

3D stadsmodeller för mindre kommuner – vad är behoven och vilka standarder krävs?

Andreas Ahlström

Civilingenjörsutbildningen i Lantmäteri
Lunds Tekniska Högskola

Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap
Lunds Universitet





LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

3D stadsmodeller för mindre kommuner – vad är behoven och vilka standarder krävs?

EXTM05 Master uppsats, 30 hp
Civilingenjörsutbildningen i Lantmäteri

Andreas Ahlström

Handledare:

Lars Harrie

Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap

Maj 30, 2020

Examinator: Per-Ola Olsson

Copyright © Andreas Ahlström, 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 33

Tryckt av E-tryck, E-huset, 2022

Abstract

A 3D city model is commonly used by Swedish municipalities in for example city planning or building permit assessment. There are however various kinds of 3D city models of which some are described in this report, for example a *semantic 3D object model*, *mesh model*, *CIM model* or a *digital twin model*. Even though a 3D city model is common and there are standards available, there are no nationwide recommendations for the specifications of a 3D city model in Sweden. This leaves municipalities with the option to structure the 3D city model mostly by forming their own specifications, which hopefully fit their needs. In the study some of the known 3D city model standards were examined such as *CityGML*, *Lantmäteriets nationella specifikationer för byggnad* and *3CIM*. The aim was partly to study municipalities and their need for the models, while also identifying which standards and specifications that could meet their needs.

Among Sweden's 290 municipalities, a majority are countryside city municipalities. In this work a case study was conducted where three municipalities were interviewed, two small ones and one large. The case study were conducted to investigate which type of 3D city models are being used and what the different sized municipalities needs and applications are. The case study showed that two smaller municipalities foremost need for a 3D city model is as a tool to assess building permits. The study also describes some of the most common applications for a 3D city model in Sweden, for example the application as a visualization tool in the planning process or to study the amount of shadow casting in the city.

A small-town city block was restructured to follow the new 3CIM standard, 3CIMver1. This was done to investigate the amount of work it takes to adapt a small-town 3D city model to 3CIMver1. The study showed that it is possible to restructure a small part of the city model to 3CIMver1, but it also shows that it might prove difficult when managing a bigger amount of data. The study also formulates recommendations on specifications for a 3D city model according to the needs and applications studied. One recommendation is modelling the building footprint after the building facade and not the exterior roof edge, especially if the model is to be used in building permit assessment.

Sammanfattning

Allt fler svenska kommuner utformar eller införskaffar 3D stadsmodeller för att möta behov exempelvis inom planeringsarbete eller bygglovsbedömning. Det finns flera typer av 3D stadsmodell varav några beskrivs i denna rapport, exempelvis en *semantisk 3D objektsmodell*, *meshmodell*, *CIM modell* eller en *digital tvilling*. Trots att flera kommuner sedan länge nyttjat 3D stadsmodeller finns ännu inga nationellt enhetliga specifikationsrekommendationer. Det medför att kommuner på egen hand och efter egna behov utformar specifikationer för 3D stadsmodellen, med risk för att upprepa de misstag andra kommuner kanske redan gjort. Vidare finns även risken att flera kommuner i framtiden behöver omstrukturera sina stadsmodeller vid anpassning till nya standarder som just nu är under uppbyggnad. I arbetet studeras några av de standarder som finns för 3D stadsmodeller nämligen CityGML, Lantmäteriets nationella specifikationer för byggnad och 3CIM. Syftet med studien var bland annat att studera mindre kommunernas behov av 3D stadsmodeller samt vilka standarder som finns och som kan stödja behoven.

Sverige har 290 kommuner och många av de är just mindre kommuner. I arbetet intervjuas därför två mindre kommuner och en större kommun i en fallstudie, för att undersöka vilka 3D stadsmodeller, behov och tillämpningar som finns. Den stora kommunen inkluderades för att eventuellt upptäcka skillnader mellan olika stora kommuner. Fallstudien visade bland annat att några mindre kommuners främsta behov av en 3D stadsmodell är som underlag vid bygglovsbedömning. I arbetet studerades även de tillämpningar som är allmänt vanliga i det svenska kommunala nyttjandet av en 3D stadsmodell, exempelvis som underlag i planarbetet eller vid en skuggstudie.

