojektet och ambitionen att starta en nationell hub visar på intresset för digitala tvillingar och möjliga användningsområden inom samhällsbyggnadsprocessen.

Bland kandidaterna fanns också Digital Twin City Centre (DTCC). DTCC är ett samarbetsprojekt med Chalmers Tekniska Högskola som bas, där både offentlig och privat sektor samarbetar tillsammans med olika universitets- och forskningsprojekt, däribland RISE (Digital Twin City Centre, 2021b). Projektet har delats in i åtta forskningsområden, från planering och design till datahantering. Genom detta har DTCC etablerat sig som ett center med både bred och djupgående teknisk kompetens på temat digitala tvillingar (Smart Built Environment, 2021).

Ett av dessa forskningsområden är visualisering. Här lyfts frågor kring visualiseringen av såväl kvalitativ som kvantitativ information, då det är stora datamängder som potentiellt kan visas i samma scen. Avvägningen mellan detaljrikedom, informationsmängd, och tillgänglighet tas upp som en av svårigheterna med detta, och det framgår att det inte finns någon standard (Digital Twin City Centre, 2021c). Dessutom finns ett så kallat *Milestone project* som fokuserar på en digital tvilling för undermarken (Digital Twin City Centre, 2021a).

Att visualiseringsfrågor lyfts i dessa stora samarbetsprojekt är ett tecken på hur viktigt det är att på ett effektivt och överskådligt sätt kunna kommunicera komplex information. Till följd av detta blir det också viktigt att det tas fram standarder för hur olika typer av data visualiseras.

---

<sup>1</sup>Research Institute of Sweden

### 3.3 Smarta städer

Det finns ingen internationellt vedertagen standard för vad som menas med begreppet *smart stad*. Vidare används den ganska breda definition som EU använder sig av, där begreppet beskrivs som “städer som använder tekniska lösningar för att förbättra förvaltning och effektivitet i den urbana miljön”<sup>2</sup>. De lösningar som implementeras i samband med innovationsprojekt för smarta städer är ofta fokuserade på effektivare resurshandling av till exempel energi och vatten. En annan aspekt är den sociala hållbarheten och livskvaliteten för de boende i en stad, som kan förbättras till exempel genom att göra en stad mer interaktiv (European Commission, uå).

Ofta nämns sensorer som i realtid uppdaterar en digital tvilling som en grundläggande åtgärd i skapandet av en smartare stad (Narayanan och Sankaranarayanan, 2019). Ett exempel på detta är sensorer i vattenledningar som kontinuerligt mäter och rapporterar flöde, vattentryck, och användning. Genom kontinuiteten i datan går det snabbare att upptäcka avvikelser och riktade åtgärder kan sättas in innan ett problem blir större och mer kostsamma åtgärder behövs (Narayanan och Sankaranarayanan, 2019). För att detta ska kunna genomföras behöver all data ha en spatial komponent, oavsett om det är en punkt, linje, eller ett område som representeras (Ruohomäki et al., 2018). Ett annat exempel på en sensordriven åtgärd är smartare gatubelysning som anpassas efter mängd dagsljus och rörelse i ett område, med automatiska uppdateringar till åtgärdande verksamhet om något slutar fungera (Morales Lucas et al., 2018).

Ett led i bättre resurshantering i urbana miljöer är bättre utnyttjande av undermarken. Städer och urbana områden förtätas allt mer och redan idag bor mer än hälften av världens befolkning i städer, en andel som väntas öka de kommande åren (UN-Habitat, 2022). I samband med detta ställs allt större krav på hantering och planering av både resurser och yta. Här blir undermarken i allra högsta grad relevant, då det är möjligt att förlägga till exempel förvaring, transportsystem, och parkering under mark. För att detta ska kunna genomföras behövs generellt högre kvalitet och bättre samordning kring undermarksdata (Morales Lucas et al., 2018).

Även inom det breda ämnet smarta städer är alltså undermarken ett område med behov av utveckling. För att förutsättningarna för användning av undermarken ska vara så goda som möjligt krävs därför samordning av såväl planering som datahantering kring undermarken.

---

<sup>2</sup>Fritt översatt från (European Commission, uå), originaltext: “*cities using technological solutions to improve the management and efficiency of the urban environment*”

# 4 Samordning av undermarksdata

## 4.1 Undermarksdata i Sverige

Undermarken är en viktig resurs som i många år försumrats i byggbranschen. Här kan anläggningar som inte är önskvärda i närmiljön som till exempel avloppsledningar och transportinfrastruktur placeras och döljas för omvärlden. I takt med att markpriserna stiger och platsbristen i storstäder ökar blir byggandet i undermarken allt mer attraktivt. I och med detta ställs högre krav på samordnad och organiserad information om undermarken. Det finns i nuläget ingen nationell databas för samlade undermarksdata. Detta tillsammans med faktorer som att det är olika aktörer som innehar och använder marken, och att vissa anläggningar omfattas av sekretess leder till att det lätt blir oordning i hanteringen av undermarksdata. Denna brist på samordning och delbar information kan i sin tur leda till att det blir oordning i undermarken (SGU, 2017).

Miljömålsrådet tog 2016 fram en lista över gemensamma åtgärder som flera olika myndigheter åtog sig att genomföra tillsammans för att nå miljömålen. En av punkterna på listan var *Storstadsutveckling - behov av undermarksplanering* som SGU åtog sig att driva på i samverkan med Trafikverket och Boverket. Projektet innebär att myndigheterna ska studera hur undermarksplanering i de större städerna görs idag och identifiera vilka möjligheter det finns att utveckla den urbana undermarksplaneringen (SGU, 2017).

Geoteknisk information kan användas som ett värdefullt beslutsunderlag under hela samhällsbyggnadsprocessen, från planering och projektering till byggande och till slut rivning eller återställning, se figur 4.1. Informationen används inom en mängd olika områden genom hela plan- och byggprocessen och en samlad lösning där alla intressenter kunde ta del av och delge relevant information skulle därför effektivisera processen betydligt (Lantmäteriet och SGU, 2019).



**Figur 4.1:** Illustration på hur geoteknisk information kan användas genom hela samhällsbyggnadsprocessen, från Lantmäteriet och SGU (2019).

## 4.2 Nationella databaser för undermarksdata i Sverige

Det finns flera databaser för undermarksinformation i Sverige. Gemensamt för dessa är att de ofta är specifika för en sorts information, till exempel jorddata. Informationen i databaserna saknar också koppling till andra typer av geodata, och är inte BIM-kompatibel.

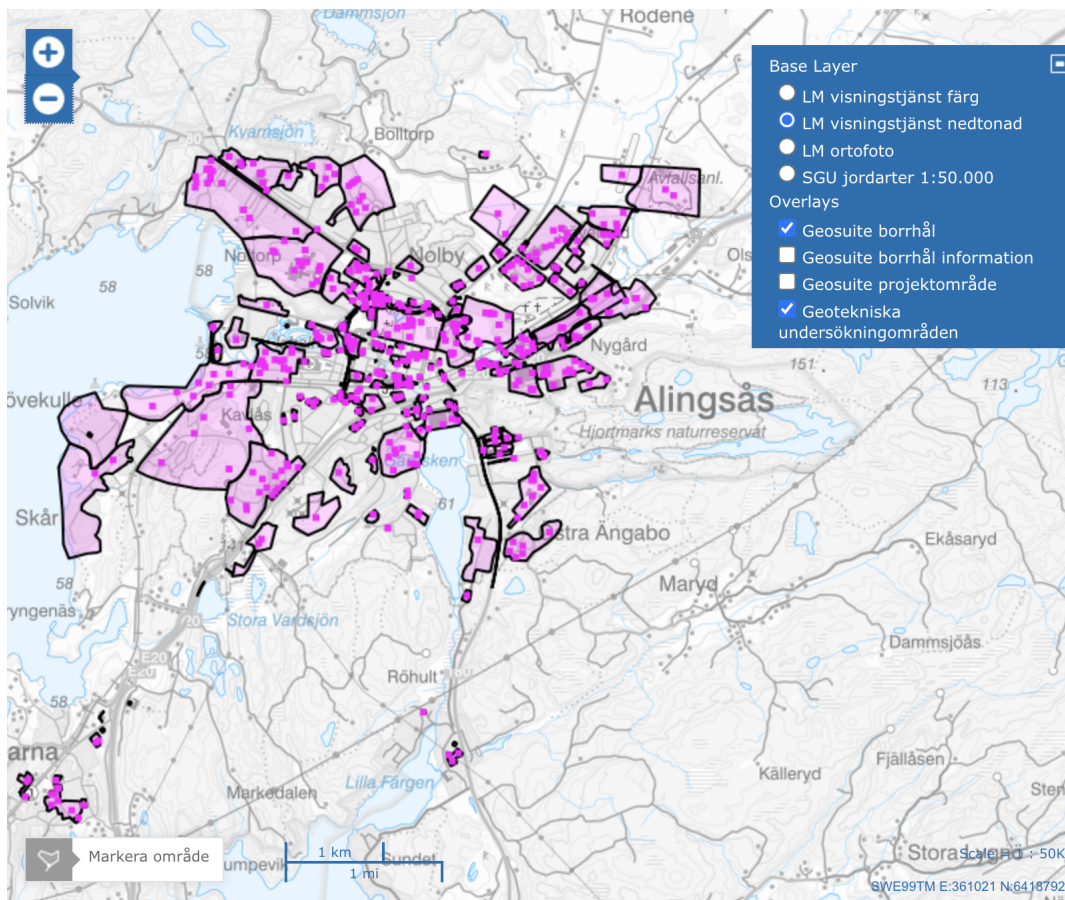
### 4.2.1 Nuvarande geotekniska databaser

#### Branschens Geotekniska Arkiv (SGI)

Branschens Geotekniska Arkiv förkortat BGA är en databas som drivs av SGI. Databasen som består av en SQL-serverlösning innehåller ca 20 000 undersökningspunkter runt om i landet, informationen är dock begränsad till geotekniska undersökningar i jord (SGI, uå; Lantmäteriet och SGU, 2019).

Tjänsten är en del av SGI:s Geoteknisk sektorsportal som är en nationell samlingsplats från underlag för geotekniska undersökningar. Med hjälp av en kartvisningsfunktion är det möjligt att söka upp och visualisera information om enskilda borrhåll, se figur 4.2. Den information som visas är exempelvis när undersökningen är gjord, vilken typ av undersökning, höjd och koordinatsystem. BGA tillhandahåller flera attribut direkt i kartan, inklusive profilritning autogenererat av GeoSuite Cloud. Borrhållsdaten kan laddas ner av registrerade GeoSuite-användare genom en markering på kartan.

Användare kan välja om datan ska laddas ner i GeoSuite-format eller shapefile-format (SGI, 2014; Lantmäteriet och SGU, 2019).



Figur 4.2: Illustration på hur kartan ser ut i BGA, från SGI (2013).

## Trafikverket Geotekniska Databas

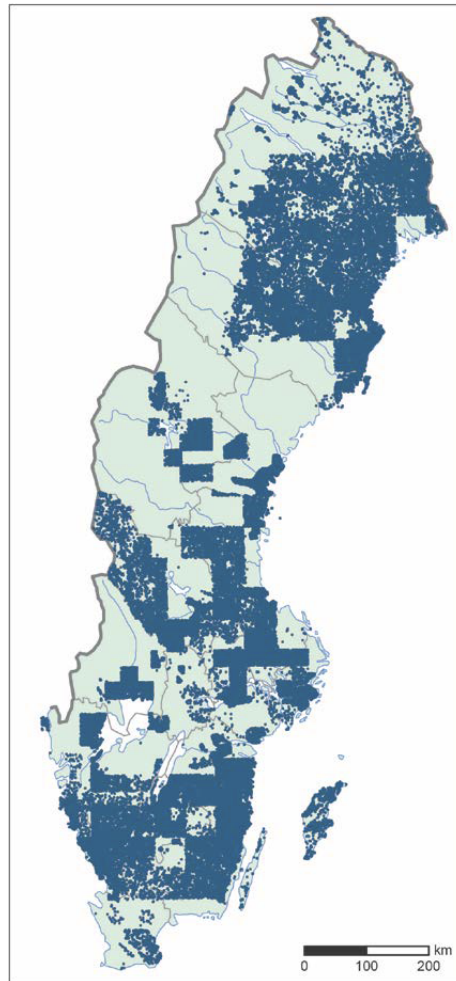
Trafikverket har en intern databas för geotekniska undersökningar, denna innehåller ca 250 000 undersökningspunkter. Trafikverket samlar information om borrhålsdata genom att beställa in detta från konsulter. Datan levereras digitalt med vissa krav på metadatan (Lantmäteriet och SGU, 2019).

## Berggrundsdata på SGU

Inom berggrundsdata finns det flera olika databaser tillhandahållna av SGU, som innehåller olika information om berggrunden. Exempel på databaser som innehåller denna typ av information är bland annat *Borrhålsdatabasen*, *Bergkvalitetsdatabasen* för tekniska analyser och *Berggrundsobservationsdatabasen* (SGU, uåa).

Berggrundsobservationer är en databas innehållande information om ca 100 000 berggrundsgeologiska observationer lagrade i punktobjekt, se figur 4.3. Databasen som

drivs av SGU utvecklades mellan 1988 och 1993 för att lagra kvantitativa och beskrivande data från berggrundsgeologiska observationer. Tjänsten revideras kontinuerligt för att tillgodose förändrade informationsbehov (SGU, 2016).



**Figur 4.3:** Bilden visar de områden där det finns digitalt lagrad berggrundsinformation, från SGU (2016).

Punktobjekten lagras i Esri Shape format med koordinatsystemet SWEREF99TM och bygger på fältbedömningar och mätningar. Datan har kontinuerligt tillförts sedan början av 1990-talet och innehåller dels observationsresultat som till exempel bergart och struktur, och dels mätresultat som till exempel riktningar för lagring och magnetisk susceptibilitet. Om flera bergarter dokumenteras på samma punkt visualiseras det som flera punkter ovanpå varandra i punktskiktet (SGU, 2016).

Utöver databaserna har SGU även en tjänst, Kartvisaren, som kan visualisera flera typer av undersökningar, till exempel geoenergi, jordarter och berggrunden, se figur 4.4. SGUs databaser innehåller topologisk information och höjdinformation från Lantmäteriet (SGU, uåb).





**Figur 4.4:** Figuren visar Berggrundskartan, från webbgränssnittet Berggrund 1:50000 – 1:250000.

SGU driver löpande berggrundsgeologiska fältundersökningar vilket gör att nya data tillkommer efter varje fältsäsong. I samband med nya projekt uppdateras även tidigare besökta områden. Den stora spridningen på erfarenhet och utbildning hos de geologer som tar fram informationen leder till en stor variation i vad som dokumenteras och hur. Datakvaliteten påverkas även av de olika väder-, insekts- och terrängförhållandena vid undersökningarna. För att minimera kvalitetsvariationer utförs sedan 2012 en särskild kvalitetskontroll innan datan lagras i databasen (SGU, 2016).

#### 4.2.2 Befintliga databaser för geokonstruktioner

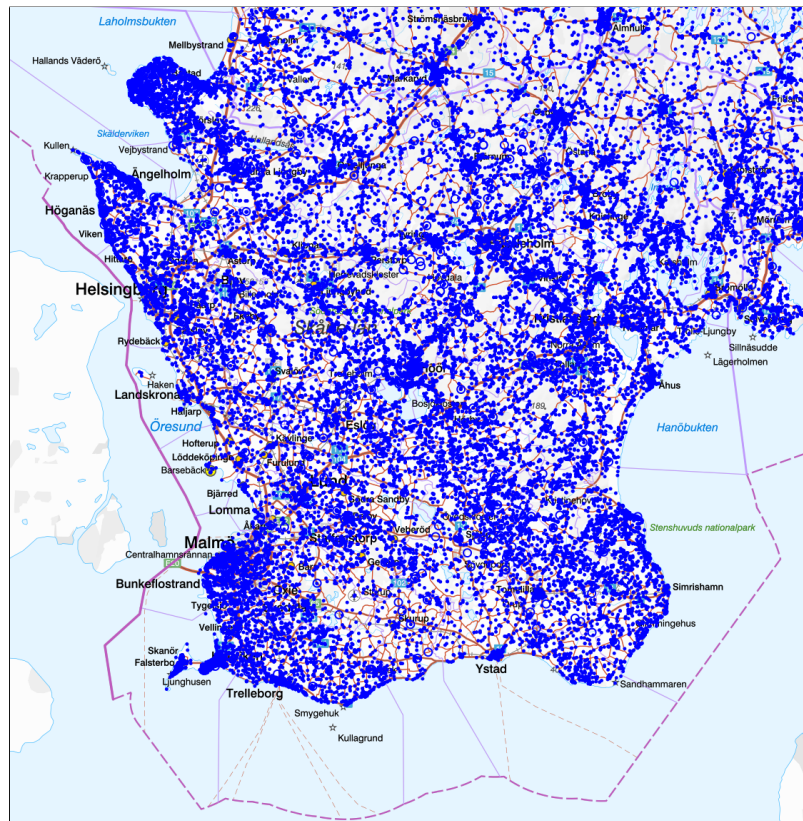
För nuvarande är antalet databaser innehållande information om geokonstruktioner få. Ett exempel på en befintlig databas är SGUs Brunnsarkivet som beskrivs nedan.

##### Brunnsarkivet

SGU har en databas för brunnar, kallad Brunnsarkivet. Här finns uppgifter om Sveriges vatten-och energibrunnar, insamlad från både privatpersoner och brunnsbörare. Databasen innehåller uppgifter om bland annat enskilda brunnars läge, dimensioner och användning. Syftet är att ge kunskap om tillgång och kvalitet på grundvattnet i Sverige. Informationen kan användas både lokalt som till exempel planeringsunderlag för VA-utbyggnad i kommuner eller på en nationell nivå för övervakning av grundvat-



tennivåer och vattenflöden, informationen från databasen finns även tillgänglig i SGUs kartvisare, se figur 4.5 (SGU, 2021).



**Figur 4.5:** Figuren visar brunnar från Brunnarsarkivet i SGUs kartvisare, från webbgränssnittet Brunnar.

### 4.2.3 Fördelar med en gemensam databas för geokonstruktioner och geotekniska data

Ovan finns det exempel på databaser som hanterar olika typer av undermarksinformation. Det som saknas i dessa databaser är en koppling mellan olika typer av undermarksinformation, till exempel mellan geokonstruktioner och geotekniska data. Fördelar med att ha tillgång till en nationell databas för samlade undermarksdata är att det kan minska kostnader och öka både effektiviteten och kvalitén i samhällsbyggandet. Tillgång till mer information innan geotekniska undersökningar påbörjas kan dels indikera vilken typ av undersökningar som behöver göras, och dels vilken spatial spridning som bäst täcker de eventuella luckor som finns i datan över undersökningsområdet. Detta kan i sin tur ge en högre kvalitet på datan som genereras in i databasen (Friberg et al., 2018). En ytterligare fördel med en samlad databas för olika sorters undermarksdata är att resultat från till exempel geotekniska undersökningar skulle kunna läggas in. På så sätt motverkas den informationsförlust som sker i nuläget, då projektspecifika undersökningar inte ses som en del i en mer heltäckande modell. Detta skulle också kunna bidra till bättre överblick över förändringar över tid.

## 4.3 INSPIRE-direktivet

Inspire är ett EU-direktiv som handlar om upprättandet av en gemensam infrastruktur för geodata. Med syftet att standardisera format och informationshantering för att underlätta utbyte av geografisk information mellan myndigheter och andra organ antogs direktivet år 2007 med krav på fullskalig implementering år 2021. Tanken är dessutom att den här typen av information ska bli mer tillgänglig och att det i sin tur ska underlätta för gränsöverskridande projekt (European Commission, 2023).

En sammanställning från 2017 visar att många länder fortfarande brister i sin geodatanhantering, och indikerar att det finns arbete kvar att göra innan direktivet är implementerat i sin helhet (Cetl et al., 2017). Enligt den senast tillgängliga statusrapporten från Sverige om direktivets framfart, från 2016, meddelas att implementeringen är på god väg och att nödvändiga åtgärder redan har vidtagits. Lagen och Förordningen om geografisk miljöinformation (SFS 2010:1767 samt SFS 2010:1770), som trädde i kraft 2011, medför att direktivet är genomfört i svensk rätt (Rydén, 2016). Direktivet fokuserar inte specifikt på geoteknisk information eller konstruktioner under mark, men visar på ett ökat behov av mer lätthanterlig och kommunicerbara data. Då den nationella utvecklingen visar på att det är undermarksdata och geoteknisk information som är i störst behov av vidareutveckling, kan det antas att en liknande utveckling kommer ske även internationellt.

Dataspecifikationer har tagits fram för de 34 teman som identifierats inom direktivet. Dessa teman täcker allt från adresser och byggnader till energiresurser. Teman som Geologi (Annex II) och Mineralresurser (Annex III) är särskilt relevanta för denna rapport då de berör undermarksinformation. Temat Geologi är brett och innefattar hantering av information rörande bland annat borrhål, jordlager, och hydrogeologi. Även geofysik och seismiska modeller i både 2D och 3D inkluderas i temat. Geologi som kategori inom direktivet beskrivs som ett övergripande tema, eftersom andra teman, däribland Mineralresurser, är beroende av geologisk information (European Commission, 2015b). Specifikationen för Mineralresurser definierar dessa som “naturliga koncentrationer av en stor mängd olika mineralresurser av potentiellt eller bevisat ekonomiskt intresse”<sup>1</sup>. Dessa typer av data kan användas till bland annat ekonomiska kalkyler och miljökonsekvensbeskrivningar (European Commission, 2015a).

## 4.4 Planering av undermarken

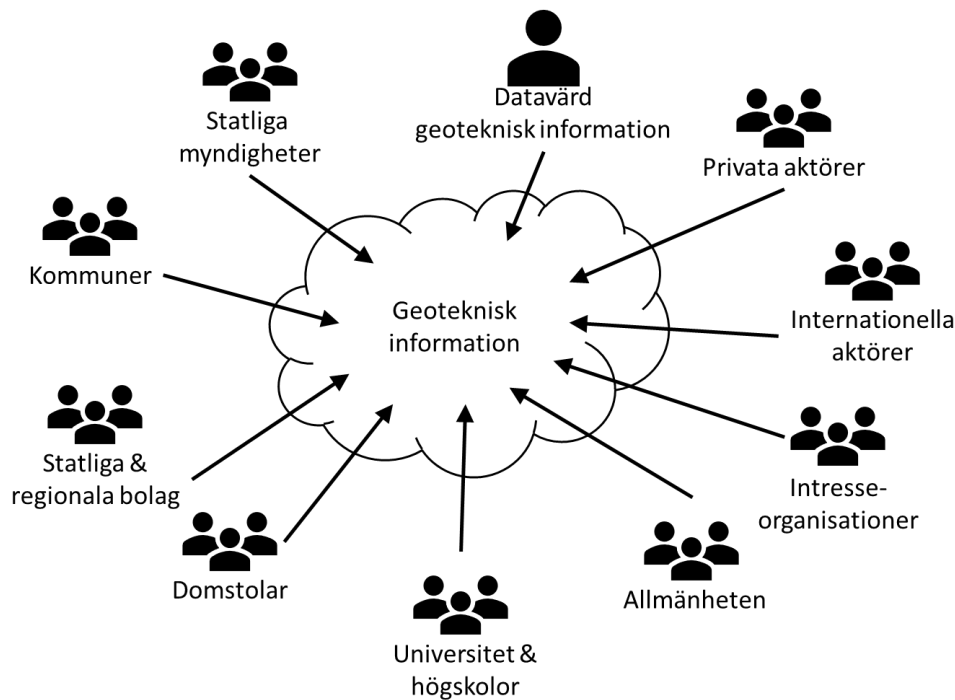
### 4.4.1 Undermarksplanering i Sverige

I SGUs undersökning om undermarksplanering i större städer har de gett i uppdrag till konsultbolaget WSP att genomföra en intressentanalys med syfte att få reda på aktuella aktörers syn på och erfarenheter av undermarkens användning (SGU, 2017). I figur 4.6 nedan illustreras vilka olika aktörer som skulle gynnas av en gemensam databas. Analysen visade på att flera av de medverkande ansåg att användningen av

---

<sup>1</sup>Fritt översatt från (European Commission, 2015a), originaltext: “*natural concentrations of very diverse mineral resources of potential or proven economic interest*”

undermarken främst är reglerad av först till kvarn principen. Detta leder till att det inte tas hänsyn till de ekologiska, ekonomiska och sociala hållbarhetsperspektiven i användningen (SGU, 2017).



**Figur 4.6:** Aktörer som skulle gynnas av en nationell databas, från Lantmäteriet och SGU (2019).

Plan- och bygglagen (SFS 2010:900), 4. kap. 11 § 1 p., klargör att kommuner i detaljplaner får bestämma bebyggandets omfattning både över och under mark. I 2. kap. 8 § står dessutom att:

*“vid planläggning och i ärenden om bygglov enligt denna lag ska byggnadsverk som placeras under markytan i skälig omfattning utformas så att det inte försvårar användningen av marken ovanför”*

Stiftelsen Bergteknisk Forskning tog 2020 fram en rapport om lagstiftning för undermarksplanering. Informationen kring lagstiftning för undermarken beskrivs där som svårtillgänglig och bristfällig (Nilsson et al., 2020). Rapporten utreder bland annat hur svensk planeringslagstiftning har sett ut från 1600-talet och framåt, samt vad det har betytt för undermarken. Huvudsakligen sker regleringen av undermarken med hjälp av PBL, och till följd av det kommunala planmonopolet är det kommunerna och deras arbete som rapporten fokuserar på (Nilsson et al., 2020). Det kommunala planmonopolet beskrivs också i SGUs rapport om undermarksplanering (2017). Detaljplaner är det enskilt mest kraftfulla verktyg kommuner har för att planera markanvändning och därmed samhällsutveckling, och en detaljplans påverkanskraft är stor då annan lagstiftning innehåller bestämmelser om att åtgärder inte får strida mot detaljplaner (SGU, 2017).