I studien anpassades även ett kvarter av en mindre kommuns 3D stadsmodell till 3CIMs första version, 3CIMver1. Syftet med anpassningen var att undersöka vilken arbetsinsats som kan krävas när en mindre kommun vill ansluta sin stadsmodell till 3CIMver1, en standard som utvecklats av stora kommuner och aktörer inom 3D stadsmodellering. Undersökningen visade att det är möjligt att anpassa en del av en mindre kommuns 3D stadsmodell till 3CIMver1. Undersökningen visade även att just omstrukturering av transportlinjer till transportytor, vilket är obligatoriskt i 3CIMver1, kräver en större arbetsinsats. I arbetet utformades även specifikationsrekommendationer utifrån de behov och specifikationer som studien visat. En rekommendation var bland annat att en byggnads husliv karteras utifrån fasadlivet om 3D stadsmodellen skall användas som underlag vid bygglovsbedömning.

Förord

Studien är ett examensarbete i geografisk informationsteknik för Civilingenjörsprogrammet inom Lantmäteri på Lunds Tekniska Högskola, skrivet och publicerat för Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskaper på Lunds universitet. Studien är genomförd hos Swescan AB. Swescan AB har även tillhandahållit data och kontakter. I studien användes ETL-verktyget FME från Safe Software.

Tack Lars Harrie för god vägledning och kontinuerlig feedback genom hela arbetet.

Tack alla på Swescan som varit ytterst behjälpliga och ordnat data, kontakter eller expertis.

Tack till Tommy Lind, Mats Jeppsson och Maria Ugglå som avsatt er tid för intervju och bidragit med viktig information samt kompletterande svar när det behövts.

Tack Miriam för din stöttning under hela våren.

Innehåll

1. Introduktion	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Forskningsfrågor.....	2
1.4 Avgränsningar.....	2
1.5 Metod.....	2
1.6 Disposition.....	3
2. Standarder inom 3D stadmodellering	4
2.1 Definitioner	4
2.2 Standarder.....	7
3. En 3D stadsmodells tillämpningar	18
3.1 Tillämpningar.....	18
3.2 Versionshantering	27
4. Fallstudie	27
4.1 Inledning.....	27
4.2 Stockholm stads 3D stadsmodell	28
4.3 Älmhults kommuns 3D stadsmodell	30
4.4 Ulricehamns kommuns 3D stadsmodell	32
4.5 Sammanställning fallstudie.....	34
5. 3CIMver1 för en mindre kommun	35
5.1 Inledning.....	35
5.2 Omstrukturering av dataunderlaget.....	37
5.3 Sammanfattning	41
6. Diskussion.....	42
6.1 Behovsbilden	42
6.2 Standardlandskapet.....	42
6.3 Anslutning till 3CIMver1	44

6.4 Specifikationsrekommendationer	45
7. Slutsatser.....	49
Referenser.....	51
Bilaga 1.....	59
Bilaga 2.....	60
Bilaga 3.....	61
Bilaga 4.....	63
Bilaga 5.....	65

Definitioner kortfattat

3D stadsmodell	En modell som representerar den urbana miljön med en tredimensionell återgivning av urbana objekt, med fokus på byggnader
BIM	<i>Building Information model</i> , En digital (ofta detaljerad) byggnadsmodell som används inom byggnadssektorn
CIM	<i>City Information model</i> , En informationsrik semantisk 3D stadsmodell
Digital tvilling	Semantisk 3D stadsmodell inklusive dynamisk information
Fotorealistic modell	En modell som vars färgsättning är direkt hämtad från foto
Geodata	Data som har en geografisk anknytning
GIS	<i>Geografiska informationssystem</i> , Begreppet innefattar olika system och tekniker som behandlar geodata
Informationsspecifikation	En specifikation som anger hur en viss information skall återges
LOD	<i>Level Of Detail</i> , Ett begrepp hämtat från CityGML som specificerar ett objekts geometriska detaljnivå
Meshmodell	En geometrisk modell bestående av ett nätverk av noder och kanter (ofta trianglar). Vanligtvis skapad utifrån fotogrammetrisk bildmatchning.
Multipunkt, multilinje, multiyta, multisolid	En gruppering av geometrierna punkt, linje, yta eller solid som medför att de tillhör samma dataset
Objektsmodell	En modell uppbyggd av enskilda byggnadsobjekt
Semantisk modell	En modell där representerade objekt är säregna och med utrymme för individuella attribut
Texturerad modell	En modell som blivit draperad i en textur ofta framställd utifrån foto