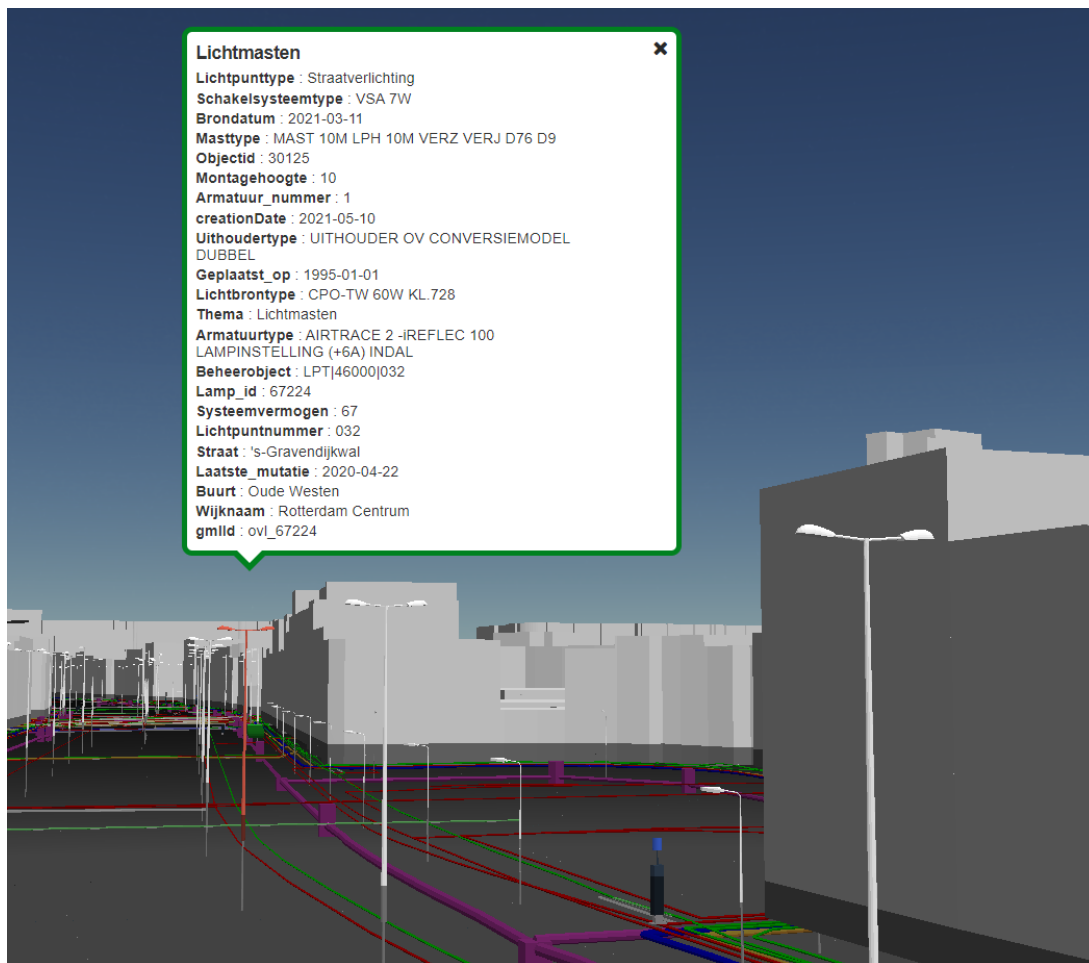
Däremot anses detaljplaner inte vara optimalt utformade för att simultant planlägga både över och under mark. Det är möjligt att till exempel hantera överlapp av olika sorters allmänna platser om ett slag anges som det dominerande och övriga slag anges som utformningsåtgärder (SGU, 2017). Genom att ange fastighetsindelingsbestämmelser och medge tredimensionella fastigheter möjliggörs fastighetsindelning på flera nivåer, vilket är viktigt då fastighetsindelning inte får ske i strid med detaljplanen (SGU, 2017). Detta möjliggjordes av ändringar i PBL, som tillåter till exempel skiktande av allmän plats och kvartersmark (Nilsson et al., 2020).

Särskilda bestämmelser finns för vissa konstruktioner under mark. Till exempel krävs inte bygglov för tunnlar som ska användas till väg, tunnelbana, eller järnväg, detta enligt plan- och byggförordningen (SFS 2011:338). Däremot krävs fortsatt förenlighet med detaljplan (SGU, 2017). Bestämmelser om markreservat kan användas för att möjliggöra för ledningar under mark, med stöd i PBL, 4. kap. 6-7 §§. Detta innebär en inskränkning av fastigheten och bör därför inte användas om fastighetens huvudsakliga användning till följd av detta försvåras. En möjlig tillämpning är en ledning under en villaträdgård (SGU, 2017). Däremot medför inte ett planlagt markreservat att markåtkomst automatiskt medges. Detta måste istället prövas med stöd i annan lagstiftning och beslutas genom till exempel lantmäteriförrättning (SGU, 2017).

#### 4.4.2 Undermarksplanering i ett internationellt perspektiv

Undermarksplanering är ett ämne som får allt större fokus även i resten av världen. Planeringen och lagstiftningen skiljer sig tydligt mellan både länder och mellan städer i samma land. I de flesta städer förekommer ingen långsiktig planering för undermarken. Nederländerna och Finland är exempel på länder som har mer utvecklade metoder för både planeringsarbete och praktik. I dessa länder har man tagit fram lokala undermarksplaner för några av de största städerna, Finland har även en lagstiftning för undermarken och Nederländerna har en nationell strategi (SGU, 2017). I Helsingfors påbörjade man underjordsplanering redan under 1980-talet och en underjordisk allokeringsplan togs fram. Sedan 2010 finns en underjordisk generalplan för Helsingfors kommun som täcker större delen av tätorten och dessutom är juridiskt bindande (Vähäaho, 2012).

För att bidra till en framtidssäker och effektiv användning av undermarken anser SGU i sin rapport (2017) att det är av största vikt att en planeringsmodell utvecklas. Som en del av förstudien till detta har SGU (2017) genomfört en omvärldsanalys där olika länders sätt att hantera undermarksdata och -planering studerats. Av dessa har Rotterdams modell tagits fram som ett föredömligt exempel för att ta fram Sveriges planeringsmodell för undermarken, se figur 4.7 för exempel. Stadens modell tydliggör ansvar och funktioner i undermarken på olika djup och belyser om det finns en intressekonflikt då många aktörer använder samma utrymme. Något som saknas i denna modell är dock en tydlig prioriteringsordning i djuplagren samt en vidareindelning av de lager som har identifierats. I Helsingfors har prioriteringsordningen delvis lösts genom att man har reserverat undermarksutrymmen för olika ändamål, både planerade och framtida. Här finns det dock brister i planeringsmodellen som går i djupled (SGU, 2017).



**Figur 4.7:** Del av Rotterdams 3D-modell över staden, skärmdump från webbgränssnittet Rotterdam 3D.

Japan och Kina har båda arbetat fram strategier för klassificerad undermarksplanering. Här saknas det dock liksom i Rotterdam en lagerindelning på trafikslagsnivå vilket innebär att djuplagren har flera funktioner på samma nivå (till exempel tunnelbana och vägtunnel). Modellen löser därför inte problematik som rör sig om konflikter i samma undermarksområde (SGU, 2017).

### 4.4.3 Informationshantering och undermarksplanering

Intressant att notera i en jämförelse mellan Helsingfors och Sverige är användningen av geologiska och geotekniska data vid undermarksplanering. Undermarken i Helsingfors har sedan länge kartlagts och därför finns det i nuläget en detaljerad modell av bland annat berggrund, jordlager, underjordiska vattenmagasin, och tunnlar i storstadsområdet. Därmed finns mycket av den information som kan komma till nytta vid projekt som innefattar undermarken tillgänglig direkt vid projektstart, vilket medför lägre projekterings- och uppstartskostnader.

Den begränsade markytan i förhållande till befolkningen i Helsingfors nämns som en av anledningarna till att undermarken i hög grad har setts som en nödvändig resurs (Vähäaho, 2012). Genom att utnyttja utrymmen under mark för till exempel parke-

ring och transportleder kan markytan i högre utsträckning kan användas till bostäder, gröna ytor, och allmänna platser. Mycket av kartläggningen har genomförts med syftet att möjliggöra för planering. Till exempel genomfördes en geoteknisk undersökning av hela storstadsområdet med syftet att identifiera områden som lämpar sig för underjordiska lokaler och infrastruktur (Vähäaho, 2012). För att kartläggningen ska bli användbar ur ett planeringsperspektiv krävs det att informationen kan kommuniceras på ett effektivt sätt, bland annat med hjälp av kartor och 3D-modeller.

Här driver intresset för effektiv undermarksanvändning både kartläggning och planering. Resultatet har blivit att det utöver parkeringshus och ledningstunnlar finns bland annat ett badhus, en kyrka, ett köpcentrum, och ett konstmuseum under marken i Helsingfors (Vähäaho och City of Helsinki, 2019). Helsingfors stadsmättningskontor samlar in data över underjordiska utrymmen, rör, och ledningar. Informationen läggs sedan in i kartor och GIS-system, och dessa kartor finns sedan tillgängliga för de som begär ut dem (Vähäaho, 2019). Mycket av informationen, inklusive 3D-kartor över staden samt modeller över undermarken finns också tillgängliga för allmänheten via stadens hemsida (City of Helsinki, 2020).

Den insamlade datan från Helsingfors underlättar för bättre planering, och samtidigt möjliggör den detaljerande planeringen för bättre datainsamling och -hantering. I Sverige är detta något som skulle kunna uppnås till följd av framtagandet om nationella grunddata, som lyfts i avsnitt 3.1.1.

# 5 Visualisering av geografisk information

I det här kapitlet beskrivs grundläggande kartografiska principer så som symbolisering och färgsättning i 2D och 3D, som kommer att användas vid framtagning av kartmaterial. Det kommer även att behandla befintliga specifikationer för visualisering av geografisk information. Kapitlet lägger stort fokus på visualisering av geografisk information på ett generellt plan med mindre fokus på undermarksdata på grund av bristande tillgång till information inom detta område. Trots detta anser vi att de grundläggande principerna för visualisering kan användas i denna studie.

## 5.1 Kartografi

Kartografi handlar om att med hjälp av kartor presentera geografiska data. Nuförtiden presenteras majoriteten av kartor på digitala skärmar istället för i pappersformat. Det finns både för och nackdelar med den digitala presentationen. Fördelar med att kunna titta på en karta på en skärm är att det tillåter interaktion mellan kartan och användaren så som att zooma, dra och välja vilken information som visas. Det är också möjligt att utnyttja användarens position för att navigera och zooma till aktuellt område. Nackdelar med att se en karta på en skärm kan vara att upplösningen ofta är begränsad vid hög inzoomning eller att färger kan variera från olika skärmar eller från skärm till papper vid utskrift. Skalan som väljs i kartan är en kompromiss mellan den mängd objekt man vill visa och den översikt man vill ge för att det geografiska sammanhanget ska vara begripligt (Kraak och Ormeling, 1996).

Digitala kartor kan ha olika hög interaktionsgrad, det vill säga olika hög grad i vilken användaren kan manipulera kartan. Kartor med hög interaktionsgrad kallas ofta geovisualiseringar, dessa återfinns ofta i GIS-program där det är möjligt för användaren att bestämma både vilken information som visas och hur den presenteras (Kraak och Ormeling, 1996).

### 5.1.1 Specifikationer för visualisering och kartografi

För vissa typer av kartor finns det internationella standarder och specifikationer för hur de ska utformas. För topografiska kartor saknas dock detta (Kent och Vujakovic, 2009). Det finns vissa riktlinjer från bland annat Lantmäteriet och Svenska Geotekniska Föreningen, dessa beskrivs nedan.

## HMK - Kartografi

Handbok i mät- och kartfrågor (HMK) är en samling digitala handböcker med syfte att bidra till ökad samordning, enhetlighet och kvalitet inom områdena geodata och samhällsmätning. Böckerna innehåller riktlinjer för geodatainsamling, geodetisk mätning och kartografi (Lantmäteriet, 2022).

Andra utgåvan av HMK - kartografi publicerades 1996, under 2023 pågår en process för att uppdatera handboken än en gång (Lantmäteriet, 2023). Handboken behandlar i huvudsak kartografiska aspekter för storskaliga kartor som kommunala bas- och grundkartor. Boken innehåller riktlinjer för hur kartor bör utformas och behandlar bland annat färgsättning och teckenförklaringar. Handboken saknar dock riktlinjer för hur geografiska data ska visualiseras digitalt och utan skalberoende (Lantmäteriet, 1996). HMK-kartografi saknar specifika riktlinjer för visualisering av undermarksdata men är ett bra exempel på hur en handbok för visualisering kan utformas.

## Webbkartografi vid SGU

SGU har tagit fram en guide som redogör hur deras kartvisare är uppbyggda och ger en inblick i val av till exempel symboler och färg (SGU, 2014). I guiden beskrivs hur SGU använder sig av tre olika typer av symbolförändring vid skalsteg:

- Symboler ändrar storlek.
- Klassificeringen av symboler blir mer eller mindre detaljerad.
- Symboler byter utseende helt eller geometrin ändras.

Dessa metoder kan även kombineras för att göra kartan lättläst vid alla skalnivåer.

SGU använder sig ofta av omfattande mängder data, vilket gör att kartbilden kan bli för informationsrik. För att förenkla tolkning av kartan har de använt sig av ett par kartografiska problemlösningar. De rekommenderar bland annat att använda en ljus konturfärg när punkter ligger tätt inpå varandra eller ovanpå en yta för att markera symbolen (SGU, 2014).

## SGF/BGS Beteckningssystem

SGF/BGS beteckningssystem är framtaget av Svenska Geotekniska Föreningen (SGF) och Byggnadsgeologiska Sällskapet (BGS). Syftet med systemet är att ge riktlinjer för geoteknisk, geologisk och miljöteknisk redovisning i plan och i sektion. Det omfattar undersökningar, tolkade grundförhållanden, grundkonstruktioner och olika former av förstärkningsåtgärder (SGF, 2001). Det nuvarande beteckningssystemet gäller sedan 2001 med uppdateringar från 2016 (SGF, 2016). Ett exempel på symboler för sondering, med exempel på tillägg för djup- och bergbestämning, ges i figur 5.1.



<b>Sondering</b>	
○	Undersökningspunkt (grundsymbol) utan attribut vid sondering samt enkel sondering utan redovisning av sonderingsmotstånd (t ex sticksondering eller slagsondering utan registrering av sonderingsmotstånd)
●	Statisk sondering med redovisning av sonderingsmotstånd i jord (t ex vikt- och trycksondering)
⦿	CPT-sondering
●	Dynamisk sondering med redovisning av sonderingsmotstånd i jord (t ex hejarsondering)
<b>Tillägg för djup- och bergbestämning</b>	
○	Sondering avslutad utan att stopp erhållits
⦿	Sondering till förmodad fast botten, d v s sonden kan inte med normalt förfarande utan svårighet drivas ned ytterligare
⦿	Sondering till förmodat berg
⦿	Sondering mindre än 3 m i förmodat berg

**Figur 5.1:** Exempel på symboler från SGF.

### 5.1.2 Symboler och textsättning

Symbolisering handlar om att välja korrekta symboler, färger och former för att representera de objekt som visas. Symboler kan variera i hur de presenteras, de enklaste symbolerna representerar sina referensobjekt genom att efterlikna deras geometriska och geografiska egenskaper, en väg kan till exempel representeras av ett linjeobjekt och en sjö av en polygon. Genom att ge symbolerna olika färger och mönster kan de redovisa mer information, linjesymboler i olika färger kan till exempel representera vägar av olika vägklasser (Kraak och Ormeling, 1996).

Inom kartografin används sju stycken visuella variabler för att skapa kartografiska symboler. Den första variabeln är läget, som i en karta är givet. De övriga sex variablerna är till för att göra informationen lätt att se och tydlig att förstå, dessa är: storlek, textur, ljushet, form, färgton och symbolernas orientering. För att presentera data som är i nominalskala används lämpligen form och färgton. Information i intervall och kvotskala presenteras fördelaktigt med storlek och ljushet. Orienteringen av symboler på kartan återspeglar oftast orienteringen hos objektet själv och är därmed inte lämplig för att skilja olika kategorier åt. Textur i kartan kan åstadkommas med hjälp av värdeskuggning med hjälp av parallella linjer med olika grad täthet (Kraak och Ormeling, 1996).

I de flesta topografiska kartor är det viktigt med höjdinformation. Det vanligaste sättet att presentera denna information är med så kallade isolinjer (höjdkurvor). En annan teknik som används för att förhöja känslan av markens topografi är terrängskuggning, det innebär att en fiktiv sol som befinner sig i nordvästlig riktning används för att ge skuggor (Kraak och Ormeling, 1996).

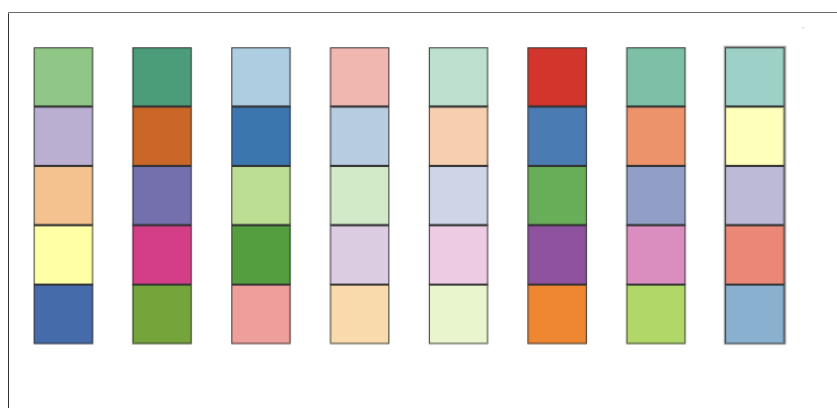
Textsättningen är viktig för att underlätta förståelsen av kartan. Det finns typografiska riktlinjer som omfattar typsnitt, textstorlek och placering av texten. Typsnittet hjälper till för att skapa variation i kartan. För att illustrera olika klasstillhörigheter hos texter kan versala respektive gemena former användas, texten kan vara kursiv eller fetstil, med olika färger och storlekar. Texten ska placeras så att den direkt kan kopplas till rätt kartobjekt, till exempel rekommenderas till höger snett ovanför punktobjekt. Kollisioner mellan text och kartobjekt ska helst undvikas, om detta inte är möjligt kan en försiktig retuschering göras av kartobjektet så att texten framträder tydligt. Det är även möjligt att förstärka texten genom att sätta en ljus kant runt, detta kallas haloeffekt (Kraak och Ormeling, 1996; Peterson, 2020).

### 5.1.3 Färgsättning

Det är viktigt att använda färger med eftertanke, rött brukar till exempel oftast användas för att varna, signalera fara eller beordra stopp. För digitala system används oftast RGB-skalan, vilket står för rött, grönt, och blått (Harrie, 2020).

Vid färgsättning är det inte estetiken som bör avgöra färgvalet. För att designa en effektiv karta ska färscheman användas. Beroende på om datan är kvantitativ, kvalitativ eller divergerande bör olika färgscheman övervägas. Kvalitativa färgscheman representerar olika typer av kartobjekt. För att försäkra sig om att alla kategorier uppfattas som lika viktiga bör nyanserna på färgvalet i ett kvalitativt schema behålla liknande bakgrundskontrast som övriga objekt. Detta kan uppnås genom anpassning av ljus och mättnad (Brewer, 2004).

För att underlätta färgval av kartor finns det verktyg online. Ett av dessa verktyg är ColorBrewer som ger olika färgscheman för tematiska kartor. Figur 5.2 visar kvalitativa färgscheman som kan användas till visualisering av data som kan kategoriseras men inte rangordnas (Brewer et al., 2013; Brewer, 2004).



**Figur 5.2:** Exempel på kvalitativa färgscheman från webgränssnittet Colorbrewer 2.0.

## 5.2 3D-visualisering

### 5.2.1 Geovisualisering

En geovisualisering är en visuell presentation av ett fysiskt landskap. Syftet med visualiseringen är att beskriva ett eller flera fenomen eller processer. Oftast innebär begreppet presentationer som möjliggör interaktioner där användaren kan manipulera data så att tidigare okänd information och rumsliga samband kan framträda på ett sätt som är omöjligt i en statisk karta (Kraak och Ormeling, 1996).

3D-visualisering är en typ av geovisualisering, och då verkligheten består av tre dimensioner kan det också vara en fördel att avbilda den i 3D. Under de senaste åren har 3D-visualiseringar utvecklats i hög takt och används idag i flera olika discipliner för att visualisera data, exempel på discipliner det används inom är geologi, hydrologi och konstruktion. Visualiseringsmetoden gör det möjligt att skapa komplexa modeller av verkliga fenomen så som jordskred och översvämningar på ett sätt som gör datan enkel att förstå. Icke-fotorealistiska 3D-modeller är viktiga för geografiska objekt som inte kan observeras i verkligheten, till exempel för visualiseringar av undermarken (Harrie, 2020).

Tillgängligheten till flyg- och satellitbilder, tillsammans med visualiseringstekniker som drapering av modeller med foton eller fotolikhande texturer har gjort det möjligt för modellerna att se mycket verklighetstroga ut. Flera städer har idag omfattande 3D-modeller som används för visualisering inom bland annat samhällsbyggnad (Harrie, 2020).

### 5.2.2 Utformning av 3D-kartor

Vid utformning av 3D-kartor bör syftet styra hur kartan designas. I vissa tillämpningar, såsom stadsmodellering är det både önskvärt och lämpligt att modellen ska vara så fotorealistisk som möjligt för att vara en så lik avbildning av verkligheten som möjligt. Andra tillämpningar som till exempel modeller som ligger till grund för olika beräkningar, kan vara mer lämpliga att visualisera med hjälp av icke-fotorealistiska modeller. Det finns även modeller som är både fotorealistiska och icke-fotorealistiska, till exempel kan en landskapsmodell vara fotorealistisk medan byggnaderna som placerats i den inte är det. Detta kan göras vid stadsplanering, till exempel vid visualisering av ett område som ännu inte byggts (Harrie, 2020).

Ett liknande tillvägagångssätt kan användas vid 3D-visualisering av undermarksinformation. Den faktiska färgen på geotekniska objekt och geokonstruktioner är mindre viktig vid visualisering av objekt under mark. Därmed kan det vara fördelaktigt att kombinera en fotorealistisk grundmodell med undermarksobjekt som är utformade med målet att vara tydliga snarare än att efterlikna verkligheten. På så sätt förmedlas relevant information till användaren på ett tydligare sätt.

Precis som vid utformningen av 2D-kartor behöver kartografen vid utformningen av icke-fotorealistiska 3D-modeller beakta att objekten i modellen ska representera refe-

rensobjekten på ett tydligt och bra sätt. Detta görs bland annat genom att skaparen arbetar med de sex visuella variablerna storlek, textur, ljushet, form, färgton och orientering som beskrivs i avsnitt 5.1.2. Vissa av dessa kan dock inte användas på samma sätt som vid utformningen av en 2D-karta. Storleken kan till exempel inte användas på samma sätt i en 2D-karta som i en 3D-karta. För ett kartobjekt i en 2D-karta är storleken konstant då alla objekt antas ha samma avstånd till betraktaren, då kan storleken på kartobjektet representera storleken på referensobjektet. I en 3D-visualisering antas kartobjekten vara placerade med olika avstånd från betraktaren, det innebär att storleken inte bara kan vara en representation referensobjektets storlek, utan även används som en indikator för avståndet till betraktaren. Även variablerna färgton och ljushet används på andra sätt i 3D-visualiseringar gentemot i 2D-visualiseringar. I 3D-kartor behöver variablerna förutom att representera ett objekts klasstillhörighet även symbolisera skuggning för att möjliggöra en höjdmödel. Ytterligare en faktor som påverkar symboliseringen är att även om objekten inte ska vara fotorealistiska är det lämpligt att de liknar de verkliga referensobjekten. I en 2D-karta kan ett träd till exempel representeras av ett grönt punktobjekt medan det i en 3D-modell representeras av en trädmodell med både stam och krona (Harrie, 2020). Även Bandrova (2001) beskriver att symboler i 3D kartor ska sträva efter att efterlikna sina referensobjekt i både utseende och dimensioner. I 3D-modeller behöver man även tänka på den perspektivistiska vyn tillsammans med de dynamiska eller interaktiva faktorerna som kräver att ytterligare variabler beaktas. Detta gör att de sex visuella variablerna som används vid utformningen av 2D-kartor behöver kompletteras med variabler som behandlar rörelse, varaktighet, frekvens, ordning, förändringstakt, synkronisering, betraktningvinkel och betraktningshöjd (Harrie, 2020).

### 5.2.3 Färgsättning och transparens i 3D-kartor

I en undersökning genomförd av Seipel et al. (2020) analyserades transparens och färgsättning av 3D-attribut i kartor. Studien genomfördes som en del av ett forskningsprojekt med fokus på visualisering och digitalisering av fastighetsspecifik kartinformation i 3D, men de kartografiska resultaten är generella. Syftet med studien var att studera transparens i 3D-visualiseringar av geodata, samt att utveckla ett nytt funktionellt koncept för visualisering av fastighetsspecifika data i 3D och studera hur användare upplevde ett sådant system. Studien utvärderade även påverkan av de visuella attribut som ansetts relevanta i användareundersökningen (Seipel et al., 2020).

Analysen visade på ett problem inom 3D-visualisering. Vid visualisering av en 3D-scen utan transparens är det lätt att detaljer döljs av andra objekt. Ökad transparens kan ge ett helhetsperspektiv för alla objekt i scenen men risken ökar också att detaljer smälter in i omgivningen och blir mindre visuellt framträdande (Seipel et al., 2020).

Rapporten föreslår två åtgärder för att förbättra det visuella framträdandet vid en hög transparensgrad:

1. En starkt betonad kantrepresentation genom att öka tjocklek och intensitet motsvarande objektets transparensgrad.
2. När ett objekt väljs bör transparensgraden för det valda objektet ändras till 0%.

I artikeln har det även genomförts en studie av färglikhetsindex, som möjliggjort en jämförelse mellan olika kombinationer av färger som ett resultat av transparens, skuggning och ljus. Resultaten visade på att objekt som har distinkta färger när de visas utan transparens blir allt mer lika då transparensgraden ökar. Resultatet visade på att 60% transparens var en tröskel kring vilken förväxling ökade markant (Seipel et al., 2020).

En av slutsatserna från användarundersökningen var att visualiseringen behövde vara adaptiv efter användarnas behov. Resultaten i rapporten indikerar på att transparens inte är en självständig visuell variabel eftersom det påverkar hur färgen på ett 3D-objekt uppfattas och gör att färgerna blir mindre framstående (Seipel et al., 2020). Denna teori stöts i Wang et al. (2012) som anser att transparens och mättnad ingår den visuella variabeln färg.

Shojaei et al (2013) anser att transparens, färg och tjocklek antingen bör standardiseras för snabb igenkänning eller definieras av användarna för att förbättra nyttan av visualiseringen.

## 5.3 För- och nackdelar med 3D-visualisering

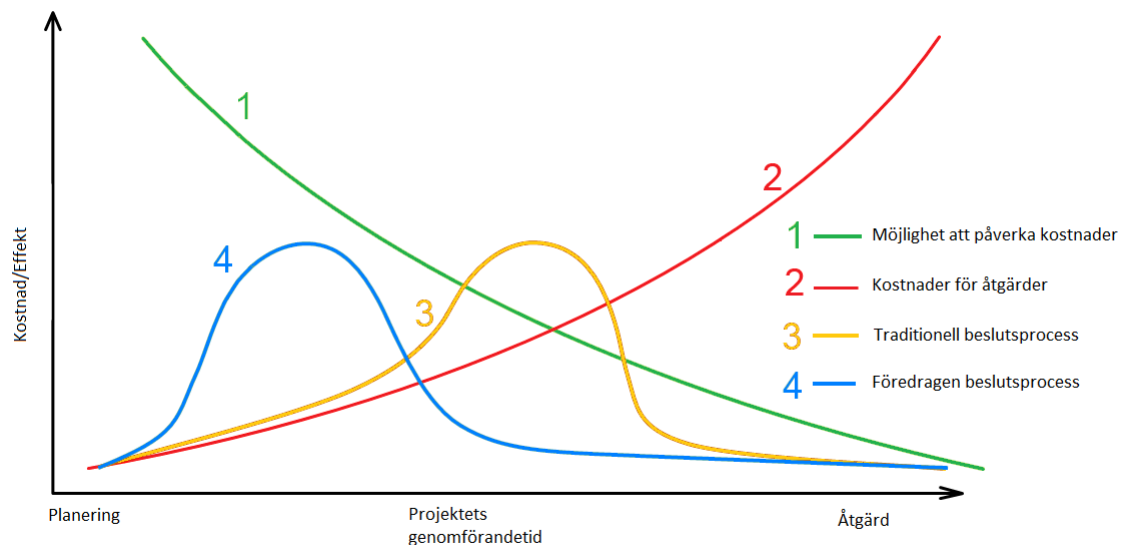
### 5.3.1 Fördelar med 3D-visualisering

Det är i nuläget vanligast att information visas i 2D, som linjeobjekt med attributdata. Ingenjörer använder denna information i sina CAD- och GIS-system, nackdelar med detta är dock att representationen saknar information om djup och volym, något som skulle kunna åtgärdas med 3D-visualisering (van Manen et al., 2022).