1. Introduktion

1.1 Bakgrund

Digitaliseringen av Sveriges samhällsbyggnadsprocess är i full gång. I linje med digitaliseringen arbetar Lantmäteriet och Boverket på uppdrag av regeringen med att etablera en nationell digital infrastruktur inom samhällsbyggnad (Regeringskansliet 2021). Syftet med digitaliseringen är att skapa mer underbyggda beslut och en effektivare handläggning av ärenden inom samhällsbyggnad (Lantmäteriet u.å.d). I projektet *Smartare Samhällsbyggnadsprocess* bedriver Lantmäteriet även ett arbete som syftar att tillgängliggöra enhetlig och öppen information för aktörer inom samhällsbyggnadsprocessen. I arbetet tar de bland annat fram nationella specifikationer för de datamängder som skall anslutas till Lantmäteriets nationella geodataplattform där exempelvis en kommun kan ansluta sig som producent (Lantmäteriet u.å.c).

Flera av Sveriges kommuner införskaffar samtidigt 3D stadsmodeller, som ett steg i digitaliseringsprocessen. En 3D stadsmodell är en representation av den urbana miljön med en tredimensionell geometrisk återgivning av urbana objekt och byggnadsverk, med fokus på byggnader (Biljecki et al. 2015b). Flera kommuner arbetar mot en geodatamiljö där 3D är det nya vanliga (Ugglå 2022). För att skapa och använda 3D stadsmodeller på ett nationellt enhetligt och effektivt sätt så krävs informationsstandarder. En informationsstandard ställer krav på utformning, format och typ för att underlätta överföring av information (Boverket 2019). Det finns flera standarder för 3D stadsmodeller, men dessvärre inga som används på ett nationellt enhetligt sätt i Sverige. Detta medför att flera kommuner utformar egna krav och specifikationer för sina 3D stadsmodeller.

Det finns många tillämpningar för en 3D stadsmodell varav flera som inte är möjliga med en traditionell 2D datamängd (Biljecki et al. 2015b). Längre har 3D stadsmodeller nyttjats främst som visualiseringshjälpmedel, men på senare tid har ytterligare tillämpningar utvecklats. Beräkningar, visualiseringar och simuleringar av solljus, skuggbildning eller siktlinje är exempel på tillämpningar som en 3D stadsmodell kan användas för. Det är också alltmer vanligt att 3D stadsmodeller används i kommunens planprocess som bland annat beslutsunderlag eller i plankommunikation.

Sveriges större kommuner bedriver ett arbete med att bygga upp så kallade CIM-modeller, *City Information Model* (Göteborgs stad 2020, Stockholms stad 2020). En CIM modell har en snävare definition än en 3D stadsmodell där en viktig del är hur stadens objekt hanteras. För att en modell ska definieras som CIM modell ska byggnader och andra stadsobjekt vara enskilda objekt (semantiska objekt) i modellen. Objekt skall även rymma attributdata (metadata) för att specificera individuella egenskaper. Objekt skall också länkas till stadens övriga verksamhetsdata för att behandla relationer (Gil 2020). För att ta fram informationsstandarder för en sådan typ av stadsmodell bedrivs forskningsprojektet 3CIM. Projektet ska forma effektiva standarder för att kunna behandla storskalig CIM-data från storstäderna. I Projektet samarbetar Stockholm, Göteborg och Malmö Stad tillsammans med Lunds universitet för att ta fram en svensk profil för CIM-modeller baserat på internationella standarder. Projektet ämnar bygga upp processer som blir applicerbara för mindre kommuner som vill följa i de större kommunernas fotspår (Smart Built Environment 2022d). I förlängningen är CIM-modellen tänkt att utgöra en grund för digitala tvillingar. En digital tvilling kan även behandla dynamisk information om staden, som exempelvis sensor- eller realtidsdata. Med en digital tvilling kan även avancerade simuleringar genomföras (Smart Built Environment 2022b).