Van Manen (2022) har genomfört en studie med syfte att fastställa vilka fördelar 3D-visualisering av undermarksdata har. Studien tar upp två exempel på fördelar med att använda 3D-visualisering jämfört med visualisering i 2D. Dessa är:

- 3D-visualisering bidrar till förbättrad kommunikation mellan stadsplanerare och ingenjörer. Till skillnad från ritningar i 2D ger 3D en mer realistisk bild av det kommande projektet. Tydligheten bidrar till att minska missförstånden mellan parterna.
- 3D-modeller ger en ökad förståelse för de komplexa förhållandena i undermarken. Genom att se geografiska positioner och spatiala relationer får ingenjörerna en ökad insikt i komplexiteten i nätverken. Visualiseringen hjälper även till att undvika konflikter om samma utrymme genom att spåra kollisioner redan innan konstruktionen påbörjats (van Manen et al., 2022).

Den ökade informationen i början av projekten bidrar till att eventuella problem identifieras i tidigare skeden. Detta gör att kostnaderna att åtgärda problemen blir betydligt mindre än vad de blivit senare i processen. Figur 5.3 illustrerar hur ett projekts kostnader kan minska baserat på hur tidigt i processen informerade beslut fattas (Morin, 2016).



**Figur 5.3:** MacLeamy-kurvan illustrerar hur projektkostnader påverkas av tidpunkten för beslut, anpassad från Morin (2016).

### 5.3.2 Nackdelar med 3D-visualisering

Trots de tidigare nämnda fördelarna med 3D-kartor finns det även en del nackdelar. Det krävs till exempel ett större kognitivt arbete för att tolka visualiseringarna, de är svåra att skapa och de kräver nya användargränssnitt. Därför är det viktigt att utvärdera syftet med kartan innan man bestämmer sig för vilken typ av visualisering som ska användas. Syftet med visualiseringen är sällan att återge hela verkligheten utan att med valda metoder framhäva det som är viktigt för varje enskilt fall (Harrie, 2020).

En annan nackdel med 3D-visualiseringar av undermarken är att de kan ge sken av bättre kännedom av förhållandena än vad som egentligen finns. Osäkerheter av informationen är ofta inte tillräckligt tydliga och försvinner ofta i 3D-modeller. Visualiseringen förmedlar en tydlig bild av ett område som det många gånger inte finns tillräckligt mycket data om för att ge en säker bild av (Nilsson et al., 2020).

# 6 Integrering av undermarksdata med andra geografiska- och BIM-data

En sammanställning från 2022 visar på ett antal olika strategier för att integrera spatiala data i 3D-modeller. Grundfrågeställningen för sammanställningen var hur undermarksdata hanteras och om denna går att infoga i modellerna, något som visade sig variera i hög grad. För att öka integrering och förenkla informationsutbyte lyfts även här behovet av standardisering av dataformat (Apeh och Abdul Rahman, 2023).

Vidare så lyfter Apeh och Abdul Rahman (2022) vikten av samordning till följd av ökad undermarksexploatering. I och med en allt mer tätbebyggd markyta flyttas allt från kablar och ledningar till transportutrymmen och förvaring under marken. De lyfter också värdet i att länka samman information från olika skikt och områden, särskilt då många undermarksanläggningar är nära sammankopplade med infrastruktur över mark (Apeh och Abdul Rahman, 2023).

## 6.1 Visualiseringsexempel

Nedan presenteras två internationella exempel från samhällsbyggnadsbranschen, där undermarksdata står i fokus.

### 6.1.1 Silvertown Road Tunnel

För att bidra till utvecklingen av visualisering av undermarksdata i byggprojekt har företaget Atkins deltagit i och analyserat ett tunnelprojekt, Silvertown Road Tunnel i London (Morin, 2016). I projektet har företaget analyserat hur olika verktyg kan kombineras för att skapa en 3D-modell av undermarken. Målet är att skapa en modell för att minska kostnader och risker för byggprojekt (Morin, 2016).

Projektet handlar om att planera en ny vägtunnel mellan Silvertown och North Greenwich under Themsen i London. Det finns många utmaningar i det planerade området, bland annat ett gammalt gasverk vid södra delen av tunneln som lett till förorenad mark (Morin, 2016).

För att effektivisera projektet insåg Atkins att de behövde ett bättre sätt att visualisera och förstå det aktuella området. Detta gjordes genom att de använde sig av befintligt information från historiska kartor och undersökningar som nyligen genomförts. Företaget valde att dela upp processen i två steg, samla den existerande informationen i ett geotekniskt datahanteringssystem, samtidigt som de utvecklade en markmodell i

3D för området. De två stegen sattes sedan ihop med syftet att genom hela processen kunna på ett effektivt sätt förbättra den geotekniska datan och modellen (Morin, 2016).

Projektet visade på många fördelar med att visualisera datan i 3D, så som en bättre förståelse för området och möjliga utmaningar i projektet. Genom att effektivisera arbetsprocessen sparade de även tid och kostnader på att uppdatera datan (Morin, 2016).

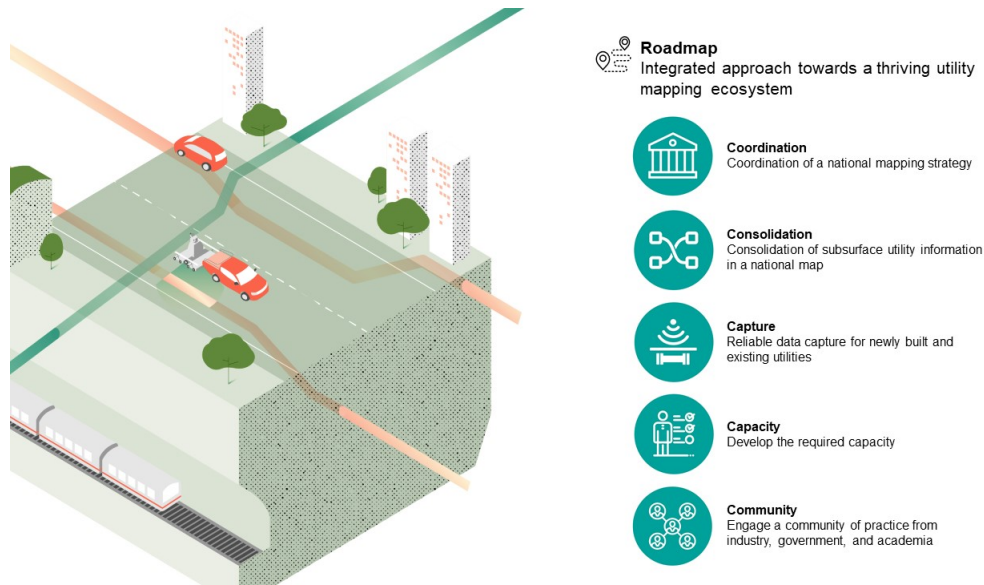
### **6.1.2 The Digital Underground project**

The Digital Underground project är ett initiativ i Singapore med syfte att framställa en pålitlig digital tvilling för undermarkskonstruktioner i Singapore. Då Singapore är ett land med begränsad bebyggbar markyta, letar de efter nya lösningar för att tillgodose det ständigt växande behovet. Därmed har landet startat flera initiativ för en effektiviserad markanvändning, en av dessa initiativ är att undersöka hur undermarken kan användas för framtida projekt. För detta steget är det viktigt med en aktuell och noggrann kartläggning av allmännyttig infrastruktur under marken. Projektet strävar efter att framställa en 3D-databas som samordnar all information om alla undermarks-konstruktioner, som uppdateras kontinuerligt. Projektet förväntas bidra till en bättre markanvändning både över och under marken samt mer tid- och kostnadseffektiva byggprojekt (Singapore-ETH Centre, 2022).

Projektet är ett samarbete mellan Singapore Land Authority, Singapore-ETH Centre (SEC), Zürich. Projektledaren belyser att Singapores behov att planera undermarken skiljer sig mycket från behovet i västeuropa och nordamerika som främst behöver undermarkskartor för att minska spatiala kollisioner. Singapores behov är däremot präglad av bristen på mark och behovet att effektivt kunna använda undermarken (GW Prime, 2021).

Första fasen av projektet avslutades 2019 med lanseringen av ett antal strategier och rekommendationer för att stödja framtagningen av pålitliga undermarkskartor i landet, se figur 6.1. Andra fasen, som avslutades 2021, syftade på att etablera en grund för en hållbar kartläggning genom hela processen. Den tredje fasen förväntas avslutas 2023 och har som syfte att använda de tidigare framtagna rekommendationerna för att utvärdera och förbättra dem (GW Prime, 2021).





**Figur 6.1:** Rekommendationerna framtagna i första fasen av The Digital Underground Project, från Singapore-ETH Centre (2022).

## 6.2 GeoBIM-konceptet

Med avstamp i de utmaningar som projektörer står inför i sitt arbete med undermarksdata startades projektet GeoBIM. Projektet och utvecklingen av konceptet består av ett samarbete mellan Tyréns och KTH och drivs under det övergripande projektet TRUST (Transparent Underground Structures). Projektets syfte är att överbygga de bristande kommunikationsmöjligheter som tidigare har begränsat utbytet av information mellan olika aktörer inom en byggprocess (Svensson, 2016).

GeoBIM-konceptet har utvecklats för att kunna hantera datamängder från större infrastrukturprojekt. Denna typ av projekt kan ha uppemot 100 olika typer av datainsamling och ett stort antal olika format. GeoBIM har utvecklats för att dessa data ska kunna samköras i en och samma modell, med all den geotekniska information som tillhör ett projekt tillgänglig och visualiserbar för alla aktörer som kan dra nytta av detta (Svensson, 2016).

Utöver visualisering av själva modellen så utvecklas kontinuerligt geostatistiska modeller för att kunna visualisera och därmed tydliggöra osäkerheter i de geomodeller som tas fram. Genom att visa på osäkerheter och var modeller är som svagast blir det lättare att planera var vidare undersökningar och provtagningar behöver göras, samt att det blir tydligare var i projektet det kan behövas mer utrymme i både tid och budget för att hantera oförutsedda problem (Svensson och Friberg, 2017).

## 6.3 Integrering av undermarksdata i BIM-modeller

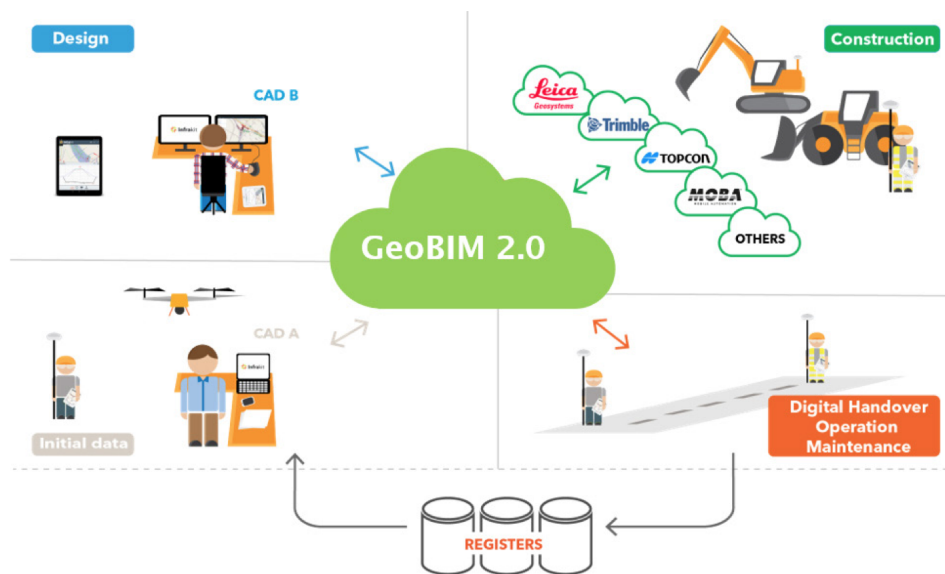
Utvecklingen av molnbaserade databastjänster har gått så pass långt att hela kedjan från fältinventering till visualisering nu är helt digitaliserad i många projekt. Det huvudsakliga utvecklingsområdet rör hur den geotekniska information som har samlats in och bearbetats ska kunna tas med till senare delar av projekteringen. Dagens standard för slutlig leverans vid byggprojekt är 3D-modeller som är BIM-kompatibla. Detta betyder att modellerna innehåller informationsbärande objekt, och att informationen kan användas och uppdateras under ett byggnadsverks hela livslängd (Svensson och Friberg, 2019b).

### 6.3.1 BIM-kompatibilitet

Med BIM-kompatibilitet menas här att objekten utöver data som rör till exempel storlek och position har utökade metadata som klassificerar objekten, något som i Sverige ska ske i enlighet med systemet CoClass. Detta är ett system som utvecklats av Svensk Byggtjänst, i linje med den internationella standarden ISO 12006-2 för klassificering av byggd miljö (Svensk Byggtjänst, 2016). ISO 12006-2 uppdaterades år 2015 för att bättre kunna användas vid digital modellering, vilket medförde att det tidigare svenska systemet BSAB 96 också behövde en uppdatering. Genom ett standardiserat klassificeringssystem underlättas byggandet av digitala modeller såväl som överföring av data mellan olika aktörer. Dessutom öppnar det upp för att länka samman objekt med egenskaper och därmed utöka den mängd information som går att lagra i en digital modell (Svensk Byggtjänst, 2016).

Då undermarksobjekt initialt inte behandlades i CoClass saknades det möjlighet att på ett smidigt sätt infoga undermarksinformation i de BIM-modeller som produceras vid till exempel infrastrukturprojekt. För att informationen ska komma till nytta krävdes det då att datan manuellt lades till och anpassades för att kunna tolkas som en del av projektet. Här såg flera aktörer möjlighet till utveckling för att effektivisera och automatisera hur data behandlas och överförs för att komma till nytta i alla delar av projektet. Ett sätt att göra detta var att utöka CoClass med möjligheten att också klassificera undermarksobjekt, då inkluderat allt från resultat från provtagningar till geokonstruktioner (Svensson och Friberg, 2019a).

Här är målsättningen att GeoBIM-databasen ska kunna användas i alla delar av projekt, genom kontinuerligt utbyte och uppdaterande av data. Nyttillagda provtagningar ska kunna uppdatera modeller och överlämnande mellan aktörer även mitt under pågående processer ska kunna ske utan att information går förlorad. Detta illustreras i figur 6.2.

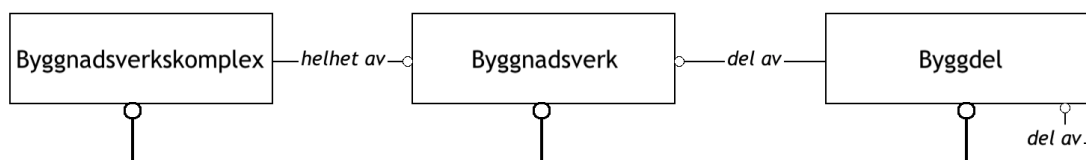


**Figur 6.2:** Målbild för användning av GeoBIM, från Svensson och Friberg (2019a).

### 6.3.2 CoClass för undermarksobjekt

Friberg och Svensson (2020) har presenterat ett förslag till koder för undermarksobjekt som följer samma struktur som CoClass (Svensson och Friberg, 2020). Syftet med detta är att geotekniska objekt och modeller lättare ska kunna integreras i BIM-modeller, för att undermarken i framtida bygg- och infrastrukturprojekt inte ska hamna i skymundan till följd av bristande datahantering. Resultat från pilotstudier med ett begränsat antal koder presenterades redan 2019, som en del av vidareutvecklingen av GeoBIM-konceptet (Svensson och Friberg, 2019a).

För att de föreslagna koderna ska vara kompatibla med CoClass och därmed också kunna användas i BIM måste de följa den hierarkiska struktur som har arbetats fram för CoClass. Detta betyder att varje enskilt objekt, genom en följd av underklasser, tillhör en mer övergripande kategori som till exempel en byggnad, se figur 6.3. För undermarken skapas ett nytt konstruktivt system i CoClass, där undermarken definieras som “bärverk av geologiska, hydrologiska och konstruerade formationer under markytan” (Svensson och Friberg, 2020).



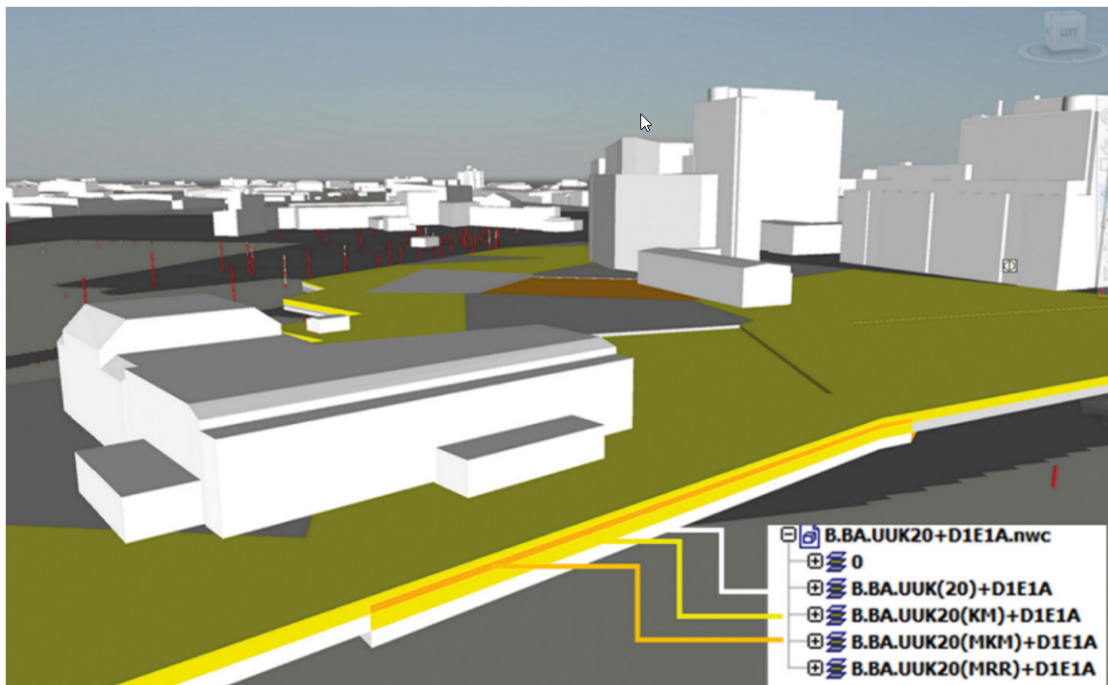
**Figur 6.3:** CoClass hierarkiska struktur, tolkad från Svensson och Friberg (2020).

Inom CoClass betecknas undermarken BA, som är en underklass till det konstruktiva systemet B (Bärverk). Vidare så delas undermarksinformationen in tre klasser av komponenter, se lista nedan för beteckning och definition.

- **U\_ Hållande objekt**
  - UU\_ Befintlig mark - befintliga fysiska objekt i undermarken
- **Z\_ Objekt för utformning, referensobjekt, och inmätt objekt**
  - ZG\_ Terrängmodell - objekt för utformning av undermarken
  - ZH\_ Geoteknikrelaterat undersökningsobjekt - objekt för undersökningar planerade eller gjorda i undermarken

Tabeller med koder för undermarksobjekt finns presenterade i bilaga A. Tillgången till CoClass-kompatibla koder möjliggör infogandet av undermarksdata i modeller som tidigare främst har behandlat övermarksinformation. Kodsättningen i CoClass öppnar därmed för enklare och vidare samordning (Svensson och Friberg, 2020). I samband med framtagandet av dessa koder har de testats i ett antal pilotprojekt. Ett av dessa är utvecklingen av området Nyhamnen i Malmö. Det är ett omfattande stadsutvecklingsprojekt och genomförs etappvis. Projektet har redan påbörjats och den sista etappen beräknas pågå under åren 2040-2050 (Malmö Stad, uå).

CoClass för undermarksdata har i projekteringen av Nyhamnen använts för att undersöka möjligheterna att visualisera föroreningsvolym. I en samordningsmodell har Naturvårdsverkets riktvärden för förorenad mark använts för att klassificera de jordvolymen där mätvärden överstiger riktvärdena, se figur 6.4. Dessa har sedan visualiserats i olikfärgade lager, där varje lager är kopplat till den kod som överensstämmer med den typ av objekt som visas (Svensson och Friberg, 2020).



**Figur 6.4:** Nyhamnen etapp 1, med föroreningsvolymen klassificerade enligt CoClass, från Svensson och Friberg (2020).

Användandet av dessa koder ger undermarkens objekt en inbördes ordning och logik som gör informationen tillgängligare i projektets alla delar. Det standardiserade

formatet medför dessutom att möjligheterna att överföra och visualisera projektdatan blir verktygsberoende. Detta ses som en fördel framförallt i större projekt som pågår under många år, då både verktyg och involverade aktörer väntas variera under processens gång (Svensson och Friberg, 2020).

**Del III**  
Fallstudie

# 7 Bakgrund till fallstudie

Det första syftet med fallstudien är att få en inblick i hur undermarksdata hanteras och visualiseras i praktiken. Denna kunskap tillsammans med den teoretiska bakgrunden används för att skapa det kartmaterial som är fallstudiens andra syfte. Det tredje och huvudsakliga syftet med fallstudien är att ta fram en rekommenderad specifikation för visualisering av geokonstruktioner och geotekniska data.

## 7.1 Disposition

Genom att intervjua personer från olika teknikområden på Tyréns fångas flera perspektiv upp. För att skapa en bredare bild har även en intervju med en anställd på SGI genomförts. Tillsammans utgör dessa intervjuer grunden till en nulägesbeskrivning, som presenteras i kapitel 8. Nulägesbeskrivningen tillsammans med litteraturstudien gör att problemområden kan identifieras och förbättringsåtgärder föreslås.

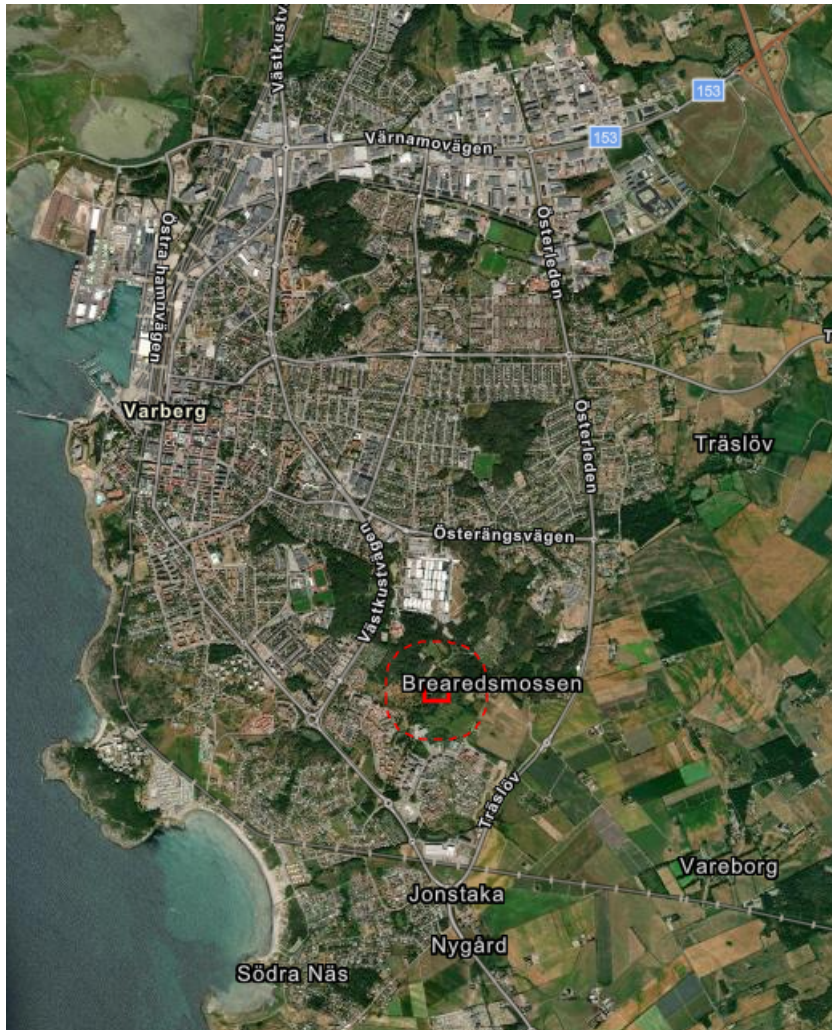
De behov som framkommit i litteraturstudien och intervjuerna för att undermarksdata ska kunna visualiseras och användas på ett effektivare sätt presenteras i kravsammanställningen, i kapitel 9. Sammanställningen ligger till grund för arbetets praktiska del, som innefattar framtagandet av visuellt material. Arbetsprocessen dokumenteras i kapitel 10.

Det praktiska arbetet lägger grunden för rapportens resultat, som är ett förslag till en områdesöverskridande, gemensam specifikation för visualisering av geokonstruktioner och geotekniska data. Denna tas fram genom att väga de vanligast förekommande visualiseringsstandarderna inom varje teknikområde mot de kartografiska principer som undersöks i litteraturstudien, och presenteras i kapitel 13.

## 7.2 Studieområde

Visualiseringsarbetet har gjorts utifrån ett av Tyréns testprojekt. Det område som studerats är ungefär 2 ha stort och beläget i sydöstra Varberg, se figur 7.1. Konstruktionerna i området är tagna från flera olika projekt på Tyréns. De har flyttats till området på kartan för att det ska vara möjligt att se ett mindre område med olika typer av konstruktioner vid testprojekt.





**Figur 7.1:** Ortofoto för att ge en överblick över studieområdets läge, den streckade ringen markerar valideringsområdet medan rektangeln i mitten markerar undersökningsområdet.

## 7.3 Data

Testdata för det praktiska arbetet har tillhandahållits av Tyréns. Det rör sig huvudsakligen om ett tidigare projekt inom vilket geotekniska data har samlats in. Dessa data innefattar bland annat hydrogeologiska undersökningar, bergsondering, och andra provtagningar. Datamängden har sedan utökats med objekt i form av geokonstruktioner, som är flyttade från ett annat projekt. De objekt som valts ut är olika typer av pålar och brunnar, K/C-pelare, samt spont med tillhörande stag. Det möjliggör för samordnad visualisering av information från olika teknikområden. Utöver detta finns en grundläggande höjdmodell, och modelleringsunderlag för osäkerhetsbedömning baserat på de geotekniska undersökningar som genomförts.

De objekt som vi fokuserar på i testdatan är:

- Betongpålar (cirkulära och kvadratiska)
- Kalkcementpelare (K/C-pelare)



- Energibrunnar
- Spont
- Stag
- Påldäck
- Geotekniska undersökningspunkter

De undersökningspunkter som använts inom geoteknik är olika typer av sonderingar, undersökningspunkter, provtagningar och borrhål.

Varje objekt innehåller objektspecifik information som till exempel: ID, längd, djup, riktning och lutning. Inom området visas också höjdkurvor, geotekniska undersökningspunkter med provtagnings-ID, och etappindelning. Esris Imagery Hybrid utgör bakgrundskartan.

## 7.4 Verktyg

Nedan beskrivs de programvaror som använts inom fallstudien.

### 7.4.1 Program för visualisering

#### **ArcGIS Pro**

ArcGIS Pro är en GIS-applikation utvecklad av Esri. Programmet används vanligen för genomförande av geografiska analyser och visualiseringar i både 2D och 3D.

#### **ArcGIS Portal**

ArcGIS Portal är en webbaserad plattform där data och kartmaterial kan skapas, laddas upp, lagras, och delas inom en organisation (Esri, 2023b). Plattformen erbjuder viss möjlighet till geografisk analys och framtagande av specifik symbolisering och visuell utformning, men har en mer begränsad funktionalitet än ArcGIS Pro.

### 7.4.2 Övriga program och tekniska hjälpmedel

#### **FME**

Feature Manipulation Engine (FME) är en programvara skapad av Safe Software som används för att bearbeta geografisk information. Programvaran gör det möjligt att komprimera flera led av operationer, vilket förenklar hanteringen av stora mängder

data. Exempel på operationer man kan göra i FME är byta koordinatsystem, byta filformat samt genomföra statistiska beräkningar. FME stödjer över 450 olika format (Safe, uå).

FME kan även användas för att ta fram mallar, inom programmet kallade workspaces, som kan återanvändas till nya datamängder som ska transformeras enligt samma metod. Ett FME workspace kan därmed ses som ett steg i en automatiseringsprocess, då det medför en minskning av antalet steg som krävs varje gång data ska transformeras och visualiseras.

## **Inkscape**

Inkscape är ett öppet källkodsprogram för skapande av vektorgrafik, och användes under examensarbetet för att skapa egna symboler att använda vid visualisering av punktsymboler. Programmet tillåter skapande av vektorgrafik mot både fylld och transparent bakgrund, och skapar filer i SVG-format med möjlighet att från programmet också exportera till bland annat PNG (Inkscape, uå).

## 8 Intervjuer om nuläget

För att ta fram en kravsammanställning har det genomförts fem intervjuer. Fyra av intervjuerna har varit med anställda på Tyréns, varav två arbetar med miljögeoteknik och två arbetar med geoteknik och geokonstruktioner. En sammanställning av intervju svaren från Tyréns presenteras i avsnitt 8.1. Den sista intervjun genomfördes med en anställd på SGI för att få ett bredare perspektiv på problemet, denna presenteras i avsnitt 8.2. Tillsammans utgör de sammanställda intervjuerna en nulägesbeskrivning av hur undermarksdata används idag, samt hur användningen kan förbättras och effektiviseras med fokus på visualisering. Intervjufrågorna har tagits fram i samarbete med handledare på Tyréns för att säkerställa att ett branschspecifikt perspektiv på visualiseringsfrågor fångas upp. I avsnitt 8.3 sammanfattas åsikter om samgranskning som fångats upp i intervjuerna.

### 8.1 Sammanställning av intervjuer med Tyréns anställda

De två personer som intervjuades inom miljögeoteknik är David Hagerberg, Senior Miljögeotekniker fil. dr Ekologi och Pontus Eneberg som är Miljögeotekniker. Inom geoteknik och geokonstruktioner intervjuades Mattias Lindén, som är Senior Geotekniker, fil. dr Geologi, och Magnus Andersson, som är Geotekniker.

#### Arbetsgång

Arbetsgången för de olika teknikområdena börjar på liknande sätt. Insamling av data planeras och loggas i FieldMap. Den information som samlas in eller är relevant varierar beroende på teknikområde, geotekniker fokuserar på till exempel jordlagerföljd och djup till berg eller fast mark, medan miljögeotekniker framförallt är intresserade av föroreningshalter.

#### Vilka typer av kartor/kartmaterial använder du i ditt arbete?

Återkommande i intervju svaren var att SGUs jordartskarta användes som bakgrundsinformation av flera teknikområden. Annat kartmaterial från SGU som till exempel jorrdjupskartan nämns som möjliga hjälpmedel. Vid visualisering av 2D-objekt används ofta ortofoto som bakgrundskarta. Även Lantmäteriets tjänst Min Karta kan komma till användning för att se äldre kartmaterial och få en historisk kontext av området, till exempel kan tjänsten visa var det funnits vattendrag eller var en väg varit dragen. Geoteknik vill kunna se markyta och bergöveryta i 3D.

Internt på Tyréns levereras material ofta i 3D. Det används då inte bara som visuellt stöd utan modellerna kan användas som beslutsunderlag vid planering och projektering.

Till kund levereras material oftast i 2D, med vissa undantag. En nackdel med 3D-leverans är att det ställer krav på mottagaren för att resultatet ska bli användbart, och de gånger det efterfrågas används det mest till visuellt stöd, detta särskilt för teknikområdet miljögeoteknik. För geoteknik/geokonstruktioner kan det hända att 3D-modeller efterfrågas, och då levereras detta enligt de specifikationer som kunden efterfrågar.

### **Vad används de olika kartorna/modellerna till?**

Beroende på teknikområde används modellerna till lite olika syften. Miljögeoteknik tar fram modeller över förorenade områden som sedan används som beslutsunderlag vid planering, och för att beräkna kostnader för sanering. Detta kan användas av projektörer såväl som internt av andra teknikområden.

Modeller framtagna av geoteknikområdet används även de för planering och kostnadsberäkning, men fokus ligger istället på bärighet, möjliga förstärkningsåtgärder, eller beräkning av schaktmassor.

Material från alla teknikområden kan användas som underlag vid möten då BIM-samordnare tänder och släcker lager eller plockar fram det material som ska visas. Däremot är det sällan material från flera teknikområden visas samtidigt i samma modell.

### **Om vi tar fram en specifikation, vem bör den vara anpassad efter? Hur avancerad bör den vara?**

Det genomgående temat kring standarder och specifikationer är att det finns behov av tydligare ramverk och indelningar i huvudgrupper med bestämda visualiseringsmetoder. Däremot anser alla tillfrågade att det finns behov av flexibilitet inom dessa huvudgrupper, så att material kan anpassas efter projekt och behov. Med detta menas att de vill ha möjlighet till olika detaljnivåer inom olika områden.

## Finns det någon standard (inom branschen, officiell, intern, personlig?) på hur de olika objekten brukar visualiseras i 2D? I 3D?

Se tabell 8.1 nedan. Gemensamt för de standarder som identifierats är att de är etablerade inom branschen eller inom det teknikområde de gäller för.

**Tabell 8.1:** Sammanställning standarder.

Objektstyp	Färg/symbol	Teknikområde
Undersökningspunkter 2D	SGF symbol samt provtagnings-ID i text.	Alla
Undersökningspunkter 3D	Cylinder färgsatt enligt SGU.	Geoteknik
Jordlager	Ungefär SGU, men möjligt att det anpassas efter projekt.	Alla
Föroreningar i mark	Färgskala grönt till rött.	Miljögeoteknik
Geokonstruktioner 2D	Cirkel för KC-pelare enligt SGF.	Geoteknik
Geokonstruktioner 3D	Färg varierar, bestäms antingen av BIM-samordnare eller beställare (Trafikverket har egna standarder). Form enligt hur de ser ut i verkligheten med vissa förenklingar.	Geoteknik

## Vilka färger associerar du med de olika objekten?

De intervjuade från miljögeoteknik associerar visualiseringen av förorenade områden med en skala från rött till grönt. Utöver det associerar David Hagerberg transparent grått med bergövertyta, transparent brunt med markyta och transparent blått med vattendrag. Geotekniker och de som arbetar med geokonstruktioner associerar rött med berg, gult med underkant lera eller underkant lös mark, brunt med torrskorpa och brungrått med fyllning.

## Vad är viktigt i en 3D-karta?

Alla tillfrågade anser att det viktigaste i en 3D karta är att informationen är lätt att förstå och framgår tydligt. De är även överens om att det är viktigt att informationen kommer in från alla ställen. Det bör läggas en del eftertanke i färgval och transparens för att informationen ska framgå tydligt. Geokonstruktioner framhäver även att olika typer av symboler behöver kunna visualiseras på ett tydligt sätt. Ett exempel som lyfts är energibrunnar i 3D-kartor som behöver en tydligare visualisering.

**Vilken information behöver kunna hämtas direkt ur kartan? Text/symbol?  
Vilken information är viktigast på dessa kartor?**

Alla discipliner är eniga om att den enda informationen som behöver kunna hämtas från kartan är vilket provtagnings-ID de olika objekten har. Detta är framförallt viktigt i 2D-kartor och kan bli lite rörigt i 3D-kartor. Utöver detta anser alla intervjuade att informationen beror helt på ändamålet.

## **8.2 Sammanställning av intervjuer med SGI-anställd**

Jim Hedfors är Naturgeograf/GIS-ingenjör, fil. dr arbetar på SGIs huvudkontor som enhetsansvarig för enheten Geodata. Enheten sysslar med en mängd olika arbetsuppgifter, de tar till exempel fram kartor som används vid planering av förebyggande åtgärder för ras och skred, och samarbetar med MSB kring kartläggning av översvämningar.

**Hur arbetar ni med att tillgängliggöra geodata?**

SGI ingår i ett samarbete mellan flera myndigheter som jobbar för geodatasamverkan. Projektet startade 2011 och drivs av Lantmäteriet, innan detta var information om geodata mer svårtillgänglig. En av produkterna från projektet har varit Lantmäteriets geodataportal där geodatan är tillgänglig för alla. Det finns även Branschens Geotekniska Arkiv (BGA) som är ett sätt för SGI att synliggöra data om markundersökningar. SGI har även sin egen hemsida där det finns en mängd olika kartor, till exempel skredrisken i ett område.

**Används 2D eller 3D, eller båda?**

SGI använder sig framförallt av 2D vid visualisering och delning av data. Även om 3D-visualiseringar har sina fördelar kan det ställa för höga krav på att mottagaren har vissa mjukvaror och kunskaper vid delning av datan.

**Finns det någon standard (inom branschen, officiell, intern, personlig?) på hur de olika objekten brukar visualiseras i 2D? I 3D?**

Inom borrhålsdata används SGF. Mycket inom SGIs arbete handlar om förorenade områden, till exempel PFAS, tungmetaller eller olika kemiska egenskaper, här finns ingen standard för de stora mängder data som ska visas. Symbolisering av dessa typer av data beror ofta på de data de ska visas tillsammans med, för att det ska få en tydlig kontrast. Det finns vissa interna standarder för till exempel färger och intervall för lutningskartor för markytor, färger för riskkartor och färgskalor för konsekvenskartor.

Då det finns flera myndigheter som visualiserar sina data i kartor är det viktigt att dessa samordnar sin symbolisering. Behovet av harmonisering av geodata är något som märkts tydligt på GIS-avdelningen, detta är nödvändigt för att kunna kombinera data från olika källor eller myndigheter på ett effektivt sätt. Det pågår för nuvarande ett arbete för harmonisering av datan, en nationell standard för visualisering är dock långt borta.

### **Om vi tar fram en specifikation, vem bör den vara anpassad efter? Hur avancerad bör den vara?**

Vid framtagning av en standard är det viktigt att ha en viss flexibilitet för att kunna utveckla eller ändra de symboler som valts, flexibilitet är även viktigt för att testa nya bättre verktyg eller andra data. Det är bra att fokusera på att sätta ramar på de symboler som behövs, vilken information behöver kunna kategoriseras och visas. Med allt för specifik indelning krävs det så många färger och symboler att resultatet blir en helt oläslig karta eller modell. SGU har till exempel jobbat med att tematisera jordartskartan från 180 kategorier till ca 70 till ännu färre. På detta sättet kan användaren eller kartskaparen använda de kategorier som passar bäst för kartans ändamål och betraktare. Fokusera på det viktiga i kartan, lägg inte till för mycket bakgrundsinformation som rör till det.

### **Vad är viktigt i en 3D-karta?**

Det som är viktigast i en 3D-karta beror helt på ändamålet med kartan. SGI skapar en del GeoKalkyler som används som kommunikationsverktyg för att beräkna kostnaderna av en planerad bebyggelse. I dessa modeller är det viktigt att det framgår var det finns fast mark, detta visas som en yta samt pålar/pållängder som visar hur långt ner pålarna måste gå. Föreningar kan till exempel visas som färgkodade cylindrar i borrhål, höga nivåer kan visualiseras med större radier. Profiler för säkerhetsfaktorer kan visas med olika färger för olika faktorer.

### **Vilken information behöver kunna hämtas direkt ur kartan? Text/symbol?**

Det viktigaste i kartan är att visa vilket referenssystem som används, detta är extra viktigt i kartor där information från flera källor används för att allt ska hamna på rätt plats. Skriv även vilken noggrannhet positioneringen är i, det kan vara klokt att begränsa förmågan att zooma då många överskattar noggrannheten i positioneringen av kartobjekt. Noggrannhet behöver också kunna symboliseras. SGI använder sig av en gemensam bas för flera olika arbetsroller, denna innehåller bland annat en laserskannad terrängmodell, jordartskartan med ytjordarter, SGUs jorrdjupsmodell, dimensionerade flöden från MSB och kulturvärden från riksantikvarieämbetet.

## 8.3 Samgranskning

Återkommande i intervjustvaren är ett önskemål om möjlighet till samgranskning, under förutsättningen att det fortfarande går att tända och släcka lager. Den fördel som ses med samgranskning är hur det underlättar för kommunikation vid de olika skedena i en planerings- och byggprocess. Genom att fatta beslut utifrån en mer komplett modell minskar risken för informationsförluster och det kan bli lättare att planera såväl åtgärder som kostnader.

Den allmänna uppfattningen är däremot att ett visuellt underlag för samgranskning är ett verktyg som framförallt fyller ett syfte i ett planeringsstadium. En modell innehållande information från ett flertal teknikområden riskerar att bli rörig och svårläst, vilket gör att den inte lämpar sig som till exempel leverans till kund. Istället blir den som mest användbar i form av en flexibel modell som kan manipuleras för att visa relevant information i de lägen som behövs.



# 9 Kravsammanställning för visualisering

## 9.1 Krav för visualisering av undermarksdata

Kravsammanställningen delas in i ett antal kategorier. Först presenteras de allmänna kraven, *A*, som är baserade dels på litteraturstudien och dels på återkommande teman i intervjuerna. Därmed gäller dessa krav för de båda teknikområdena som undersökts närmare, det vill säga geoteknik och geokonstruktioner. Därefter presenteras krav från varje teknikområde. Kategori *GT* sammanfattar krav och önskemål som lyfts i intervjuer gällande geotekniska data. Under kategori *GK* presenteras de specifika behov som finns vid visualisering av geokonstruktioner.

Slutligen sammanställs detta till en kravsammanställning, i avsnitt 9.2. Där delas kraven upp i absoluta och önskvärda krav. Sammanställningen lägger grund för det kartmaterial som tas fram under fallstudiens gång.

### 9.1.1 Allmän kravsammanställning

#### A.1 Interaktionsmöjligheter

Möjlighet för användaren att kunna tända och släcka lager samt välja vilken information som ska presenteras i kartan. Detta är viktigt för att användaren ska kunna anpassa informationen efter rätt ändamål. Kartan ska kunna vara både översiktlig och detaljrik beroende på inzoomning och vilka lager som är tända.

#### A.2 Georeferering

Data som laddas in ska ha en korrekt geografisk position där koordinatsystem och skala framgår tydligt. Då informationen i kartan ofta hämtas från olika ställen är det viktigt att det framgår vilket koordinatsystem de olika objekten har. Om detta inte framgår uppstår problem om de skulle finnas olika koordinatsystem för objekt i samma modell.

#### A.3 Tydlighet

Symboler och textsättning ska vara visualiserade så att de är lätta att urskilja och tolka. Genom väl utformad färgsättning och symbolval ska symbolerna vara lätta att urskilja både från varandra och från bakgrundsinformation i kartan, till exempel ett ortofoto. Symbolerna bör utformas så de visuella variablerna som finns beskrivna i avsnitt 5.1.2 uppfylls.

#### A.4 Begränsad bakgrundsinformation

För att den utvalda informationen ska kunna framgå på ett tydligt sätt måste bakgrundsinformation begränsas till det mest nödvändiga. Som bakgrund bör ett ortofoto användas.

### A.5 **Enhetlighet**

Kartans symboler ska visualiseras på ett enhetligt sätt. För att en föreslagen specifikation ska bli användbar måste den kunna tillämpas på ett enhetligt sätt oberoende av projekt eller användare.

### A.6 **Transparens**

I 3D-kartor ska transparensgraden på objekt sättas till en nivå som avväger objektets synlighet mot kartans läsbarhet. För att kunna se objektet kan kanterna betonas med en lägre transparensgrad. För att förbättra tydligheten kan transparensgraden sänkas när användaren klickar på objektet.

### A.7 **Provtagnings-ID**

Krav från alla teknikområden om att den enda informationen som måste kunna hämtas direkt ur kartan är provtagnings-ID, detta gäller framförallt i 2D-kartor.

### A.8 **Samgranskning**

Alla teknikområden uttrycker önskemål om möjlighet till samgranskning mellan de olika teknikområdena, under förutsättningen att det fortfarande går att tända och släcka lager.

## 9.1.2 **Kravsammanställning geoteknik**

### GT.1 **Etablerade standarder**

Användning av etablerade standarder där det är möjligt, till exempel SGFs symboler för provtagning och sondering. Exempel på dessa kan ses i figur 5.1. Om jordlagerföljder från provtagning ska visas bör färger från SGUs jordartskarta användas.

### GT.2 **Standardiserade huvudkategorier**

Det behövs ett tydligare ramverk för hur olika huvudkategorier visualiseras. Inom huvudkategorierna behöver det dock finnas utrymme för anpassad visualisering.

## 9.1.3 **Kravsammanställning geokonstruktioner**

### GK.1 **Tydliga objekt**

Olika typer av konstruktioner ska visualiseras på ett tydligt sätt, och det ska vara möjligt att skilja objekten från varandra. Detta bör göras per objektstyp. Till exempel kan en generell strategi tas fram för visualisering av pålar, som sedan anpassas efter påltyp, material, och infästningsmetod, från projekt till projekt. Detsamma gäller övriga geokonstruktioner. Under intervjuer har det lyfts att energibrunnar i 3D behöver visualiseras tydligare.

### GK.2 **Lutning på objekt under mark**

Objekt under mark har ibland en lutning i förhållande till markytan. Detta bör kunna visas, och framförallt i vilken riktning objekten lutar, även på en 2D-karta.

## 9.2 Kravsammanställning

De krav som lyfts av de olika teknikområdena, samt de allmänna krav som har identifierats, har i tabell 9.1 sammanställts och delats upp enligt kategorierna krav och önskemål. Uppdelning har gjorts enligt vår bedömning. Denna baseras på en avvägning av teman som lyfts i intervjuerna och kartografiska aspekter som tagits upp i litteraturstudien av vad som är mest relevant för en tydlig visualisering som väger olika teknikområdens intressen mot varandra.

**Tabell 9.1:** Sammanställning av krav som identifierats, uppdelat på krav och önskemål.

Krav	Önskemål
A.1 Interaktionsmöjligheter	A.4 Begränsad bakgrundsinformation
A.2 Georeferering	A.6 Transparens
A.3 Tydlighet	A.8 Samgranskning
A.5 Enhetlighet	GT.1 Etablerade standarder
A.7 Provtagnings-ID	GT.2 Standardiserade huvudkategorier
	GK.1 Tydliga objekt
	GK.2 Lutning på objekt under mark

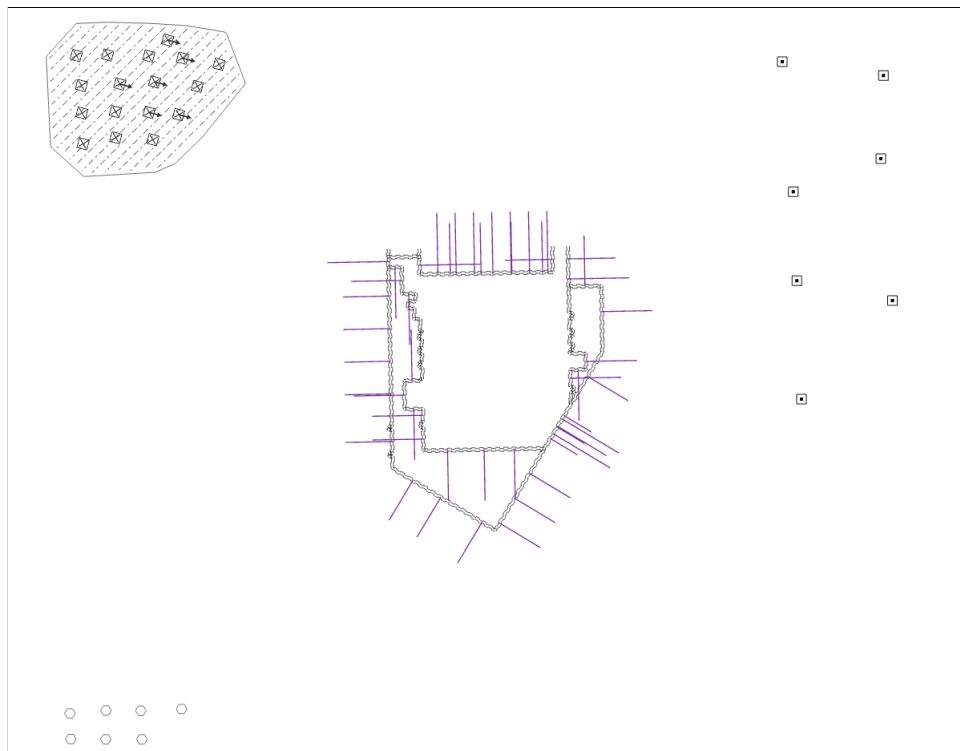
Kraven är de som har förekommit i flertalet intervjuer, som också stämmer överens med faktorer som har lyfts inom litteraturstudien kring kartografiska principer. Utöver krav A.7, som härrör direkt från intervjuerna, är kraven så pass generella att de framförallt utgör riktlinjer att ha i åtanke vid framtagande av det visuella underlaget. Önskemålen arbetas in i den mån som anses möjligt, samt används till avvägningar mellan de olika teknikområdenas intressen.

# 10 Framtagning av kartmaterial

I det här kapitlet beskrivs arbetsgången för framtagande av kartmaterial utifrån kravsammanställningen. Först beskrivs hur datan har gjorts tillgänglig och laddats in i ArcGIS Portal och ArcGIS Pro. Därefter beskrivs arbetsgången för visualisering av datan i 2D respektive 3D.

## 10.1 Visualisering i 2D

Visualisering i 2D har tagits fram i två versioner. En första utformning gjordes i ArcGIS Pro, se figur 10.1. Därefter anpassades materialet till webbmiljön ArcGIS Portal. En första version på visualisering i ArcGIS Portal kan ses i figur 10.2.



**Figur 10.1:** Förslag på visualisering av geokonstruktioner.

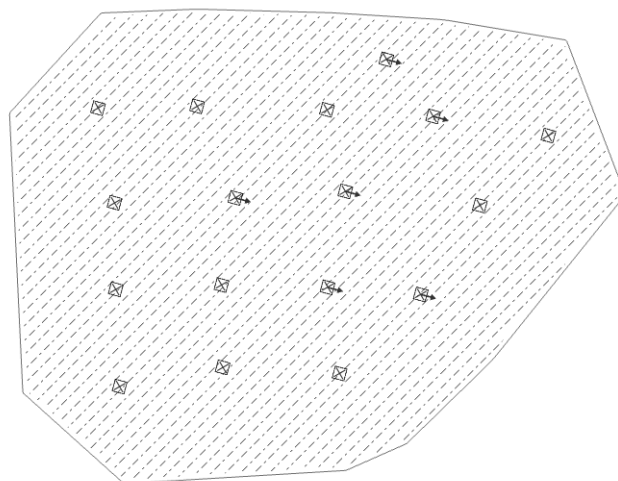


**Figur 10.2:** Delresultat på visualisering av geokonstruktioner i webbkarta.

## Pålar

I SGFs sammanställda beteckningssystem finns symbolik för olika typer av pålar. En första plan var därför att utnyttja detta system, eftersom SGFs symboler för bland annat undersökningspunkter redan är en etablerad standard. Pålar ingår inom beteckningssystemet som grundläggningsåtgärder vilka enligt SGF visualiseras i form av raster, alltså ytor. Därför visade det sig vara svårt att basera symbolik för enskilda pålar på detta.

Istället hämtades inspiration från ett tidigare projekt från en ritning som levererades av Peab, där varje påle visas som en genomkryssad kvadrat. Ritningen finns i anonymiserad version i bilaga B. Utöver att symbolen inte krockar med övriga symboler ur SGFs beteckningssystem gör formen det möjligt att också visa vilken riktning en påle lutar åt, förutsatt att den inte är vertikal. Detta förtydligas i vårt förslag med en pil i den riktning som pålen lutar, i enlighet men den visuella variabeln orientering. En påle utan lutning visas utan pil. Detta genomfördes med hjälp av en anpassad formatering baserad på ett uttryck i Arcade, ett språk som utvecklats särskilt för att anpassa innehåll inom ArcGIS-miljöer (Esri, 2023a). Ett första förslag på visualisering av pålar och påldäck, framtaget i ArcGIS Pro, kan ses i figur 10.3.



**Figur 10.3:** Förslag för visualisering av pålar och påldäck.

Pålsymbolen roteras sedan baserat på det riktningsvärde som erhålls ur attributtabel-  
len. För att detta ska bli värdefullt måste det säkerställas att riktningen på objektet  
alltid anges utifrån samma nolläge. Dessutom måste 2D-symbolen peka i denna rikt-  
ning innan rotationen genomförs. I ArcGIS Pro finns möjlighet att rotera baserat på  
attribut, vilket har gjorts. Det är också möjligt att välja om riktningen i grader anges  
aritmetiskt eller geografiskt, vilket avgör nolläge och rotationsriktning. Även detta  
måste specificeras för att undvika felaktigheter och missförstånd.

## Påldäck

För påldäck utgick vi i första hand från SGFs beteckningssystem. Det finns en generell  
symbol för betongkonstruktioner, vari påldäck ingår. Symbolen är en skrafferad ras-  
tersymbol och visar alltså påldäcket eller betongkonstruktionen som en yta. Se figur  
10.3 för förslag på utformning av påldäck i ArcGIS Pro.

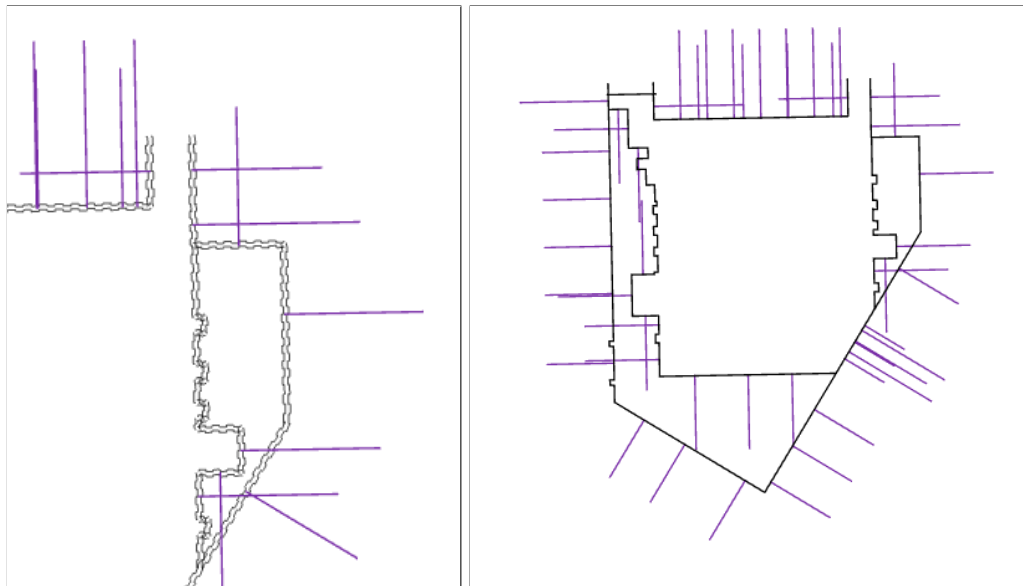
I ArcGIS Pro är skraffering möjligt, men vid uppladdning av lagret till ArcGIS Portal  
försvinner symboliken. I ArcGIS Portal är det endast möjligt att visa ytor som fyllda  
eller ofyllda, med eller utan kontur, och med valfri nivå av transparens. Eftersom en  
av avgränsningarna för projektet är att vi begränsar oss till dessa verktyg blir detta  
en förutsättning vi får förhålla oss till. Därför anpassas formateringen för att fungera  
även i webbmiljön.