Sverige har 290 kommuner, varav endast tre räknas som storstäder (SKR 2017). Storstädernas 3D stadsmodeller är under utveckling, som nämnts ovan, med stora resurser och ambitiösa mål. Dock är de allra flesta av Sveriges kommuner mindre kommuner med mycket begränsade resurser. Mot denna bakgrund uppkommer en del frågeställningar. Kan en mindre kommun bygga upp och underhålla en 3D stadsmodell eller CIM modell? Vilka behov har egentligen en mindre kommun av en 3D stadsmodell och vilka specifikationer krävs för att modellen skall uppfylla behoven? Är de standarder som utvecklas för den stora kommunen, som exempelvis 3CIM, även tillämpbara för den mindre kommunen?

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att studera mindre kommuners behov av 3D stadsmodeller samt vilka standarder som finns och eventuellt kan stödja behoven.

Syftet med arbetet är även att bidra till ökad förståelse kring vilka specifikationer som rekommenderas nationellt och som efterfrågas eller borde efterfrågas av kommunerna.

1.3 Forskningsfrågor

Arbetet ämnar svara följande frågeställningar.

1. Vilka standarder och specifikationer används och förordas för 3D stadsmodeller i Sverige?
2. Vilka behov har en mindre svensk kommun av en 3D stadsmodell?
3. Vilken typ av 3D stadsmodell kan en mindre kommun bygga upp och underhålla, med hänsyn till både de behov och standarder som finns?
4. Vad skulle krävas av en mindre kommun som vill anpassa sin 3D stadsmodell till 3CIMver1?

1.4 Avgränsningar

Endast några få exempelkommuner kommer att omfattas i arbetet. Arbetet är inte en statistisk undersökning utan endast en studie kring enstaka fall.

Arbetet kommer särskilt att inriktas på svenska kommuners användning av 3D stadsmodeller och standarder. I definitionen av en 3D stadsmodell kan olika urbana objekt ingå men fokus ligger ofta på stadens byggnader. Rapporten är således fokuserad framför allt kring specifikationer för byggnader. Övriga urbana objekt behandlas också, men inte i samma utsträckning.

Det finns många detaljer när det gäller specifikationer för en 3D stadsmodell. Denna studie avgränsas till de som är av störst vikt för de mindre kommunerna.

1.5 Metod

Arbetet inleds med en studie om standarder inom 3D stadsmodellering. I denna del av arbetet studeras relevant litteratur kring ämnena *City Information Modelling (CIM)*, 3D stadsmodellens tillämpningar, CityGML, 3CIM och Lantmäteriets specifikationer, mm.

För att undersöka vilka behov som finns hos kommunerna intervjuas personer hos olika kommuner i en fallstudie. Utifrån denna fallstudie genomförs en bedömning av kommunens behov av en 3D stadsmodell. Baserat på bedömningen studeras vilka specifikationer som kan stödja användandet. En

undersökning genomförs för att uppskatta vilken arbetsmängd som krävs för att en mindre kommuns stadsmodell skall anslutas till 3CIMver1.

I diskussionen utvärderas olika specifikationer lämplighet för olika tillämpningar. För- och nackdelar med olika specifikationer lyfts och en rekommendation ges för en 3D stadsmodells utformning. Rekommendationen baseras delvis på den generella användningen och de detaljer som framkommer i fallstudien.

Figurer som används i rapporten följer de anvisningar om källreferering som upphovsrättspersoner specifikt angett.

1.6 Disposition

Rapporten omfattas av en teoretisk del, en del om fallstudie samt en diskussion och slutsatser. Rapportens första kapitel, *Introduktion*, behandlar bakgrunden för arbetet tillsammans med frågeställningar, syfte, avgränsningar och arbetsmetod. I Kapitel 2, *Standarder inom 3D stadsmodellering*, presenteras en teoretisk bakgrund angående standardlandskapet för 3D stadsmodellering i Sverige. Här studeras vilka informationsstandarder som finns och som är under utveckling.