För att behålla viss likhet med SGFs symbolisering visualiseras påldäck i ArcGIS Por-  
tal som en semitransparent, ljusgrå yta, med mörkgrå kontur, se figur 10.2. På så  
sätt bevaras möjligheterna att se underliggande lager som ortofoto eller höjdmodell  
på ett liknande sätt som den skrafferade ytan. Vid första anblick liknar visualise-  
ringarna varandra, och det blir därför möjligt att behålla den mer detaljerade och  
SGF-baserade visualiseringen som alternativ i de fall då ArcGIS Pro eller liknande  
verktyg kan användas.

## Spont och stag

Vid symboliseringen av sponten försökte vi visualisera den så likt SGFs permanenta spont som möjligt. Denna är visualiserad som 2 parallella vågiga linjer, därav sattes även symbolen i testkartan till detta. För att få detta utseende symboliserades två linjer med en liten offset åt varsitt håll från den ursprungliga linjen, båda dessa linjer sattes till ett vågmönster där vågorna går parallellt med varandra. Både vågor och offset gör att visualiseringen av objektet inte ger en exakt bild av var sponten ligger, detta anses inte vara ett problem då kartans precision inte är på en nivå som påverkas.

För att kartan inte ska bli för plottrig vid utzooming förenklas visualiseringen vid utzoomning. Vid skalor över 1:1000 visualiseras sponten istället som en linje utan vågor, se figur 10.4 för jämförelse. Det är endast den här symboliseringen som följer med när spont exporteras till ArcGIS Portal. Därför anpassas färgvalet, dels för att sponten ska synas mot bakgrunden i ArcGIS Portal, men också för att det av symboliseringen ska framgå att det är en spont.



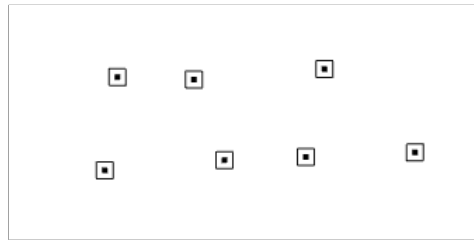
**Figur 10.4:** Förslag på visualisering av spont och stag, till vänster i kartskala 1:470 där sponten visas med två parallella vågiga linjer, till höger i kartskala 1:1000 med sponten i en rak linje. Stagen visualiseras med lila linjer.

Det finns inga specifikationer för visualisering av stag i 2D i SGFs beteckningssystem. I indatan visualiseras stagen som lila linjer med en riktning åt det håll de lutar. Då linjerna framstår som ett tydligt sätt att visualisera objekten behålls dessa utan ändringar i formen. Den lila färgen försvinner in i ortofotot när dessa visas tillsammans, därför väljs en ljusare färg för objekten.

## Energibrunnar

I SGFs beteckningssystem finns det förslag på hur brunnar ska visualiseras i 2D. Punktymbolen består av en stor vit kvadrat med svart kontur, med en mindre svart kvadrat

i mitten, se figur 10.5. För att hålla oss till SGFs system använder även vi oss av denna symbologi.



**Figur 10.5:** Energibrunnar i 2D.

### K/C-pelare

Även K/C-pelare symboliseras enligt SGF med en rastersymbol. Då vi vill visa K/C-pelare som individuella objekt, och dessutom inte kan importera den typen av stilsatt yta till ArcGIS portal, kan vi inte använda SGFs beteckningssystem rakt av. Däremot kan fyllnadssymbolerna i SGFs K/C-pelarsymbol, som är hexagoner, användas för att visualisera enskilda pelare. Den distinkta formen skiljer K/C-pelare från andra punkt-symboler. För att symbolen ska kunna användas mot både ljusa och mörka bakgrunder väljs konturen till en svart linje, och fyllningen sätts till vit med en transparensgrad på 50%, se figur 10.6.



**Figur 10.6:** K/C-pelare i 2D.

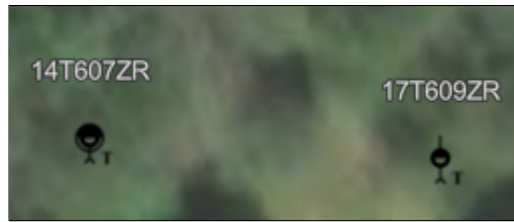
### Undersökningspunkter

Både den externa och de interna intervjuerna indikerar på att användningen av SGFs beteckningssystem för geotekniska undersökningar fungerar bra och är väletablerat. Därför blir vår rekommendation att dessa fortsätter användas. För igenkänning bör symbolerna vara svarta. Enligt kravspecifikationen bör också provtagnings-ID visas. Detta görs i vit text med en svart halo, för att synas mot både ljus och mörk bakgrund. Se figur 10.7 för exempel.

### Bakgrund

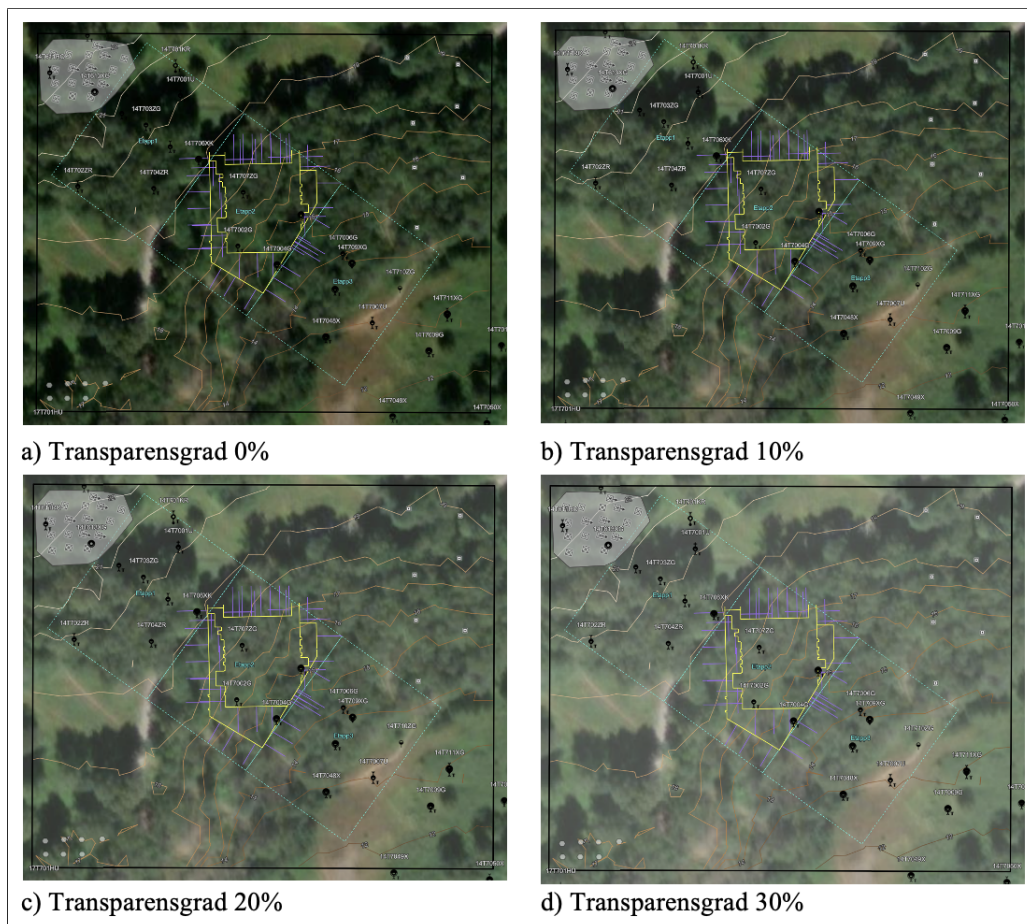
Från intervjuerna har det framgått att datan vanligtvis visualiseras tillsammans med ett ortofoto med varierad transparensgrad. I undersökningen har det testats hur de





**Figur 10.7:** Undersökningspunkter och provtagnings-ID.

olika punkterna syns tillsammans med fyra olika transparensgrader 0, 10%, 20% respektive 30%. Från resultatet framgick att en transparensgrad på 20% ger en tydlig kontrast till mörkare objekt så som undersökningspunkter, samtidigt som bakgrundsinformationen framgår tydligt, se figur 10.8. Här är det viktigt att poängtera att denna transparensgrad är den som passar bäst för just denna karta med det aktuella området. Transparensgraden kan behöva ändras beroende på vilket område och vilka objekt som studeras.

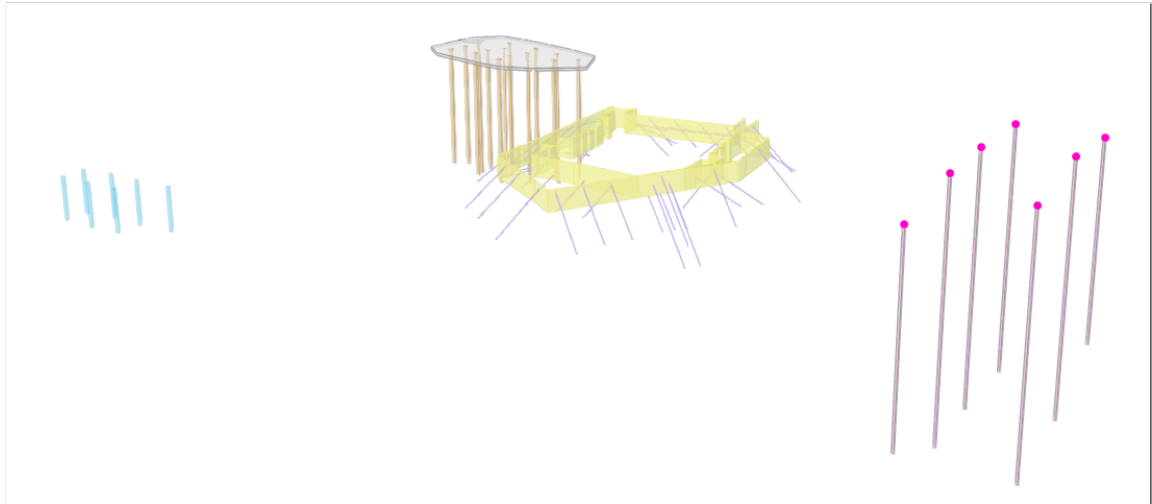


**Figur 10.8:** Undersökning hur olika transparensgrader på bakgrundskartan för det aktuella området ser ut tillsammans med objekten.

Dessutom visas höjdinformation i form av isolinjer, färgsatta från ljus beige till rost-brunt beroende på höjd. På så sätt ges en djupare förståelse av områdets topografi, även i 2D. Dessa syns i figur 10.8.

## 10.2 Visualisering i 3D

Vid symbolisering av pålar i form av punktsymboler i 3D måste punkterna transformeras till polygoner för att 3D-utskjutning ska kunna användas. För K/C-pelare, brunnar och cirkulära pålar sätts alla polygoner till cirkulära. Detta gör att utskjutningarna, som blir cylindriska, behöver färgsättas på ett sätt som gör det möjligt att skilja objekten åt. Därav krävs mer skillnader i färgval, se figur 10.9.



**Figur 10.9:** Delresultat på visualisering av geokonstruktioner i en webbkarta i 3D.

### Pålar

Cirkulära pålar laddas in som cirkulära polygoner medan kvadratiska pålar laddas in som kvadratiska polygoner. För att behålla en enhetlig symbolisering ges kvadratiska och cirkulära pålar samma färg medan formen går att urskilja. Färgen på pålarna sätts till en nedtonad orange för att den ska synas mot bakgrunden, med en transparensgrad på 50%, se figur 10.10. För att framhäva de olika formerna på pålarna tillsätts en tunn mörk kontur <sup>1</sup>. Vid användning av denna metod, det vill säga 3D-utskjutning av polygoner, är det inte möjligt att visa lutning under mark.

<sup>1</sup>Konturer i ArcGIS Portal kan sättas till tunn, standard, eller tjock, med färgalternativen mörk eller ljus.



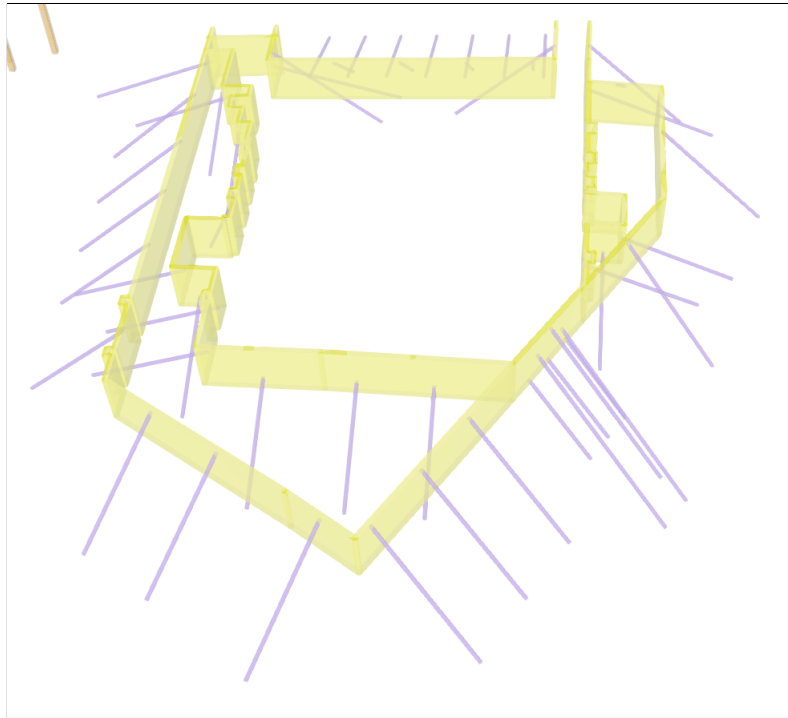
**Figur 10.10:** Delresultat på visualisering av pålar och påldäck underifrån i 3D. Både cirkulära och kvadratiska pålar visas i figuren.

### Påldäck

För att använda liknade symbolisering som i 2D sätts påldäcket till en grå nyans med en mörk kontur, se figur 10.10. Transparensgraden på fyllningen sätts till 50%. I attributtabelen för påldäck anges varken tjocklek eller djup. Därför sätts tjockleken till 1 meter med syftet att påldäcket ska få en volym som gör att det syns tydligt. Höjdläget relativt marken förskjuts med -1,5 meter eftersom påldäck är placerade under markytan. Om information om påldäckets verkliga dimensioner finns tillgänglig bör denna användas vid utformningen.

### Spont och stag

Spont visualiseras som en 3D-bana utifrån linjen som spanten visualiserats som i 2D. För enhetlighet sätts spontens färg till samma gula färg som i 2D-kartan med en transparensgrad på 50%, utan kontur, se figur 10.11.

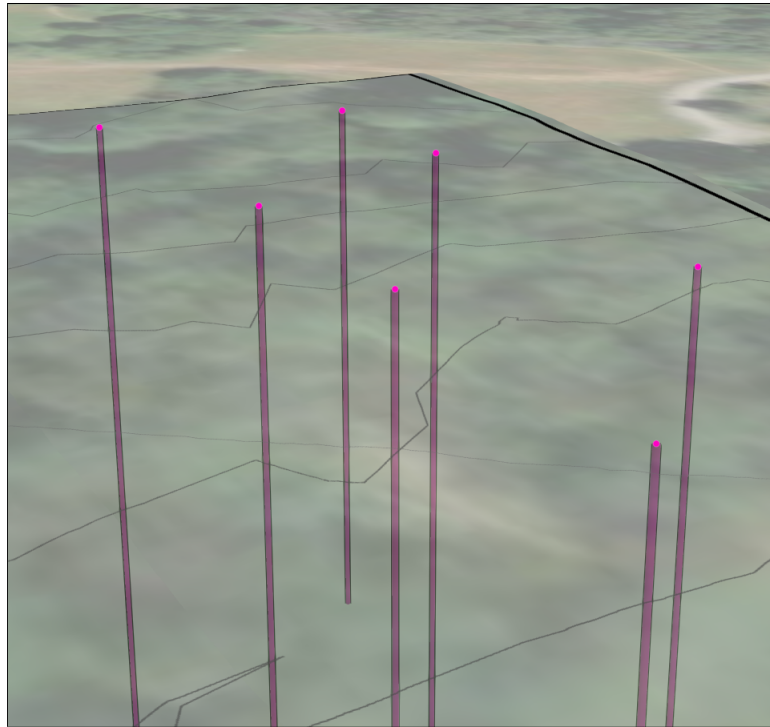


**Figur 10.11:** Delresultat på visualisering av spont (gult) och stag (lila) i 3D, här visat utan bakgrund.

Även stag visualiseras i samma färg som i 2D-kartan med lila cylindrar. Då attributtabellen inte innehåller någon diameter på stagen sätts denna till 0,5 meter för att cylindrarna ska synas men inte ta över. Vid implementering av denna symbolisering bör dock diametern sättas till det verkliga måttet. Transparensgraden sätts till 50%.

## Energibrunnar

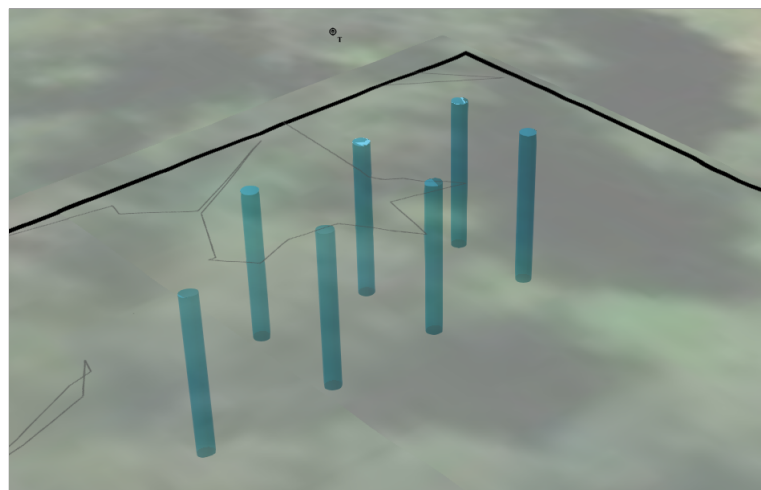
För energibrunnar går det inte att använda SGFs beteckningssystem i 3D. Därför sätts energibrunnar till cylindrar, likt de cirkulära pålarna. Energibrunnar är dock smalare än pålar, och för att de ska framgå på ett tydligt sätt i visualiseringen ges de därför en klarrosa färg med 65% transparens, se figur 10.12. De ges dessutom en mörk kontur i standardtjocklek för att markeras tydligare. Då det i intervjuerna har lyfts att energibrunnar behöver visualiseras tydligare har vi också lagt till en punktsymbol i markytan för varje brunn, i samma rosa färg men utan transparens eller kontur. På så sätt syns de förhållandevis smala brunnarna även rakt uppifrån.



**Figur 10.12:** Delresultat på visualisering av energibrunnar i 3D ovanifrån.

### K/C-pelare

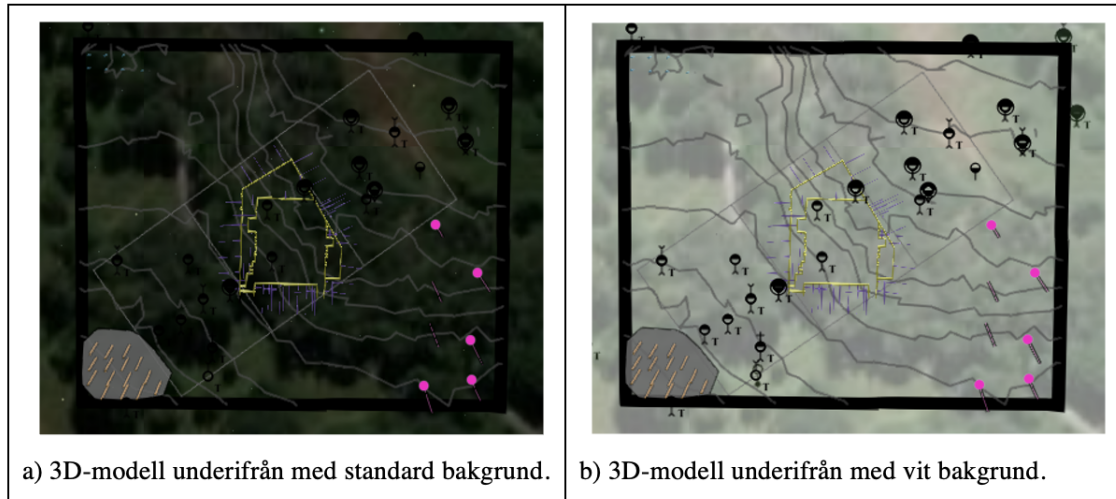
K/C-pelare visualiseras som cylindrar med en ljusblå färg och en transparensgrad på 50%, se figur 10.13. Färgen har valts då den skiljer sig tydligt från de andra objekten som visualiserats, samt bör synas mot både ljusa och mörka bakgrunder även då pelarna befinner sig under markytan.



**Figur 10.13:** Delresultat på visualisering av K/C-pelare i 3D ovanifrån.

## Bakgrund

För bakgrundskartan för 3D-modellen används ett ortofoto med transparensgrad på 50%. Om detta används utan bakgrundfärg använder ArcGIS ett standardläge i form av en vit bakgrund under kartan med en natthimmel med stjärnor över kartan. Detta medför att objekten tydligt går att se ovanifrån men då scenen betraktas underifrån blir undersökningspunkterna svåra att urskilja, se figur 10.14. För att lösa detta tillsätts en ljus bakgrundsfärg som gjorde att bakgrundskartan bibehåller samma färger både underifrån och ovanifrån.



**Figur 10.14:** Jämförelse av olika bakgrundsfärger i 3D.



# 11 Återkoppling och utvärdering

## 11.1 Återkoppling

Det framtagna materialet skickades ut till de Tyrénsanställda som intervjuades tidigare i processen, i form av interaktiva webbapplikationer. Dessa levererades tillsammans med en kort beskrivning av de färger och symboler som valts. Vi bad om en kort återkoppling kring materialet, för att kunna arbeta in denna feedback i det slutgiltiga resultatet. Dessutom höll vi en presentation för en intern arbetsgrupp som jobbar med samgranskning av geotekniska data och geokonstruktioner, under vilken vi visade upp vårt material och diskuterade olika styrkor och svagheter med materialet. Nedanstående är en sammanställning av den feedback som inhämtats via intervjudeltagare och arbetsgruppen.

En första reflektion rör de okonventionella färgvalen på spont och stag. Framförallt de som arbetar primärt inom geoteknik lyfte att de vanligen jobbar med material som är svartvitt, och att de starka färgerna på spont och stag kontrasterar lite väl mycket mot detta. Dessutom diskuterades skillnaden på hur övriga geokonstruktioner visualiseras jämfört med spont och stag, då övriga visas med symboler och ytor i svart, vitt, och ljusgrått. En möjlig omarbetning är en mer nedtonad färgskala för spont och stag. Risker med detta, vilket också lyftes i diskussionen efter presentationen, är att de blir svåra att urskilja mot en flerfärgad bakgrund.

Det önskades också en tydligare koppling mellan 2D och 3D. En rekommenderad åtgärd var att göra punktsymbolerna som används i 2D tillgängliga i 3D. Då kan färgskalan tonas ner utan att tydligheten går förlorad.

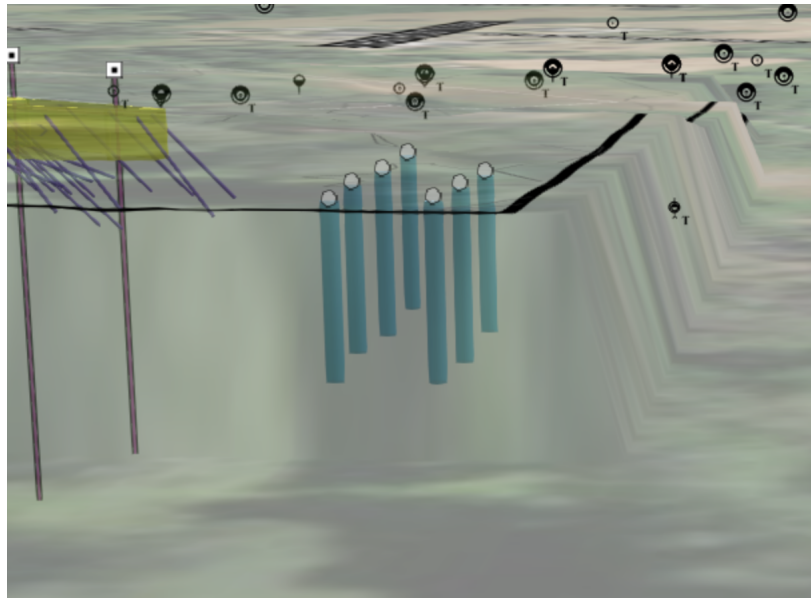
Ytterligare en tanke kring punktsymbolerna rör energibrunnarna. Det efterfrågas att de ska framträda tydligare, särskilt då de ofta är få och mer utspridda. För pålar och framförallt K/C-pelare ansågs det inte nödvändigt med större eller mer framträdande symboler, eftersom de i praktiken alltid är fler och närmare varandra.

Till följd av K/C-pelares antal och täta placering lyftes det att de i 3D inte behöver representeras med den dimension de i har i verkligheten. Istället kan de visualiseras som smalare cylindrar.

Under presentationen uttrycktes mycket positiva åsikter kring utformningen på pålar i 2D, framförallt om symbolen med pil som roteras enligt den riktning en påle lutar åt. Det lyftes en fråga om det skulle vara möjligt att skilja på kvadratiska och cirkulära pålar i 2D-kartan. Under diskussion kring detta gick meningarna isär om huruvida det finns ett värde i att skilja på dessa påltyper i kartan, eller om det räcker att denna information finns i attributtabellerna.

Något som kan komma att behöva undersökas vidare är hur höjdmodellen inom undersökningsområdet ska utformas och användas. I 3D-modellen som presenterades är

undersökningsområdet inmätt. Från mätningar har en lokal höjdmodell tagits fram, som är mer precis än den allmänna höjdmodell som finns tillgänglig i ArcGIS Portal. I 3D-modellen resulterar detta i att markytan ser ut att slutta brant nedåt precis i kanten av undersökningsområdet, vilket egentligen bara visar diskrepansen mellan den lokala och den allmänna höjdmodellen. Kanten i slutet av undersökningsområdet visas i figur 11.1. Detta ger en missvisande bild av området och behöver därför åtgärdas, antingen vid inmätning eller under bearbetningen av data.



**Figur 11.1:** Figuren visar den kant som finns i utkanten av undersökningsområdet.

För leverans- och presentationssyften behöver både 2D- och 3D-materialet ha tydliga legender, vilket diskuterades efter presentationen. I samband med detta diskuterades också innehållet i attributtabellerna. För tydligare presentation skulle de olika attributen kunna ges tydligare namn, och antal decimaler kan minskas där de inte visar på noggrannhet eller fyller någon annan funktion, se exempel på en attributtabell för en trycksöndering i figur 11.2. På så sätt blir informationen mer lättillgänglig.



Trycksondering: Varbergstunneln	
dbid	187 083,00
mark_z	18,98
metod	Trycksondering
metod_kort	Tr
mi_mlid	1
mi_origid	14T706XK
projektnamn	Varbergstunneln
provtagningsmetod	
stoppkod	91, Kan ej neddrivas ytterligare enl. norm. förf.
updated	2023-03-05 19:43
url_geoarkiv	
url_pdf	<a href="#">Visa</a>
url_viewer	<a href="#">Visa</a>

**Figur 11.2:** Exempel på en attributtavell för en geoteknisk undersökningspunkt i form av en trycksondering.

## 11.2 Utvärdering

I följande avsnitt diskuteras 2D- respektive 3D-modellerna utifrån den kravsammanställning som presenterades i kapitel 9. Kraven presenteras och diskuteras individuellt.

### 11.2.1 Krav

#### A.1 Interaktionsmöjligheter

Då en programvara som möjliggör interaktionsmöjligheter från användare har använts anses detta krav vara uppfyllt. Programmet gör det möjligt att tända och släcka lager, zooma och panorera, samt analysera den information som visas om detta behövs.

#### A.2 Georeferering

Datan som laddas in i ArcGIS Pro har ett fördefinierat koordinatsystem och programets koordinatsystem har satts utifrån detta. Det är dessutom möjligt att georeferera icke koordinatsatt data och därmed anses detta krav vara uppfyllt.

### **A.3 Tydlighet**

För spont och stag är symbolerna färgsatta så att de är lätta att urskilja mot olika bakgrunder. Alla symbolerna är visualiserade på ett sådant sätt att de med hjälp av en legend ska vara lätta att identifiera och åtskilja från varandra. Tydligheten kan öka för energibrunnar med hjälp av större symboler. Då energibrunnarna i 2D-kartan är svåra att urskilja mot bakgrundskartan anses detta kravet inte som uppfyllt.

### **A.5 Enhetlighet**

Det saknas kopplingar mellan 2D- och 3D-kartan. Punktsymbolerna som valts i 2D användes inte i 3D-kartan och objekten visas istället som geometriska former, färgsatta baserat på objektstyp. Detta medför viss förvirring och gör att vissa objekt blir svåra att identifiera. Därmed anses inte detta krav vara uppfyllt.

### **A.7 Provtagnings-ID**

Provtagnings-ID visas i 2D-kartan. Därmed anses detta krav vara uppfyllt.

## **11.2.2 Önskemål**

### **A.4 Begränsad bakgrundsinformation**

Bakgrundsinformationen har begränsats till det mest nödvändiga, det vill säga ortofoto och isolinjer. Därmed anses detta önskemål vara uppfyllt.

### **A.6 Transparens**

Med nuvarande datamängd anses transparensnivån vara på en passande nivå för 3D-modellen. För 2D-modellen borde energibrunnarna ha en lägre transparensnivå för att synas tydligare. Detta önskemål anses vara delvis uppfyllt.

### **A.8 Samgranskning**

Både 2D- och 3D-kartan har möjlighet till samgranskning mellan geoteknik och geokonstruktioner. Därmed anses detta önskemål vara uppfyllt.

## **GT.1 Etablerade standarder**

För geoteknik har både 2D- och 3D-kartan använt sig av befintliga SGF standarder, därmed anses detta önskemål vara uppfyllt.

## **GT.2 Standardiserade huvudkategorier**

De data som visas i modellerna finns under huvudkategorierna undersökningspunkter och geokonstruktioner. Utöver detta har ingen vidare tanke lagts på dessa kategorier, därmed anses inte detta önskemål vara uppfyllt.

## **GK.1 Tydliga objekt**

För 2D-kartan anses de olika objekten vara tydligt visualiserade. Det går att skilja objekten åt och de är lätta att identifiera. Symboliseringen av energibrunnar i 2D-kartan kan vara mer tydlig mot bakgrundskartan, detta kan uppnås med mindre transparens. För 3D-kartan anses inte objekten vara lika tydligt visualiserade, punkterna ovan mark saknar koppling till 2D-kartan och blir därmed svåra att visualisera. Detta önskemål anses inte vara uppfyllt.

## **GK.2 Lutning på objekt under mark**

I 2D-kartan visas tydligt objektens lutning. Stag visas med linjer vars längd motsvarar den längd som syns ovanifrån. Med hjälp av stagens längd som kan utläsas ur attributtabeln blir det möjligt att tolka lutningen. Pålar som har en lutning symboliseras med en pil som skiljer dem från pålar utan lutning. Symbolen roteras dessutom baserat på det riktningsattribut som finns i attributtabeln. I 3D-kartan visas stagens lutning men inte pålarnas, på grund av metoden som användes då datan formaterades för 3D-visualisering. Detta önskemål anses därför vara delvis uppfyllt.

## **11.2.3 Förbättringsområden**

Sammanfattningsvis anses majoriteten av kraven och önskemålen vara uppfyllda. De krav som inte anses helt uppfyllda är Tydlighet och Enhetlighet. De önskemål som inte anses helt uppfyllda är Transparens, Standardiserade huvudkategorier, Tydliga objekt och Lutning under mark. Många av dessa krav och önskemål skulle anses som uppfyllda vid en förbättring av energibrunnarnas symbolisering, samt omarbetning av pålarna så deras lutning visualiseras i 3D-kartan.

# 12 Omarbetning av kartmaterial

I det här kapitlet presenteras omarbetningen av kartmaterialet, som är baserad på den återkoppling och utvärdering som presenteras i kapitel 11. Efter beskrivningen av omarbetningsprocessen presenteras den slutliga rekommendationen för visualisering av data från områdena geoteknik och geokonstruktioner.

## 12.1 Process

Från kapitel 11 har det framgått att förändringar behöver göras för att öka kopplingen mellan 2D- och 3D-kartor. Många av kraven som inte anses uppfyllda faller främst på grund av visualisering på energibrunnar.

För att ta fram symboler som kan användas i både 2D- och 3D-kartor har programvaran Inkscape använts, denna finns beskriven i avsnitt 7.4.2. Symbolerna har skapats utifrån de tidigare bestämda symbolerna från kartmaterialet och därefter exporterats till PNG-filer. Bilderna har sedan lagts in istället för de ursprungliga symbolerna i ArcGIS Pro och därefter har kartan än en gång laddats upp som ett *feature layer* till ArcGIS Portal.

Pålarna har gjorts om från polygoner till 3D-linjeobjekt för att det ska vara möjligt att visa deras lutning. Detta har gjorts med hjälp av ett skript i FME.

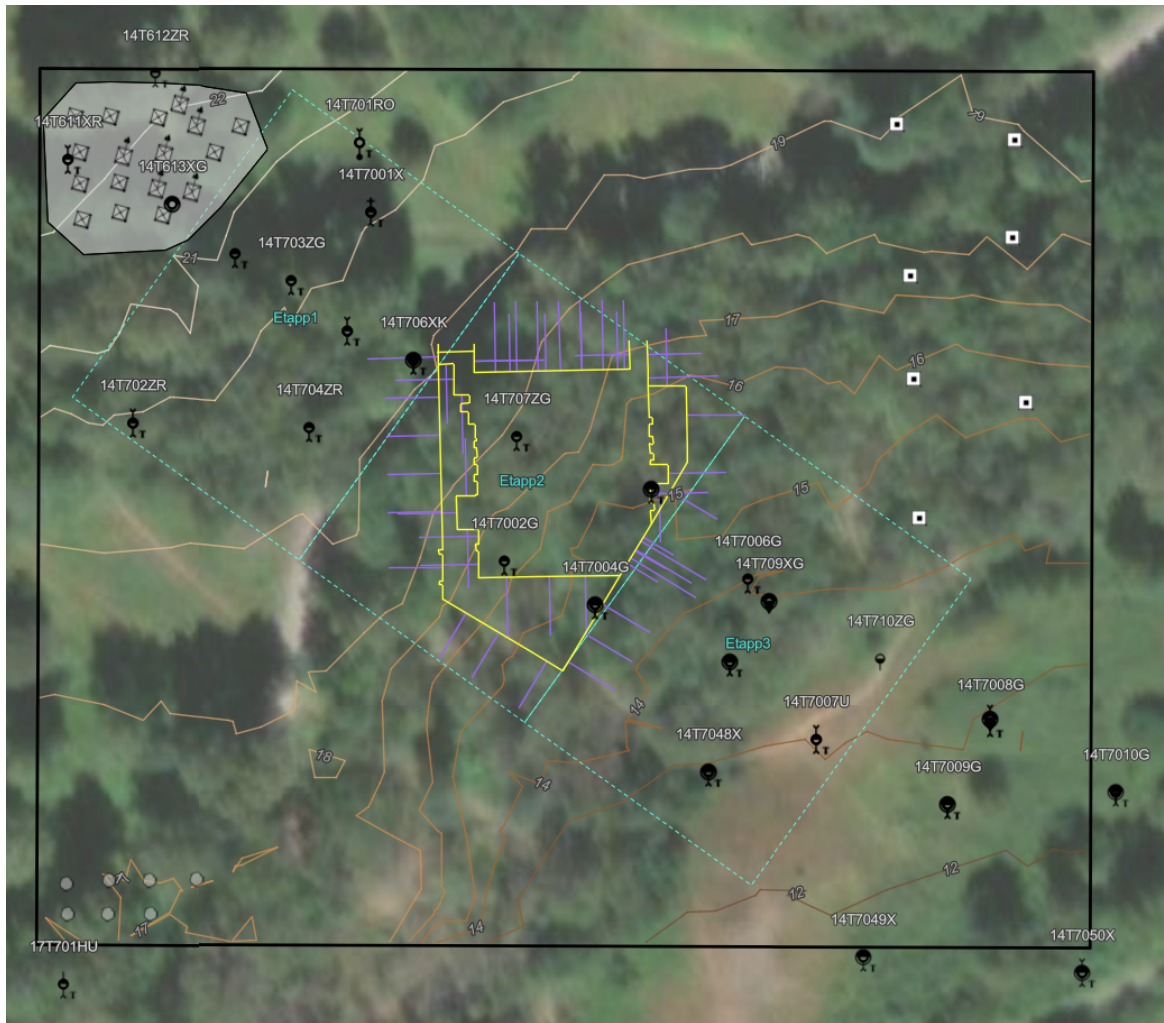
## 12.2 Slutgiltigt kartmaterial

I det här avsnittet visas resultatet av det omarbetade kartmaterialet.

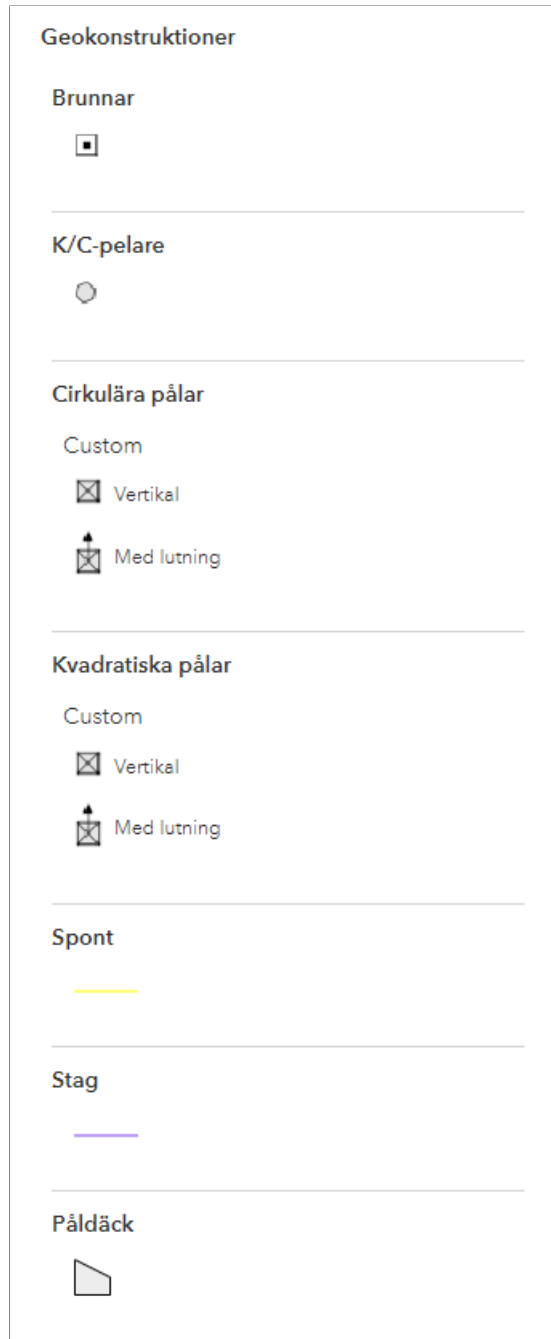
### 12.2.1 Visualisering i 2D

#### Övergripande

Den övergripande bilden av 2D-kartan skiljer sig marginellt från första utkastet. De enda förändringarna som skett är utbytet av punktsymbolerna från ArcGIS symboler till PNG-filer. För spont och stag har inga förändringar skett. Den nya versionen av kartan visas i figur 12.1 tillsammans med dess legend i figur 12.2.



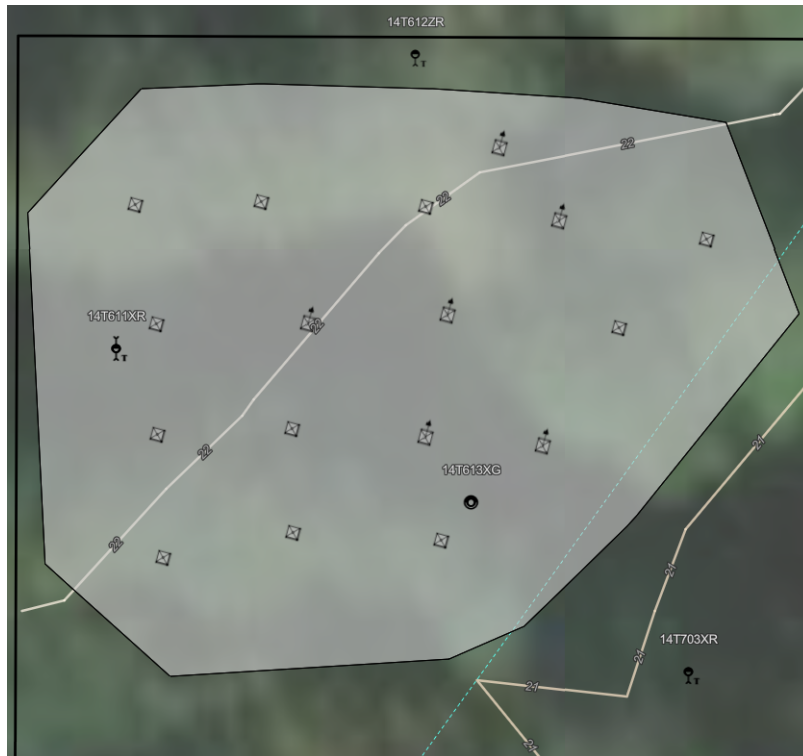
**Figur 12.1:** Översiktlig bild av den omarbetade kartan i 2D.



**Figur 12.2:** Legend för den övergripande kartan i 2D.

## Pålar

För pålarna ändrades symbolerna från ArcGIS egna till en PNG-fil skapad i Inkscape. Symbolen ändrades så att pilen pekade norrut då ingen rotation använts, tidigare pekade pilen österut utan rotation, se figur 12.3.



**Figur 12.3:** Figuren föreställer hur pålarna ser ut efter omarbetning, då riktningen ändrats och symbolerna ersatts med PNG-filer.

## Energibrunnar

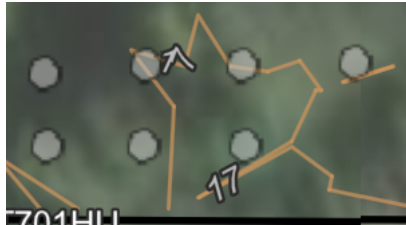
Även energibrunnarnas symboler ersattes med PNG-filer. De förändringar som skedde mot första utkastet var att transparensgraden sattes till noll och storleken på symbolerna ökades för att de skulle synas bättre mot bakgrundskartan, se figur 12.4.



**Figur 12.4:** Energibrunnar efter att transparensgraden sänkts och symbolerna ersatts med PNG-filer.

## K/C-pelare

För K/C-pelare ändrades fyllningen till grå istället för vit och symbolen byttes till en PNG-fil. Skillnaden på de nya K/C-pelarna och de gamla är mycket liten, de nya K/C-pelarna visas i figur 12.5.

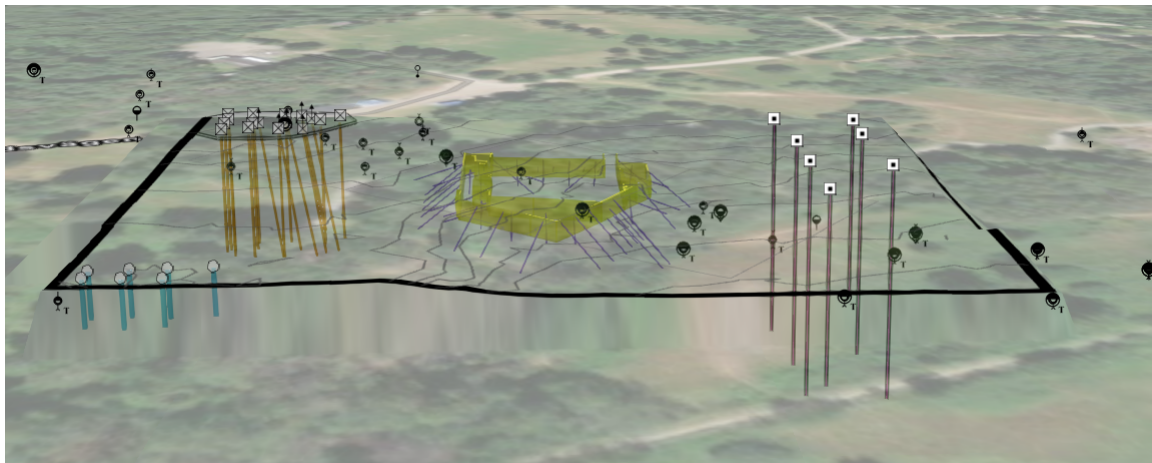


**Figur 12.5:** K/C-pelare i form av hexagoner efter att symbolerna ersatts med PNG-filer.

## 12.2.2 Visualisering i 3D

### Överblick

Den största förändringen som skett i 3D kartan är att punktsymbolerna ovan mark bytts ut till de PNG-symboler som skapats i Inkscape. Även här har spont och stag behållit sin ursprungliga visualisering. Det slutgiltiga resultatet av 3D-modellen visas i figur 12.6, tillsammans med en legend för kartan i figur 12.7.



**Figur 12.6:** Omarbetad version av 3D-kartan där punktsymbolerna från 2D-kartan placerats över motsvarande objekt i 3D.

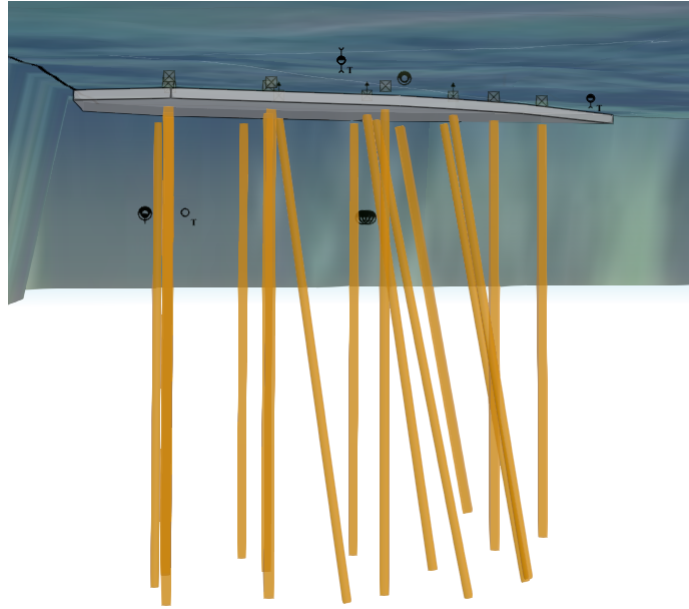


Objekt	3D	Tillhörande punktsymboler
Pålar cirkulära		 Med lutning
		 Utan lutning
Pålar kvadratiska		 Med lutning
		 Utan lutning
Energibrunnar		
K/C-pelare		
Spont		
Stag		
Påldäck		

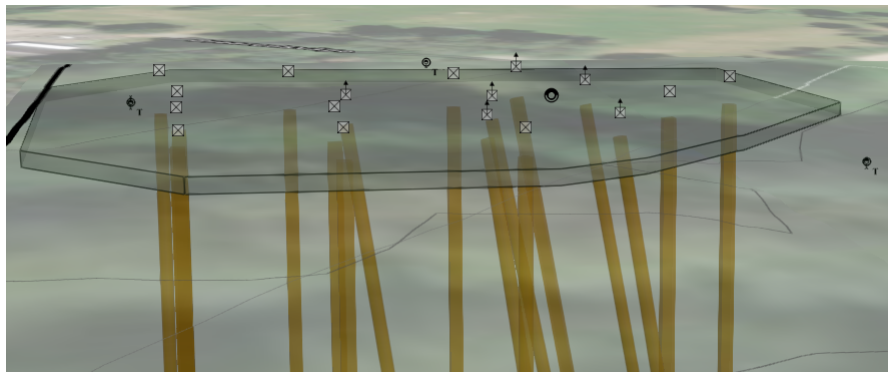
Figur 12.7: Legend för 3D-kartan.

## Pålar

För pålarna ändrades den övre punktsymbolen till den som använts i 2D-kartan. Utöver det ändrades de även till linjeobjekt för att lutningen under marken skulle kunna visualiseras. Figur 12.8 visar hur pålarna ser ut från sidan då även lutningen visualiseras, och figur 12.9 visar hur de omarbetade pålarna ser ut ovanifrån.



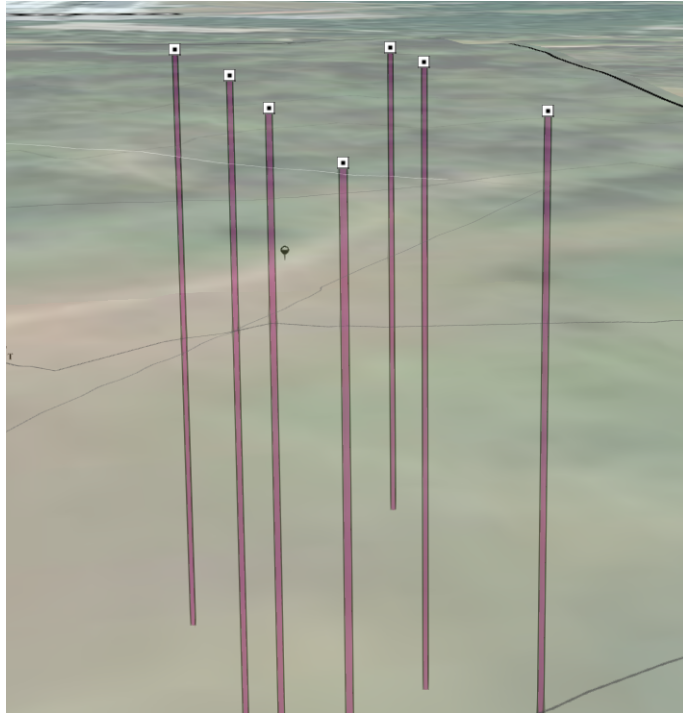
**Figur 12.8:** Omarbetade pålar i 3D rakt från sidan, där lutningen syns.



**Figur 12.9:** Omarbetade pålar snett ovanifrån, här syns även punktsymbolerna som lagts över objekten.

## Energibrunnar

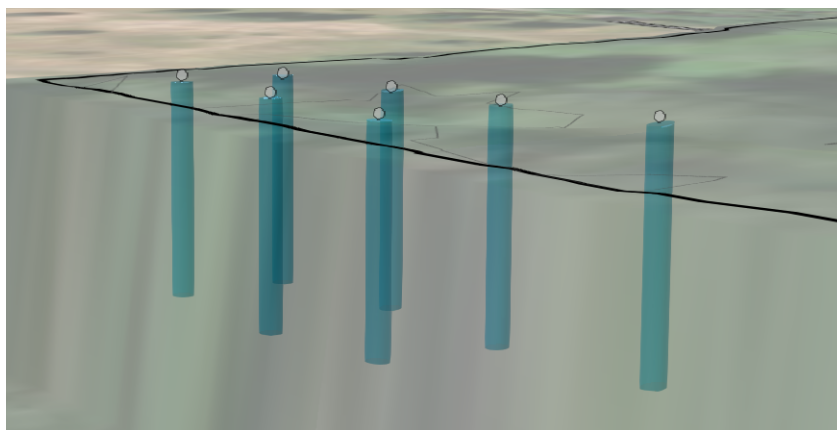
Punktsymbolerna som symboliserar energibrunnarna ovanifrån ändrades från rosa punkter till samma punkter som används i 2D-kartan. Detta gjorde att kopplingen mellan objekten i 2D- och 3D-kartan ökade, se figur 12.10.



**Figur 12.10:** Omarbetade energibrunnar i 3D, då punktsymbolerna på markytan bytts ut till de symboler som använts i 2D-kartan.

### K/C-pelare

Under omarbetningen fick även K/C-pelarna en punktsymbol med en halv meters förskjutning relativt marken. Detta gjordes för att bibehålla kopplingen mellan symboliseringen i 2D och 3D samt att symboliseringen mellan de olika punktsymbolerna ska vara enhetlig. Förskjutningen användes för att symbolen inte skulle krocka med markytan. De omarbetade K/C-pelarna visas i figur 12.11.



**Figur 12.11:** Omarbetade K/C-pelare i 3D, där punktsymbolerna från 2D-kartan placerats över objekten.

# 13 Rekommenderad visualiserings-specifikation

## 13.1 Rekommendationer för visualisering

Exakta rekommendationer i form av färgkoder, transparensgrader, och linjetjocklekar finns att tillgå i tabell 13.1. Bilder på hur de olika objekten ska visualiseras finns att tillgå i bilaga C

### 13.1.1 I två dimensioner

#### Rekommendationer för dynamisk webbkarta

- **Pålar**  
Symbolen för pålar är en fyrkant med svart kontur och ett svart kryss i mitten. Fyllningen är ljusgrå och semitransparent. Pålar med lutning visas med samma typ av symbol, men med en pil som pekar i den riktning som pålen lutar. Utgångsläget noll grader är rakt norrut, och symbolen roteras geografiskt baserat på riktningsattributet.
- **Påldäck**  
Påldäck visualiseras som en ljusgrå, semitransparent yta, med mörkare konturlinje.
- **K/C-pelare**  
Symbolen för K/C-pelare är en hexagonal punktsymbol, med svart kontur och ljusgrå, semitransparent fyllning.
- **Energibrunnar**  
Symbolen för energibrunnar är en kvadrat med svart kontur och vit fyllning med en mindre svart kvadrat i mitten.
- **Spont**  
Spont visualiseras med en ljusgul linje.
- **Stag**  
Stag visualiseras med lila linjer.
- **Geotekniska undersökningspunkter**  
Geotekniska undersökningspunkter visualiseras enligt SGFs beteckningssystem, med svarta symboler. Exakt symbol avgörs enligt SGFs beteckningssystem. Varje undersökningspunkt visas tillsammans med sitt provtagnings-ID.