I Kapitel 3, *En 3D stadsmodells tillämpningar*, beskrivs några av de tillämpningar som är mest förekommande i svenska kommuner samt vilken standard som kan krävas för att uppnå detta. I Kapitel 4, *Fallstudie*, presenteras de fallstudier som genomförts. Här beskrivs olika kommuners behov, användning och framtidsplaner med en 3D stadsmodell. Sedan undersöks i kapitel 5, *3CIMver1 för en mindre kommun*, vilken arbetsinsats som skulle krävas för att ansluta en mindre kommuns 3D stadsmodell till 3CIM standarden.

I Kapitel 6, *Diskussion*, följer sedan en diskussion som utvärderar för- och nackdelar med olika specifikationer för en 3D stadsmodell. Ämnet diskuteras med avseende på specifikationer, informationsstandarder och behov. Här bedöms rimligheten med 3D stadsmodellens respektive detaljnivå utifrån kommunens tillämpningar och behov, baserat på den information som är given i litteraturstudie, fallstudie samt undersökning. Rapporten avslutas med slutsatser som svarar på de forskningsfrågor som ställts.

2. Standarder inom 3D stadmodellering

2.1 Definitioner

Inom 3D stadsmodellering finns en rad olika begrepp som ibland används liktydigt i samhällsbyggnadssektorn, trots betydande olikheter. Nedan beskrivs olika definitioner i detalj för att undvika förväxling.

2.1.1 3D stadsmodell

Biljecki et al. (2015b) definierar en 3D stadsmodell som en modell vilken representerar den urbana miljön med en tredimensionell återgivning av urbana objekt och byggnadsverk, med fokus på byggnader. Enligt denna definition kan en 3D stadsmodell variera i utformning och detaljnivå. En 3D stadsmodell är därav ett samlingsbegrepp för flera olika typer av modeller, som exempelvis en meshmodell eller en objektsmodell.

Meshmodell

En så kallad meshmodell är en typ av 3D stadsmodell. Modellens geometri utgörs av ett triangulerat nätverk av noder och kanter vilket kallas meshmodell. En meshmodell innehåller inga semantiska objekt utan är solid (Banissi & Hong Zhou 2012). Modellen skapas med hjälp av fotogrammetri, med indata i form av ett flertal bilder.

Traditionellt kan indata även assisteras av lidardata, vilket är ett punktmoln införskaffat genom laserscanning (Zhou et al. 2004). Meshmodellen kan färgsättas

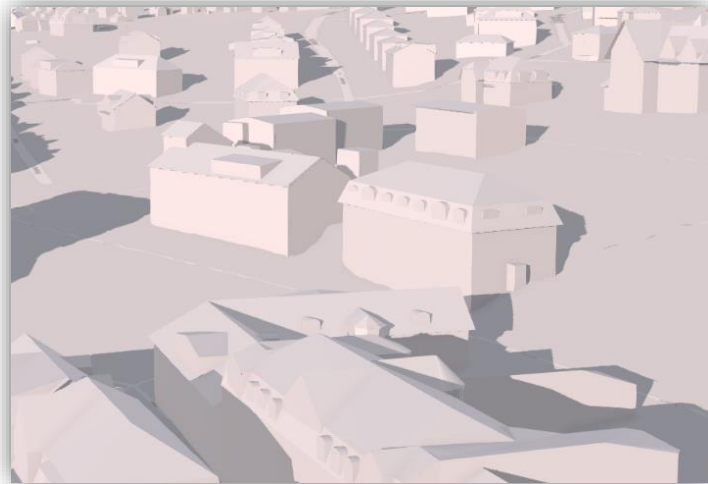
med färg från foto, vilket gör det till en fotorealistic meshmodell, se Figur 1. Meshmodeller är nästan uteslutande fotorealistic i samhällsbyggnadssektorn, vilket medför att en *fotorealistic meshmodell* ofta förkortas *meshmodell* eller *fotorealistic modell* i praktiken.

Objektsmodell

En 3D objektsmodell, ibland kallad byggnadsmodell, är ofta framställd genom inmätning av byggnadsobjekt följt av en uppritning. Den stora skillnaden gentemot en meshmodell är att objekt är uppbyggda av vektorer och punkter, vilket bildar geometriska objekt med möjlighet för semantik. Om en 3D objektsmodell är semantisk betyder det att varje objekt är separat, med möjlighet för individuella attribut, se Figur 2 och Figur 3.



Figur 1 En fotorealistic meshmodell av Heliga korsets kapell i Ångelholm framställd genom fotogrammetri. Foto SWESCAN AB



Figur 2 - Ulricehamns semantiska 3D objektsmodell med en kommunal markmodell som underlag. I denna modell är varje byggnadsobjekt separat/individuellt. Modellen är inte texturerad. (Ulricehamns kommun 2022)

Uppritning kan ske för hand, automatiserat eller i en kombination av de båda. Nyligen har Han et al. (2021) påvisat hur en meshmodell kan användas tillsammans med annan data (ortofoto, höjdmodell mm.) för att framställa en semantisk 3D objektsmodell. En semantisk objektsmodell kan även användas för att framställa en fotorealistic modell genom texturering. Enkelt förklarar innebär texturering att en modell draperas i en textur skapad från foto, se Figur 32.

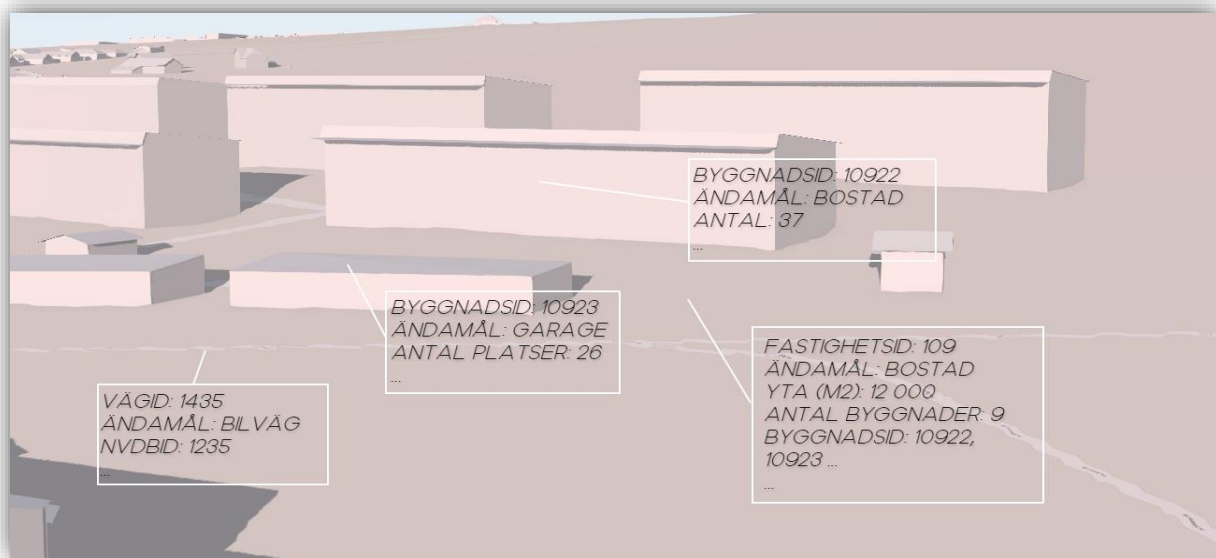
CIM modell (City Information Model)

En CIM modell baseras på en semantisk 3D objektsmodell men utöver att objekten är semantiska och innehåller individuella attribut så finns det även relationer (kopplingar) mellan objekten (Uggla 2022), se Figur 3. Dessa relationer definierar staden och dess utformning. Det kan exempelvis vara geografiska-, infrastrukturella-, ekonomiska- eller juridiska relationer.

Begreppet CIM står än så länge utan en allmänt accepterad vetenskaplig definition. Ibland används termen "modellering" i stället för "modell" men för det mesta används förkortningen CIM (Gil, J. 2020). Enligt Gil (2020) så består CIM av

"... ett ekosystem av öppna verktyg från olika kunskapsdomäner som processar, analyserar, designar, modellerar, simulerar och visualiserar data från urbana miljöer. Dessa verktyg är ihopkopplade med en informationsrik stadsmodell, baserad på öppna standarder, i en databas som integrerar ett brett intervall av öppna data och representerar urbana attribut, system och processer" (Gil 2020 s.12) (Författarens översättning).