- **Bakgrundsinformation**

Som bakgrund används ett ortofoto över området, med transparensgrad 20%.

### 13.1.2 I tre dimensioner

- **Pålar**

Pålar visualiseras som orangea volymer under marken med likadana punktsymboler som i dess 2D-symbolisering över marken. Volymerna är rätblock eller cylindrar beroende på pålarnas form.

- **Påldäck**

Påldäck visualiseras som en ljusgrå, semiträparent volym i linje med objektets verkliga dimensioner. Ytan har en mörk heldragen kontur i standardstorlek.

- **K/C-pelare**

K/C-pelare visualiseras som semiträparenta ljusblå cylindrar med dess punktsymbol i 2D visualiserad en halv meter över marken.

- **Energibrunnar**

Energibrunnar visualiseras som semiträparenta rosa cylindrar under mark tillsammans med dess punktsymboler i 2D över mark.

- **Spont**

Spont visualiseras som en semiträparent gul 3D-bana i linje med dess dimensioner.

- **Stag**

Stag visualiseras som semiträparenta lila 3D-banor i cylinderformat med en längd som motsvarar dess verkliga dimensioner.

- **Geotekniska undersökningspunkter**

Geotekniska undersökningspunkter visualiseras enligt SGFs beteckningssystem, med svarta symboler, likt dess symbolisering i 2D-kartan.

- **Bakgrundsinformation**

Som bakgrund används ett ortofoto över området, med transparensgrad 50%.

### 13.1.3 Sammanställning av specifikationer

Tabell 13.1: Sammanställning av specifikationer för visualisering av geokonstruktioner.

Objektstyp	2D			3D		
	Färg	Transparens	Övrigt	Färg	Transparens	Övrigt
Spont	#FFFFFF33	0%	Penseldrag: 1,33	#FFFFFF33	50%	
Stag	#9868ED	0%	Penseldrag: 1,33	#9868ED	50%	
Påldäck	#BDBDBD	65%	Kontur: #4A4848, Penseldrag: 0,93,	#BDBDBD	65%	Mörk, standard kontur
K/C-pelare	#CBCBCB, #000000	50%	Hexagonformade punkter, färgens ljushet är satt till 80.	#00C5FF	65%	
Pålar	#CBCBCB #000000	50%	Fyrkantiga punkter med kryss och pilar, färgens ljushet är satt till 80.	#E69800	50%	Mörk, tunn kontur, rätblock och cylindrar
Energiöppningar	#####, #000000	0%	Fyrkantiga vita punkter med mindre svarta fyrkanter i.	#FF00C5	70%	Mörk, standard kontur

## **Del IV**

### Diskussion och slutsatser

# 14 Diskussion

## 14.1 Möjligheter med samordning

Den studie som genomförts visar på att en enhetligare metod för visualisering underlättar för samgranskning av gemensamma modeller. I både litteratur och intervjuer finns exempel och indikationer på att det finns ett värde med detta. Därför kan det också anses finnas ett värde i att ta fram en specifikation för hur undermarksinformation bör visualiseras. Fördelar som bättre och mer noggrann planering och resurshantering gynnar inte bara de företag som arbetar med projekt som innefattar undermarken, utan bidrar till mer informerade beslut även på samhällsnivå. På så sätt kan gemensamma resurser i form av undermarksutrymme användas på ett mer effektivt sätt.

En svårighet ligger i avvägningen mellan olika teknikområdets intressen och redan etablerade inofficiella standarder. Därmed måste det diskuteras och utvärderas vilken organisation eller vilket organ som kan och bör ansvara för framtagandet av en specifikation. En sådan organisation behöver tillräcklig kompetens inom de teknikområden som arbetar med undermarken för att kunna ta fram en specifikation för hur potentiellt stora datamängder ska kunna hanteras och visas i samma modell.

I och med samordningen kring geografisk information i samband med arbetet med nationella grunddata syns redan en utveckling mot mer standardiserad hantering av geodata, något som lyftes i avsnitt 3.1.1. För att räknas som nationella grunddata måste datan dock vara producerad av offentliga aktörer (DIGG, 2022). Mycket av de data som har använts och diskuterats i den här studien är inte producerade av offentliga aktörer. De skulle därför inte nödvändigtvis behöva rätta sig efter de ramverk som gäller för nationella grunddata, men den ökade samordningen från offentligt håll kan ändå antas påverka även den privata sektorn. En möjlig väg framåt är därför att grunddatadomänen för geografisk information utökas till att också innefatta undermarksinformation. Befintlig organisation och samordning skulle då kunna användas för att ta fram en standard för hur undermarksdata hanteras. Denna standard skulle sedan kunna användas även av privata aktörer, och en enhetlig datahantering möjliggör för enklare implementering av en specifikation för visualisering.

### 14.1.1 Framtida samhällsnytta och undermarksplanering

Med samordnade data och enhetlig visualisering förbättras förutsättningarna för utvecklingen mot smartare städer. I avsnitt 3.2 lyfts en del av det arbete som gjorts för skapandet av digitala tvillingar i Sverige, inklusive de delprojekt som fokuserar på planering och visualisering av undermarken. Mycket av det som utvecklas inom ramen för digitala tvillingar är tänkt att kunna appliceras på smarta städer, som diskuteras i avsnitt 3.3.



Samordning kring undermarksdata och -planering gör det möjligt att skapa en mer komplett modell av en stad eller stadsdel, och arbetet kring framtagandet av en digital tvilling blir enklare. Med en modell som har förutsättningar för att innefatta undermarken blir det lättare att infoga till exempel tunnlar och ledningar, underjordiska förvaringsutrymmen, brunnar, och borrhål. Då blir det också möjligt att i högre grad utnyttja den teknik som finns i form av bland annat sensorer för kontinuerliga statusuppdateringar.

Om målet med mer samordning och modellering är smartare samhällsbyggnad, kan det antas att det är den offentliga sektorn som har störst intresse av utvecklingen inom området. En anledning till detta är till exempel det kommunala planmonopolet, som diskuteras i avsnitt 4.4.1. Med bättre planeringsunderlag kan kommuner fatta beslut som bättre gynnar både nuvarande och framtida invånare. I så fall kan det ställas krav från offentligt håll vid upphandling av kontrakt för byggande och underhåll av gemensam infrastruktur, till exempel att data i bestämda format ska vara en del av leveransen. På så sätt kan en mer detaljerad undermarksmodell byggas upp allt eftersom data samlas in, vilken sedan kan göras tillgänglig för framtida planering. Detta liknar den strategi som valts i Helsingfors kommun, och som presenteras i avsnitt 4.4.2 och 4.4.3.

Sammantaget kan det sägas att mer samordning möjliggör för bättre planering, som i sin tur öppnar för en rad positiva effekter. Utöver effektivare användning av ytor och utrymmen över och under mark kan detta leda till bättre åtgärdsplanering och underhåll. Dessutom kan mer samordnade data och mer omfattande modeller göra att både krockar och risker lättare kan identifieras, och därmed undvikas.

## **14.2 Diskussion om resultat**

### **14.2.1 Möjligheter till enhetlighet utifrån specifikation**

Specifikationen är utformad med syftet att bidra till en enhetlig visualisering för aktuella objekt i framtida modeller. Målet har varit att ge så tydliga instruktioner som möjligt för de som ska symbolisera objekten. För symbolerna i geoteknik finns det redan symboler inlagda som PNG-filer i Tyréns interna ArcGIS-system. Filerna är skapade av anställda på Tyréns för enhetlig intern användning. Om liknade tillvägagångssätt kan användas för geokonstruktionernas symboler möjliggör det för en enhetlig symbolisering. Om alla teknikområden kan använda samma symboler blir symboliseringen genast mer enhetlig. Både symbolerna inom geoteknik och geokonstruktioner skulle kunna tillgängliggöras i större utsträckning för en enhetlig symbolisering inom branschen.

För färgsättning i modellerna anger specifikationen exakta färgkoder med syfte att undvika personliga preferenser och nyansskillnader. Samma princip appliceras på transparensgraderna som finns angivna med en exakt procentenhet i specifikationen. De exakta värdena gör att symboliseringen kan upprätthållas oavsett vilket verktyg som används. För konturer av 3D-symboler saknas möjlighet för exakt färgsättning. Detta kan medföra otydligheter vid användning av andra program. Då mörk kontur

används till alla symboler är förhoppningen att detta mosvarar en svart färg i andra programvaror.

Vid framtagningen av den här specifikationen har ett ortofoto med en transparensgrad på 20% använts vid visualisering i 2D, och 50% i 3D. En svaghet i specifikationen är att den inte behandlar vilken bakgrundsinformation datan ska visas tillsammans med. Detta beror helt på användarens behov. I kartmaterialet har bakgrundsinformationen hållits på en låg nivå med endast isolinjer och ortofoto. Detta beror delvis på att fokus har legat på symbolisering för geokonstruktioner och geoteknik och delvis på att ett av kraven varit att bakgrundsinformationen skulle begränsas. Bristande rekommendationer till hur och vilken bakgrundsinformation som ska visas kan leda till en icke enhetlig visualisering framförallt vid användning av olika verktyg. Detta kan åtgärdas genom att i vidare studier fokusera mer på vilken bakgrundsinformation som är lämplig att visa tillsammans med dessa data. Även färger på isolinjer kan studeras då dessa inte studerats inom detta projekt.

För att specifikationen ska kunna implementeras i större utsträckning krävs det att någon ansvarar för dess utgivning och upprätthållande. Här kan det diskuteras huruvida till exempel en branschorganisation eller myndighet skulle vara bäst lämpad för åtagandet. För att kunna undersöka lämplighet måste det först avgöras vilken nivå specifikationen ska gälla för. Om specifikationen främst gäller som rekommendation inom samhällsbyggnadsbranschen bör den också tillhandahållas av relevant organisation. Om specifikationen ska implementeras som nationell standard för enhetlig undermarksvisualisering kan andra alternativ undersökas.

Viktigt att notera att det för en mer omfattande implementering av en visualiserings-specifikation också krävs mer standardisering kring datahantering och informationsmodeller. På så sätt kan enhetlighet säkerställas både gällande visualisering och den information som levereras som en del av det visuella materialet. Med mer standardiserad datahantering blir det lättare att klassificera data och objekt på ett sätt som möjliggör för med interoperabilitet mellan olika system och tjänster. Inom byggbranschen görs detta i hög utsträckning genom användandet av CoClass, som beskrivs i avsnitt 6.3. Kontinuerlig användning av CoClass är ett exempel på hur enhetlighet i objektsspecifik information kan uppnås. Genom detta blir också enhetlig visualisering baserad på en specifikation lättare att implementera.

### 14.2.2 Förbättringsområden i implementeringen

Vid överföring mellan ArcGIS Pro och ArcGIS Portal försvann vissa delar av symboliseringen. En av de symboler som försvann var påldäckets symbolisering, som istället ersattes av en fylld grå färg i onlineverktyget. Symboliseringen som använts i ArcGIS Pro kommer från SGFs beteckningssystem och det anses därför som den bästa symboliseringen av de två. Då det i nuläget inte går att använda skrafferade symboler i ArcGIS Portal finns det möjlighet till förbättringar i programvaran.

Visualisering av K/C-pelare i 3D hade kunnat förbättras enligt den återkoppling som inhämtades, genom att minska dimensionen på cylindern. För att genomföra detta hade en upprensning av formateringen från 2D till 3D behövt göras, eftersom storle-

ken på polygonen sattes utifrån den dimension som finns angiven i attributtabelen. Dimensionen kan därför inte ändras direkt i ArcGIS Portal.

För att få till en enhetlig visualisering bestämdes det under omarbetningen av kartmaterialet att punktsymbolerna i 2D-kartan skulle laddas in i en stilfil. På så sätt är den åtkomlig och enhetlig genom flera projekt. För att göra detta skapades symbolerna i Inkscape och laddades in i ArcGIS med hjälp av PNG-filer. PNG-filer visas i rasterformat vilket gör att symbolerna blir något mer otydliga än i SVG-format. De symboler som laddades in i SVG-format hoppade ur position vid inzoomning och panorering av kartan, vilket bryter mot den första visuella variabeln läge, enligt Kraak et al (1996). Med avseende på detta gjordes en avvägning i fråga om kvalitet på symbolerna mot dess position. Då det i en karta är mycket viktigt med objektens position bestämdes det att PNG-filer måste användas. Förbättringspotential gällande symbolerna kan därför vara användandet av SVG-filer som behåller sin position vid ändring av kartan. Detta problem ligger dock utanför ramarna av det här projektet och hänvisas till skaparna av programvarorna.

### 14.3 Utmaningar

Ett problem som stöttes på när objekten i 2D exporterades från ArcGIS Pro till ArcGIS Portal var att vissa av symbolerna inte följde med. Detta medförde att symbolerna behövde ändras och förenklas i onlineverktyget. Att ha olika symboler online och offline kan leda till otydligheter och missförstånd. Därför rekommenderas inte att symboliseringarna skiljer sig från varandra. Beroende på hur detaljerad symbolisering användaren vill ha bör andra programvaror övervägas, alternativt kan symboliseringen som gjorts i ArcGIS Portal även användas i ArcGIS Pro.

Även vid visualisering i 3D fanns problem med programvarorna. ArcGIS Portal saknar alternativ för att utvidga punktobjekt i 2D till cylindrar i 3D. Detta löstes med hjälp av att punkterna konverterades till polygoner och linjeobjekt i FME.

För att behålla enlighet mellan 2D- och 3D-modellerna kunde polygonerna för 3D-modellen skapats i samma form som symbolerna i 2D-kartan, K/C-pelarna kunde till exempel visualiserats som hexagonala även i 3D-modellen. Istället fokuserades det på att skapa en utformning som efterliknade de verkliga objekten, en teori som stötts av Bandrova (2001). Även 2D-symbolerna kunde justeras för att efterlikna 3D-symbolerna med samma färger som i denna modell. Här fokuserades det istället på att använda etablerade symboler så mycket som möjligt. För att öka kopplingen placerades istället 2D-symbolerna över markytan ovanför de tredimensionella symbolerna. Detta gjorde att objekten i 3D-modellen blev lättare att urskilja än tidigare då scenen betraktas rakt uppifrån.

3D-kartans höjdmodell upplevs som förvrängd i gränsen mellan undersökningsområdet och resten av modellen. Detta beror på att marknivån endast är inmätt inom undersökningsområdet. Det är ej klarlagt om denna utmaning är unik för testområdet eller vanligt förekommande i liknande projekt. För att minska skillnaderna mellan det inmätta området och övriga områden, föreslås tre alternativ. Det första är att i fram-

tiden mäta in ett större område, detta skulle göra att en höjdskillnad precis i slutet av aktuellt område kan undvikas. Det andra alternativet är att med hjälp av extrapolering uppskatta höjden på markytan på ett visst område utanför undersökningsområdet. Även detta alternativ skulle bidra med att undvika den hårda kant som nu finns i slutet av undersökningsområdet. Det sista alternativet går ut på att använda sig av Lantmäteriets höjdmmodell för att ge ytan utanför området en mer realistisk höjdnivå.

En av utmaningarna med projektet har varit att få en balanserad bild av vilka krav som ställs på visualiseringen. Målet har varit att kravställningen inte ska vara riktad från ett specifikt företag eller från individnivå. För att uppnå detta har vi använt oss av intervjupersoner från olika arbetsområden och aktivt arbetat på att få in andra källor än från ett specifikt företag. Inför intervjustudien kontaktades personer från flera olika företag med frågan om att medverka, dessvärre utan framgång. Målet med detta var att få in fler externa källor utöver intervjun på SGI, istället har litteraturstudien fått utgöra en större del för att ge en balanserad bild. Genom att läsa en bred mängd litteratur och ta fram eget kartmaterial är målet att kravställningen ska ha fått en balans mellan de olika områdena.

Inför intervjuerna hade frågorna kunnat struktureras upp mer. I nuläget ställdes många öppna frågor vilket gjorde att svaren blev spridda. Detta hade kunnat förbättras genom att gå igenom olika intervjutekniker innan intervjuerna genomfördes.

## 14.4 Vidare studier

### Internationell specifikation

En internationellt vedertagen standard för visualisering av undermarksdata kan antas ligga långt fram i tiden, då det i nuläget inte ens finns en internationell standard för topografiska kartor (Kent och Vujakovic, 2009). Däremot tas det steg mot en mer standardiserad hantering av geodata, till exempel genom INSPIRE-direktivet som beskrivs i avsnitt 4.3. Mer standardiserad datahantering kan tolkas som en av grundförutsättningarna för framtagande av internationella specifikationer för olika typer av visualisering. Det kan därför undersökas vilka steg som krävs för att möjliggöra för en internationell specifikation, samt hur en specifikation för just undermarksdata skulle kunna se ut.

### Programvaror för undermarksvisualisering

I den här studien användes Esris ArcGIS-produkter på grund av deras etablerade ställning i branschen, samt att verktygen fanns tillgängliga för oss att använda under studiens gång. Vidare studier kan göras på jämförelser mellan olika programvaror för visualisering av undermarksdata, och det kan undersökas om det finns öppen källkodsprogram med samma eller bättre funktionalitet.

## **Bakgrundsinformation i karta och modell**

Fallstudien i det här projektet har fokuserat på att visa objekt tillsammans med ett ortofoto. Framtida studier kan göras på möjligheterna att visualisera undermarksdata tillsammans med andra typer av bakgrundsinformation, till exempel med en topografisk karta eller utan bakgrundskarta. Genom att undersöka möjligheter med olika typer av bakgrund kan specifikationen utvärderas och förbättras för att kunna implementeras i större utsträckning.

## **Miljögeoteknik och förorenad mark**

I intervjudelen av rapporten intervjuades två personer som jobbar med miljögeoteknik. Bakgrunden till att intervjua anställda inom detta teknikområde var att det initialt fanns en ambition om samgranskning mellan miljögeoteknik, geoteknik och geokonstruktioner. På grund av avgränsningar för denna rapport fanns inte utrymme för att undersöka hur miljögeoteknik kan samgranskas med de andra områdena. Detta är dock ett intressant område för vidare undersökningar.

## **Osäkerhetsbedömningar**

Intervjuerna som genomfördes visade att det finns ett stort intresse för att ta fram osäkerhetsbedömningar tillsammans med modeller över till exempel bergöveryta eller jorddjup. I nuläget finns det inget tydligt sätt att visa osäkerhet i en modell. En fördel med en osäkerhetsmodell är att det blir lättare att planera resurser och åtgärder, då den kan visa på var den finns bristande information och var en modell kan antas stämma väl med de verkliga förhållandena. För att en osäkerhetsbedömning ska vara till nytta krävs det dock att den baseras på tillräckliga data, och att det finns en förståelse för de underliggande geologiska förhållandena i det område som bedöms. Det bör också kunna kommuniceras på ett tydligt sätt vilka typer av osäkerheter modellen innehåller och representerar.

# 15 Slutsatser

Ett av den här rapportens syften har varit att studera fördelar med en nationell samordning av undermarksdata. Genom denna studie har vi kunnat identifiera en trend mot ökad digitalisering såväl som ökad samordning av hantering av geografiska och geotekniska data. Trenden anses gälla både i Sverige och internationellt. Detta kopplat till förtätningen av städer och det ökade behovet av utrymme i områden som redan är spatialt ansträngda indikerar ett behov av mer undermarksanvändning, och därmed bättre undermarksplanering.

Slutsatsen kring detta är att undermarken är en viktig resurs som används av flera olika aktörer. För att detta ska kunna fortgå utan spatiala konflikter krävs att information om undermarken dokumenteras noggrant och är åtkomlig för alla parter. Fördelar med samordnad undermarksinformation är minskade kostnader i början av byggprojekt, högre kvalitet på datan och minskad informationsförlust. Detta leder i sin tur till en mer effektiv samhällsbyggnadsprocess.

Ett annat syfte med rapporten har varit att undersöka vilka krav det finns för tydlig visualisering av geokonstruktioner och geoteknisk information. För att sätta detta i ett större sammanhang har litteratur kring visualiseringsprinciper och kartografi studerats. På så sätt har de åsikter och önskemål som samlats in genom intervjuer kunnat tolkas utifrån ett kartografiskt tankesätt. Därigenom har de kunnat omsättas till krav som sedan utgjorde riktlinjerna för vår visualiseringsprocess.

Genom en avvägning av de teman som lyftes i intervjuerna gentemot de kartografiska principer som diskuteras i litteraturgenomgången har ett antal krav identifierats, och ställts upp som allmänna krav för visualisering. Därutöver presenteras mer specifika krav gällande teknikområdena geoteknik och geokonstruktioner. Ett exempel på ett krav för tydlig visualisering av geotekniska data är användandet av det betecknings-system som ges ut av Svenska Geotekniska Föreningen, SGF. Ett allmänt krav är att provtagnings-ID på undersökningspunkter ska vara synliga i en 2D-karta. Sammantaget utgör dessa krav svaret till vår andra forskningsfråga, och presenteras i kapitel 9.

Rapportens tredje syfte har varit att utifrån de krav som tagits fram försöka utforma en rekommenderad specifikation för visualisering av geokonstruktioner och geotekniska data. Slutsatsen är de rekommendationer som presenteras i kapitel 13, som svarar på hur en sådan specifikation kan se ut. Exempel på en specifikation som presenteras här är pålar i 2D som bör visualiseras som en kvadrat med ett kryss och en pil åt den riktning pålen lutar. En stor fördel med denna visualisering är att den visar vilken åt riktning pålen lutar.

# Litteraturförteckning

- Apeh, M. M. och Abdul Rahman, A. 2023. A Review of 3D Spatial Data Models for Surface and Subsurface Integration of Spatial Objects. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-4/W6-2022:15–23.
- Bandrova, T. 2001. Designing of symbol system for 3d city maps. In *20th International Cartographic Conference*, volume 2, pages 1002–1010.
- Bang-Kittilsen, A. och Midtbø, T. 2021. Imaging the subsurface: how different visualizations of cross-sections affect the sense of uncertainty. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 5:1–16.
- Boverket 2021. Vart är vi på väg? <https://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/publikationer/2021/vart-ar-vi-pa-vag-boverkets-malbild-om-en-digital-samhallsbyggnadsprocess/>. [2023-02-09].
- Boverket 2023. Digitalisering av befintlig detaljplaneinformation. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/digitalisering/>. [2023-02-09].
- Brewer, C. 2004. *Designing better maps: a guide for GIS users*. Environmental Systems Research.
- Brewer, C., Harrower, M., och The Pennsylvania State University 2013. ColorBrewer 2.0. <https://colorbrewer2.org/#>. [2023-04-24].
- Cetl, V., de Lima, V. N., Tomas, R., et al. 2017. Summary report on status of implementation of the inspire directive in eu.
- City of Helsinki 2020. Digital maps. <https://www.hel.fi/helsinki/en/maps-and-transport/city-maps-and-gis/geographic-information-data/digital-maps>. [2023-05-25].
- DIGG 2022. Nationella grunddata. <https://www.digg.se/ledning-och-samordning/ena---sveriges-digitala-infrastruktur/nationella-grunddata>. [2023-04-03].
- Digital Twin City Centre 2021a. 4D Digital Twin For Underground And Natural Hazards. <https://dtcc.chalmers.se/4d-digital-twin-for-underground-and-natural-hazards/>. [2023-03-07].
- Digital Twin City Centre 2021b. Digital Twin City Centre - Partners. <https://dtcc.chalmers.se/partners/>. [2023-03-06].

- Digital Twin City Centre 2021c. Digital Twin City Centre - Visualization & Auralization. <https://dtcc.chalmers.se/visualization-auralization/>. [2023-03-07].
- Esri 2021. Working with ArcGlobe and ArcScene. <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/3d-analyst/choosing-the-3d-display-environment.htm>. [2023-02-01].
- Esri 2023a. ArcGIS Arcade. <https://developers.arcgis.com/arcade/>. [2023-04-14].
- Esri 2023b. Portal - Documentation for ArcGIS Enterprise. <https://enterprise.arcgis.com/en/portal/>. [2023-05-02].
- Esri u.å. What can you add to ArcGIS Online? <https://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/reference/supported-items.htm>. [2023-02-16].
- European Commission 2015a. INSPIRE registry - Mineral resources. <https://inspire.ec.europa.eu/theme/mr>. [2023-02-16].
- European Commission 2015b. INSPIRE registry - Geology. <https://inspire.ec.europa.eu/theme/ge>. [2023-02-14].
- European Commission 2023. About INSPIRE. <https://inspire.ec.europa.eu/about-inspire/563>. [2023-02-03].
- European Commission u.å. Smart cities. [https://commission.europa.eu/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities\\_en](https://commission.europa.eu/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities_en). [2023-03-15].
- Friberg, O., Svensson, M., och Hansson, P. 2018. Ordning och reda i undermarksrymden tydliggör osäkerheter. *Bygg & teknik*, 110(1/18).
- GW Prime 2021. Singapore goes Underground with The Digital Underground Project. <https://www.geospatialworld.net/prime/case-study/aec/singapore-goes-underground-with-the-digital-underground-project-2/>. [2023-02-20].
- Harrie, L., editor 2020. *Geografisk informationsbehandling : teori, metoder och tillämpningar*. Studentlitteratur AB.
- Human, L. och Jupp, B. 2016. Geotechnical data collection and presentation-it starts and ends with a vision.
- Inkscape u.å. Features of Inkscape. <https://inkscape.org/about/features/>. [2023-05-17].
- Kent, A. J. och Vujakovic, P. 2009. Stylistic diversity in european state 1: 50 000 topographic maps. *The Cartographic Journal*, 46(3):179–213.



- Klintborg, M. och Stölen, L. K. 2022. Årsrapport för aktiviteten förberedelser etablering av grunddatadomän fastighets- och geografisk information. [https://www.lantmateriet.se/contentassets/daae1f30bb734f00a33ff651b9b5f40a/aktivitet-4\\_arsrapport-for-aktiviteten-etablering-grunddatadoman\\_fastighets--och-geografisk-information-2022.pdf](https://www.lantmateriet.se/contentassets/daae1f30bb734f00a33ff651b9b5f40a/aktivitet-4_arsrapport-for-aktiviteten-etablering-grunddatadoman_fastighets--och-geografisk-information-2022.pdf). [2023-04-04].
- Kraak, M.-J. och Ormeling, F. 1996. *Cartography Visualization of Geospatial Data*. Pearson Education Limited.
- Lantmäteriet 1996. HMK - Kartografi.
- Lantmäteriet 2022. Hmk - handbok i mät- och kartfrågor. <https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/hmk---handbok-i-mat--och-kartfragor/#anchor-0>. [2023-04-03].
- Lantmäteriet 2023. Handbok i mät- och kartfrågor, HMK - Nyhetsbrev nr 1, 2023. <https://www.lantmateriet.se/sv/om-lantmateriet/press/nyhetsbrev/handbok-i-mat--och-kartfragor-hmk/nyhetsbrev-nr-1-2023/>. [2023-04-03].
- Lantmäteriet u.å. Grunddatadomän Fastighets- och geografisk information (geodata). <https://www.lantmateriet.se/sv/smartare-samhallsbyggnadsprocess/om-projektet/grunddatadoman-fastighets--och-geografisk-information-geodata/>. [2023-04-03].
- Lantmäteriet och SGU 2019. Rapport Geodatarådets Handlingsplan 2018.
- Malmö Stad u.å. Nyhamnen. <https://malmo.se/Stadsutveckling/Stadsutvecklingsomraden/Nyhamnen.html>.
- Morales Lucas, C., de Mingo López, L. F., och Gómez Blas, N. 2018. Natural Computing Applied to the Underground System: A Synergistic Approach for Smart Cities. *Sensors*, 18(12):4094.
- Morin, G. 2016. Geotechnical BIM: Applying BIM principles to the subsurface. *Autodesk University 2016*.
- Narayanan, L. K. och Sankaranarayanan, S. 2019. IoT Enabled Smart Water Distribution and Underground Pipe Health Monitoring Architecture for Smart Cities. In *IEEE 5th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, pages 1–7.
- Nilsson, K. L., Norrman, J., Ericsson, L. O., Markstedt, A., Volchko, Y., och Sjöholm, J. 2020. Nya dimensioner i svensk planering: En utredning om undermarksplanering och geosystemtjänster.
- Peterson, G. N. 2020. *GIS cartography: a guide to effective map design*. CRC Press.
- Preece, J., Sharp, H., och Rogers, Y. 2015. *Interaction design: beyond human-computer interaction*. John Wiley & Sons.