Ett annat begrepp som används för att beskriva kopplingar och relationer är *länkade verksamhetsdata*. Med länkade verksamhetsdata kan referenser skapas som refererar till data belägen utanför själva modellen. Det kan exempelvis referera från ett trafikområde till relevant vägdata i nationella vägdatabasen.



Figur 3 – Exempel på hur metadata kan se ut i en byggnadsmodell. Väg 1435 enligt figuren kan exempelvis innehålla referens till ID i NVDB där ytterligare vägdata återfinns. Not. Modifierad med textrotor 15 april 2022 (Ulricehamns kommun 2022)

2.1.2 Digital tvilling

En digital tvilling är enkelt uttryckt en virtuell representation av ett fysiskt objekt. Konceptet nyttjas inom industrisektorn för att kunna genomföra simuleringar (Sjarov et al. 2020). Inom stadsmodellering och GIS finns ännu ingen exakt definition för en digital tvilling. Däremot används begreppet alltmer för att beskriva något som är bortom en 3D stadsmodell eller bortom en semantisk 3D objektsmodell (Ketzler et al. 2020). I forskningsprojektet 3CIM definieras konceptet digital tvilling som en semantisk 3D stadsmodell inklusive dynamisk information (Smart Built Enviroment 2022b). Dynamisk information är sensor och realtidsdata om staden, exempelvis data över trafikflöde eller elnätsbelastning.

En digital tvilling kan även ses som en plattformstekologi som samlar olika datamängder (där ibland 3D stadsmodellen) och tillgängliggör dem för olika användningsfall, såsom exempelvis simuleringar (DTCC 2021).

Enligt Ketzler et al. (2020) är litteraturen angående 3D stadsmodellen alltmer en del av litteraturen kring den digital tvillingstaden. Detta eftersom en 3D stadsmodell är oskiljaktig från en digital tvillingstad. Vidare menar Ketzler et al. (2020) att även om 3D stadsmodell som begrepp fortfarande är dominant inom 3D GIS så är växer begreppet digital tvilling för städer både i teori och praktik.

2.2 Standarder

2.2.1 CityGML

Översikt

CityGML är en konceptuell informationsmodell och öppen standard för lagring och utbyte av 3D stadsmodeller med fokus på byggnader. Skapare och förvaltare av CityGML är *Open Geospatial Consortium (OGC)* vilket är ett konsortium där företag, statliga aktörer, universitet och andra typer av organisationer är medlemmar (OGC Members 2022). CityGML finns i tre olika versioner, 1.0, 2.0 och 3.0, där 3.0 antogs 2021.

CityGML är den mest använda öppna standarden för 3D-stadsmodellering (Liu et al. 2015). CityGML används av flera parter inom den svenska standardiseringsprocessen för 3D stadsmodeller. Lantmäteriets nationella specifikation för byggnad (NS Byggnad) och 3CIM projektet är två exempel på stora aktörer inom sektorn 3D stadsmodellering som tar hänsyn till CityGMLs standarder (Lantmäteriet 2022b, Smart Built Environment 2022d).

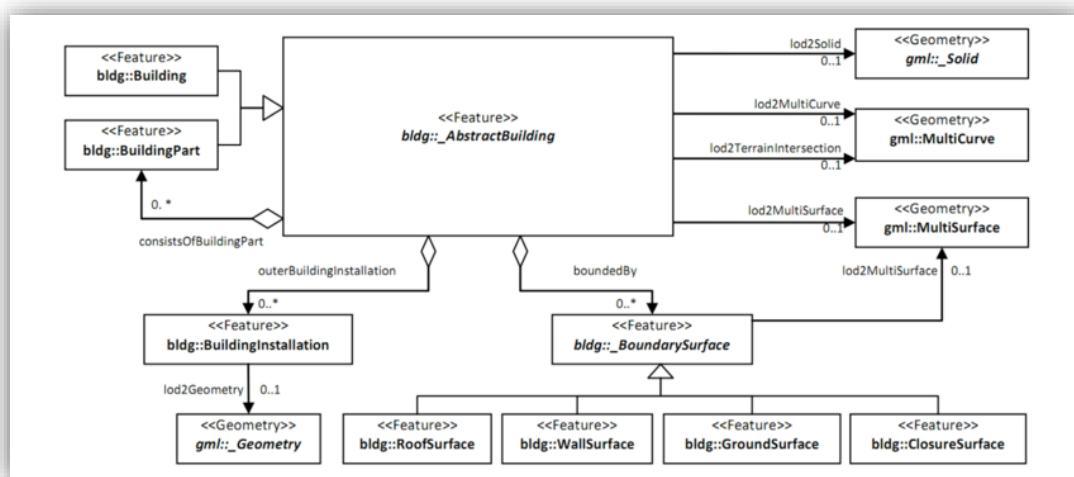
CityGML 2.0 är den version som 3CIM har valt för att grunda sin standard på. I följande del beskrivs koncept som gäller för både version 2.0 och 3.0 om ingen version nämns specifikt.