- Ruohomäki, T., Airaksinen, E., Huuska, P., Kesäniemi, O., Martikka, M., och Suomisto, J. 2018. Smart City Platform Enabling Digital Twin. In *International Conference on Intelligent Systems (IS)*, pages 155–161.
- Rydén, A. 2016. Member State Report: INSPIRE – Sweden, 2013-2015.
- Safe uå. What is Data Conversion? <https://www.safe.com/what-is/data-conversion/>. [2023-02-01].
- Seipel, S., André, M., Larsson, K., Paasch, J. M., och Paulsson, J. 2020. Visualization of 3d property data and assessment of the impact of rendering attributes. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 4(2):23.
- SGF 2016. SGF/BGS Beteckningssystem. <http://www.sgf.net/web/page.aspx?refid=2674>. [2023-04-04].
- SGF, B. 2001. SGF/BGS Beteckningssystem.
- SGI 2013. BGA Branschens Geotekniska Arkiv - geosuite borrhål. <https://bga.sgi.se//>. [2023-02-20].
- SGI 2014. Geoteknisk sektorportal, Nationell samlingsplats för geotekniskt underlag.
- SGI 2018. Klimatlasters effekter på naturlig mark och geokonstruktioner.
- SGI 2022. Geoteknik och miljögeoteknik. <https://www.sgi.se/sv/kunskapscentrum/om-geoteknik-och-miljogeoteknik/geoteknik-och-markmiljo//>. [2023-03-10].
- SGI u.å. Geoteknik sektorportal. <https://gis.swedgeo.se/startgsp/>. [2023-02-16].
- SGU 2014. Webbkartografi vid SGU. <https://www.sgu.se/globalassets/produkter/kartor/om-webbkartografin-vid-sgu.pdf>. [2023-05-02].
- SGU 2016. Produktbeskrivning: Berggrundsobservationer. <https://resource.sgu.se/dokument/produkter/berggrundsobservationer-beskrivning.pdf>.
- SGU 2017. Lägesrapport för åtgärd till miljömålsrådet storstadsutveckling – behov av undermarksplanering.
- SGU 2021. Brunnsarkivet. <https://www.sgu.se/grundvatten/brunnar-och-dricksvatten/brunnsarkivet/>. [2023-05-02].
- SGU u.å. Berggrundsdata. <https://www.sgu.se/produkter-och-tjanster/geologiska-data/vara-data-per-amnesomrade/berggrundsgeologiska-data/>. [2023-03-14].
- SGU u.å. Kartvisaren. <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-berg-50-250-tusen.html>. [2023-04-24].
- Shojaei, D., Kalantari, M., Bishop, I. D., Rajabifard, A., och Aien, A. 2013. Visualization requirements for 3d cadastral systems. *Computers, Environment and Urban Systems*, 41:39–54.

- Singapore-ETH Centre 2022. Digital Underground. <https://sec.ethz.ch/research/digital-underground.html>. [2023-02-20].
- Smart Built Environment 2020a. 3CIM. [https://smartbuilt.se/media/fwldxqt5/3cim\\_grundpresentation.pdf](https://smartbuilt.se/media/fwldxqt5/3cim_grundpresentation.pdf). [2023-03-06].
- Smart Built Environment 2020b. Digital Twins in the Built Environment - Pre-study. [https://smartbuilt.se/media/zoalymzo/slutrappport-frstudie\\_digitala-tvillingar-i-samhallsbyggnadsprocessen.pdf](https://smartbuilt.se/media/zoalymzo/slutrappport-frstudie_digitala-tvillingar-i-samhallsbyggnadsprocessen.pdf).
- Smart Built Environment 2021. Utredning för fortsättning av projekt - Digitala tvillingar i samhallsbyggnadsprocessen. [https://www.smartbuilt.se/media/emqhh40t/slutrappport-fortsttning-utredning-digitala-tvillingar\\_s-2021-05.pdf](https://www.smartbuilt.se/media/emqhh40t/slutrappport-fortsttning-utredning-digitala-tvillingar_s-2021-05.pdf).
- Svensk Byggtjänst 2016. CoClass – nya generationen BSAB klassifikation och tillämpning.
- Svensson, M. 2016. GeoBIM for optimal use of geotechnical data. In *NGM 2016 Reykjavik*, pages 605–612.
- Svensson, M. och Friberg, O. 2017. GeoBIM - a tool for optimal geotechnical design. In *ICSMGE 2017 Seoul*.
- Svensson, M. och Friberg, O. 2019a. CoClass för geotekniska objekt möjliggör full BIM-kompatibilitet. *Bygg & teknik*, 111(1/19).
- Svensson, M. och Friberg, O. 2019b. Effektiv kommunikation av geo-relaterad undermarksinformation i ett LCC-perspektiv.
- Svensson, M. och Friberg, O. 2020. CoClass för geotekniska BIM-objekt - nu finns koderna. *Bygg & teknik*, 112(1/20).
- Uggla, M., Olsson, P., Abdi, B., et al. 2023. Future Swedish 3D City Models — Specifications, Test Data, and Evaluation. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(2):47.
- UN-Habitat 2022. Envisaging the Future of Cities. *World Cities Report*.
- Vähäaho, I. 2012. Underground resources and master plan in Helsinki. In *Proceedings of the 13th World Conference of the Associated Research Centers for the Urban Underground Space*, pages 7–9.
- Vähäaho, I. 2019. Helsinki Urban Underground Spaces - Guidelines for visitors. [www.researchgate.net/publication/335790309\\_Helsinki\\_Urban\\_Underground\\_Spaces\\_-\\_Guidelines\\_for\\_visitors](http://www.researchgate.net/publication/335790309_Helsinki_Urban_Underground_Spaces_-_Guidelines_for_visitors). [2023-03-30].
- Vähäaho, I. och City of Helsinki 2019. Underground Helsinki. <https://www.myhelsinki.fi/en/see-and-do/underground-helsinki>. [2023-03-28].
- van Manen, M., olde Scholtenhuis, L., och Voordijk, H. 2022. Empirically validating five propositions regarding 3D visualizations for subsurface utility projects. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 29(6):2535–2553.

- Wang, C., Pouliot, J., och Hubert, F. 2012. Visualization principles in 3D cadastre: a first assessment of visual variables.
- Zelazko, A. 2022. RGB colour model. <https://www.britannica.com/science/RGB-colour-model>.

# Bilaga A

## CoClass-koder för undermarken

Nedan presenteras CoClass-koder för undermarken. Underklasserna har i sin tur flera underklasser för de olika typerna av objekt, se figur A.1. Klasserna delas vidare in i objektstyper, se exempel i figur A.2. Med hjälp av utvidgningen av CoClass möjliggörs infogandet av undermarksdata i modeller som tidigare främst har behandlat övermarksinformation. Kodsättningen i CoClass öppnar för enklare och vidare samordning (Svensson och Friberg, 2020).

<b>UU_ Befintlig mark</b>	<b>ZG_ Geoteknikrelaterat undersökningsobjekt</b>	<b>ZH_ Terrängmodell</b>
UUA Berg	ZGA Undersökningspunkt	ZHA Silhuettmodell
UUB Friktionsjord	ZGB Undersökningslinje	ZHB Markmodell
UUC Kohesionsjord	ZGC Undersökningsyta	ZHC Jordmodell
UUD Organisk jord	ZGD Undersökningsvolym	ZHD Bergmodell
UUE Fyllningsmaterial	ZGE Geoteknikrelaterad observation/provtagning	ZHE Grundvattenmodell
UUF Osorterad jord		ZHF Erhållen tunnelkontur
UUG Bottensediment		ZHG Vattenmotståndsmodell (Ytvattenmodell)
UUH Grundvatten		ZHH Sedimentmodell
UUJ Ytvatten		ZHJ Modell med föroreningar
UUK Föroreningar		
UUZ Obestämd jord		

**Figur A.1:** CoClass-koder för undermarksobjekt, anpassad från Svensson och Friberg (2020).

<b>UU_ Befintlig mark</b>
<p><b>UUG Bottensediment</b> (befintlig mark, under vatten)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• UUG10 Finkorniga bottensediment</li> <li>• UUG20 Grovkorniga bottensediment</li> <li>• UUG30 Osorterade bottensediment</li> <li>• UUG40 Organiska bottensediment</li> </ul>
<p><b>UUH Grundvatten</b> (vatten i befintlig mark)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• UUH10 Fri grundvattennivå</li> <li>• UUH20 Trycknivå</li> <li>• UUH30 Grundvattenmagasin</li> </ul>
<p><b>UUJ Ytvatten</b> (vatten i befintlig mark)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• UUJ10 Våtmark</li> <li>• UUJ20 Småvatten</li> <li>• UUJ30 Anlagda dammar</li> <li>• UUJ40 Sjöar</li> <li>• UUJ50 Vattendrag</li> <li>• UUJ60 Övergångsvatten (hav)</li> <li>• UUJ70 Kustvatten (hav)</li> <li>• UUJ80 Öppet vatten (hav)</li> </ul>
<p><b>UUK Föroreningar</b> (kontaminerad befintlig mark)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• UUK10 Förorening i berg</li> <li>• UUK20 Förorening i jord</li> <li>• UUK30 Förorening i grundvatten</li> <li>• UUK40 Förorening i ytvatten</li> <li>• UUK50 Förorening i sediment</li> </ul>

**Figur A.2:** Vidare underklasser för undermarksobjekt i CoClass, anpassad från Svensson och Friberg (2020).

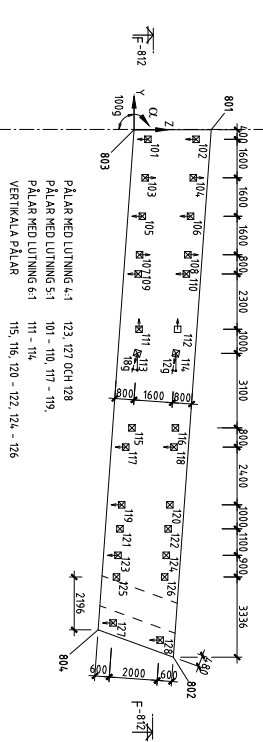
## A.1 Referenser

Svensson, M. och Friberg, O. 2020. CoClass för geotekniska BIM-objekt - nu finns koderna. *Bygg & teknik*, 112(1/20).

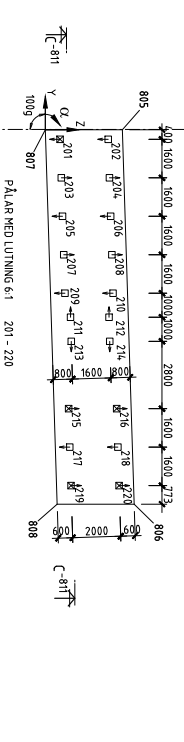
# Bilaga B

## Pållritning

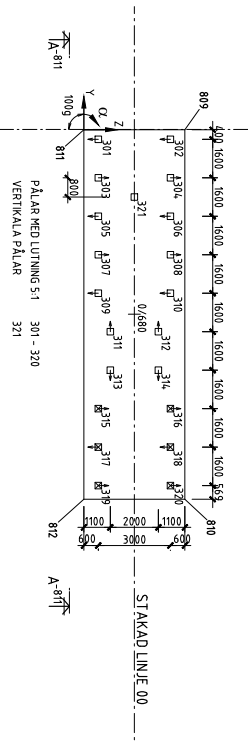
Nedan visas en anonymiserad ritning från ett redan genomfört projekt. Ritningen är ett exempel på möjlig visualisering av pållar. I rapporten används denna bilaga för att underbygga argumentationen angående visualisering av pållar.



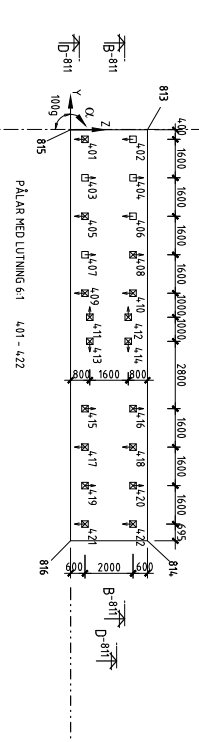
PÄLLAR MED LUTNING 4.1 123, 127 OCH 128  
 PÄLLAR MED LUTNING 5.1 101 - 110, 117 - 119,  
 PÄLLAR MED LUTNING 6.1 111 - 114,  
 VERTIKALA PÄLLAR 115, 116, 120 - 122, 124 - 125



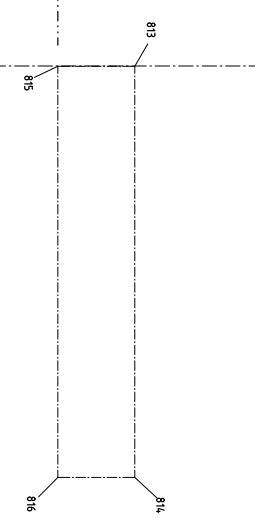
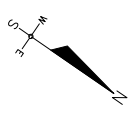
PÄLLAR MED LUTNING 6.1 201 - 220



PÄLLAR MED LUTNING 5.1 301 - 320  
 VERTIKALA PÄLLAR 321



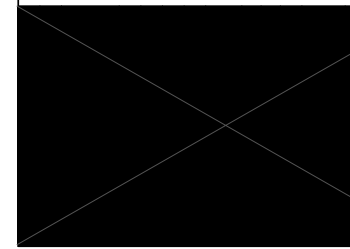
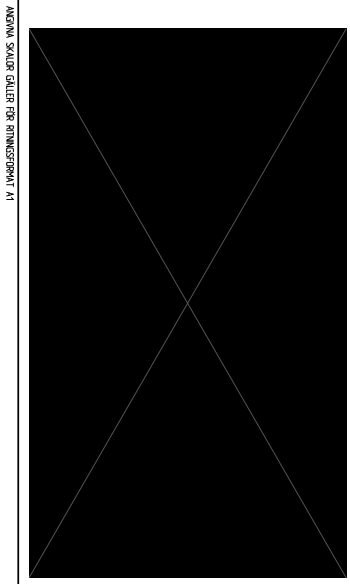
PÄLLAR MED LUTNING 6.1 401 - 422



PÄLLAR MED LUTNING 4.1 501, 502, 505 - 510, 515, 516, 519, 520, 527 OCH 528  
 PÄLLAR MED LUTNING 5.1 503 OCH 504  
 PÄLLAR MED LUTNING 6.1 511 - 514,  
 VERTIKALA PÄLLAR 517, 518 OCH 521 - 526

PLAN 1:100

- ▬ MARKERAR PÄLE MED LUTNING I PELENS RIKTNING
  - ▬ MARKERAR FÖRANKRAD PÄLE MED LUTNING I PELENS RIKTNING
  - MARKERAR VERTIKAL PÄLE
  - ▨ MARKERAR FÖRANKRAD VERTIKAL PÄLE
- PÄLLÅNGD: 65m  
 PÄLLTYP: 1
- PÄP**  
 DRAGEN PÄLE  
 FÖRANKRAS GENOM FRILÄGGNING OCH  
 INGLUTNING AV LÅNGSÅRRENNEN



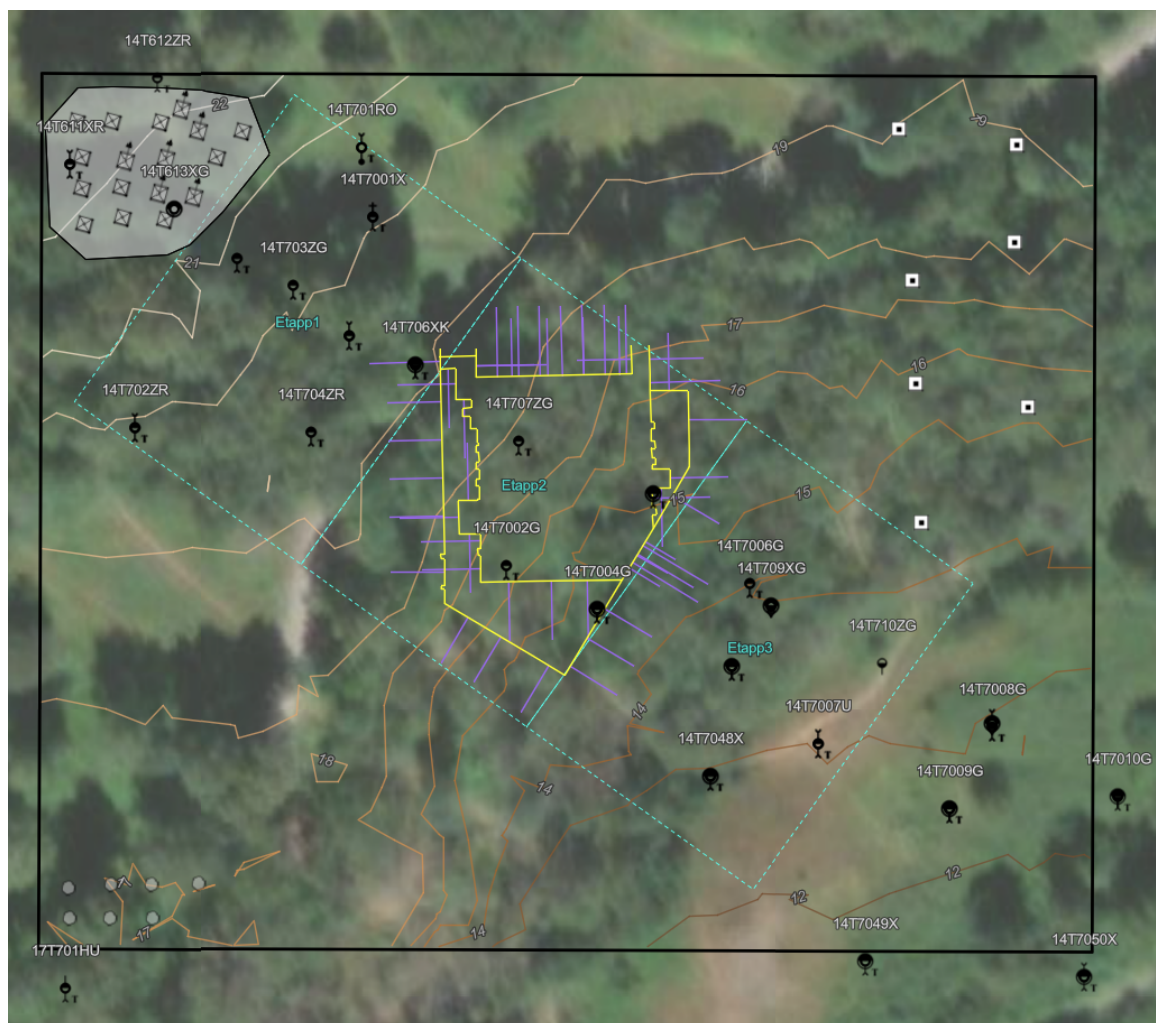


# Bilaga C

## Specifikation

Bilagan innehåller förslag på visualisering i form av bilder på översiktskartor i både 2D och 3D, samt legender för 2D och 3D. Förslaget följer den specifikation som tagits fram och presenterats i rapporten, och visar hur en helhetsimplementering av specifikationen ser ut.

### C.1 Två dimensioner



Figur C.1: Översiktlig bild av objekten i 2D .

## Geokonstruktioner

### Brunnar

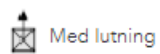


### K/C-pelare



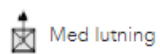
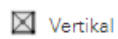
### Cirkulära pÅlar

Custom



### Kvadratiska pÅlar

Custom



### Spont



### Stag

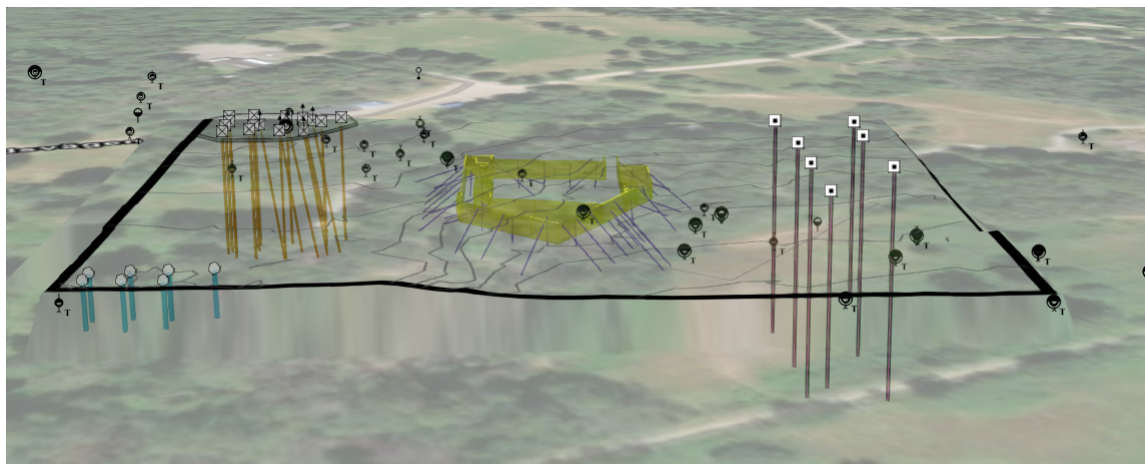


### PÅldäck



Figur C.2: Legend för 2D-kartan.

## C.2 Tre dimensioner



**Figur C.3:** Översiktlig bild av objekten i 3D .

Objekt	3D	Tillhörande punktsymboler
Pålar cirkulära		 Med lutning
		 Utan lutning
Pålar kvadratiska		 Med lutning
		 Utan lutning
Energibrunnar		
K/C-pelare		
Spont		
Stag		
Påldäck		

Figur C.4: Legend för 3D-kartan.

## **Institutionen av naturgeografi och ekosystemvetenskap, Lunds Universitet**

Student-examensarbete (seminarieuppsatser) i geografisk informationsteknik.

Uppsatserna finns tillgängliga på institutionens geobibliotek, Sölvegatan 12, 223 62 LUND. Serien startade 2010. Hela listan och själva uppsatserna är även tillgängliga på LUP student papers och via Geobiblioteket ([www.geobib.lu.se](http://www.geobib.lu.se)).

Serie examensarbete i geografisk informationsteknik

1. Patrik Carlsson och Ulrik Nilsson (2010) Tredimensionella GIS vid fastighetsförvaltning
2. Karin Ekman och Anna Felleson (2010) Att välja grundläggande karttjänst - Utveckling av jämförelsemodell och testverktyg för utvärdering
3. Jakob Mattsson (2011) Synkronisering av vägdatabaser med KML och GeoRSS - En fallstudie i Trafikverkets verksamhet
4. Patrik Andersson and Anders Jürisoo (2011) Effective use of open source GIS in rural planning in South Africa
5. Nariman Emamian och Martin Fredriksson (2012) Visualisering av bygglovsärenden med hjälp av Open Source-verktyg - En undersökning kring hur man kan effektivisera ärendehantering med hjälp av en webbapplikation
6. Gustav Ekstedt and Torkel Endoff (2012) Design and Development of a Mobile GIS Application for Municipal FieldWork
7. Karl Söderberg (2012) Smartphones and 3D Augmented Reality for disaster management - A study of smartphones ability to visualise 3D objects in augmented reality to aid emergency workers in disaster management
8. Viktoria Strömberg (2012) Volymberäkning i samhällsbyggnadsprojekt
9. Daniel Persson (2013) Lagring och webbaserad visualisering av 3D stadsmodeller - En pilotstudie i Kristianstad kommun
10. Lisette Danebjer och Magdalena Nyberg (2013) Utbyte av geodata - studie av leveransstrukturer enligt Sveriges kommuner och landstings objekttypskatalog
11. Alexander Quist (2013) Undersökning och utveckling av ett mobilt GISsystem för kommunal verksamhet
12. Nariman Emamian (2014) Visning av geotekniska provborrningar i en webbmiljö
13. Martin Fredriksson (2014) Integrering av BIM och GIS med spatiala databaser – En prestandaanalys
14. Niklas Krave (2014) Utveckling av en visualiseringsapplikation för solinstrålningsdata
15. Magdalena Nyberg (2015) Designing a generic user interface for distribution of open geodata: based on FME server technology

16. Anna Larsson (2015) Samredovisning av BIM- och GIS-data
17. Anton Lundkvist (2015) Development of a WEB GI System for Disaster Management
18. Ellen Walleij (2015) Mapping in Agricultural Development – Introducing GIS at a smallholders farmers’ cooperative in Malawi
19. Frida Christiansson (2016) Lagring av 3D - geodata - en fallstudie i Malmö Stad
20. Lisette Danebjer (2016) Methodology for creating and modifying distributed topologically structured geographical datasets
21. Jeanette Dunn Ekelund (2016) En jämförelse av algoritmer och resultat för flödesberäkning i QGIS/GRASS och ArcGIS
22. Ebba Gröndahl och Frida Thorman (2016) Verksamhetens optimala läge i staden och hur de är lokaliserade idag
23. Gunnar Rolander (2017) Data transformation using linked data ontologies
24. Måns Andersson och Moa Eklöf (2017) Stilsättning av geografiska data
25. Josefine Axelsson (2018) Automatisering av bygglovsansökningsprocessen med stöd av BIM och GIS
26. Leonard B. O. Berge (2018) Uppdatering och visualisering av stadsmodell med stöd av konverterade BIM-modeller
27. Rickard Ingesson & Gabriella Olsson (2019) Publicering av geografiska data på webben : En utvärdering av programsystem med fokus på öppen källkod
28. Alfred Hildingson & Patrik Sylve (2020) Visualisering av stadsmodeller på webben : Jämförande studie mellan CityGML och CityJSON
29. Isabelle Andersson (2020) Indoor positioning systems in office environments : a study of standards, techniques and implementation processes for indoor maps
30. Sebastian Roos & August Cnattingius (2021) Covid-19-pandemins konsekvenser på svenskt näringsliv - en Space Syntax analys : Hur har konkursutsattheten och arbetslösheten förändrats för detaljhandel, hotell och restauranger till följd av restriktioner som begränsar besöksnäring?
31. Emelie Ulin (2021) Simuleringar i planeringsprocessen med 3D-stadsmodeller
32. Alfred Hirschfeld & Christoffer Karlsson (2022) Designing and implementing a geospatial mobile application
33. Andreas Ahlström (2022) 3D-stadsmodeller för mindre kommuner - vad är behoven och vilka standarder krävs?
34. Jorun Westman (2022) Looking for shrubs in an alvar - Investigating classification of orthophotos as a way of mapping shrub species *Juniperus communis* and *Dasiphora fruticosa* on Stora Alvaret, Öland

35. Sophia Bladh & Ylva Kjellberg (2023) Enhetlig visualisering av geotekniska data och geokonstruktioner - En intervju- och implementeringsstudie