Struktur

CityGML definierar koordinater i rummet som 2D, 2,5D eller 3D. Vid 2D eller 3D definieras geometrin i ett två- eller tre-dimensionellt utrymme. Med 2,5D menas att det för varje objekts lägeskoordinat (X,Y) finns endast en höjd (Z). Detta ger i praktiken en form av ytmodell, en så kallad *Digital Surface Model (DSM)*.

CityGML använder sig av UML för att visualisera och tydliggöra sin konceptuella modell. UML är ett språk som används för att visualisera och specificera uppbyggnaden av ett system som hanterar olika objekt (OMG u.å). Verkliga objekt representeras i en modell av geografiska objekt där varje objekt tillhör en objektstyp. Ett exempel på typ kan vara byggnad eller väg. Varje typ representerar en klass i den konceptuella modellen och således är objekten i den virtuella modellen instanser av typer.

Figuren nedan visar en UML modell för typen *Building*, se Figur 4.



Figur 4 - Exempel på en UML modell. Varje rektangel representerar en klass. En pil eller dylikt mellan klasser representerar en relation. (He et al. 2012)

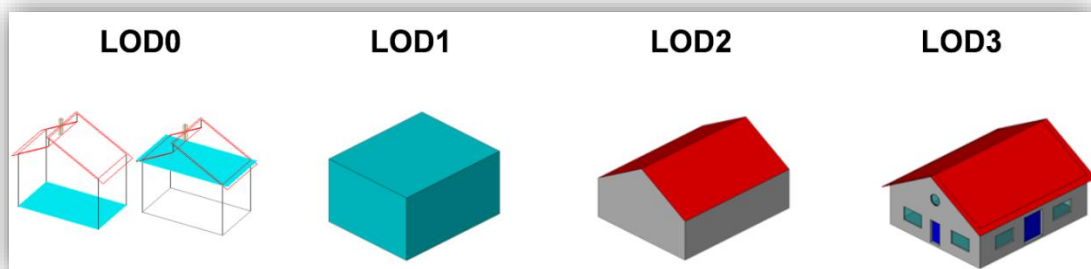
Varje objekt skall ha ett unikt ID för att särskilja objekten från varandra. För att hantera versioner och historik finns olika attribut som exempelvis *creationDate/terminationDate*. I CityGML 3.0 finns tillägg som saknas i version 2.0 för expanderad versionshantering som exempelvis tidsattributet *dateOfRenovation* (Eriksson & Harrie, 2021), se även del 3.2 Versionshantering. I CityGML kan geometrierna punkt, linje, yta och solid volym användas. Även aggregerade geometrier kan användas såsom multipunkt, multilinje, multiyta och multisolid.

Geodetiskt referenssystem

Varje objekt i CityGML måste inneha ett geodetiskt referenssystem för att etablera korrekt positionering för objekt i modellen. Detta innebär att referenssystemet som används skall vara ett geo-refererat system, vilket betyder att det är förankrat i ett nationellt/globalt koordinatsystem. Detta skiljer CityGML från andra vanliga standarder som används inom objektsmodellering som tex BIM-standarderna, där endast ett lokalt förankrat koordinatsystem är standard (BIM in the Construction Industry 2022). I svenska kommuner används SWEREF 99 med lokala projektionszoner nästan uteslutande som referenssystem tillsammans med RH2000 som höjdsystem.

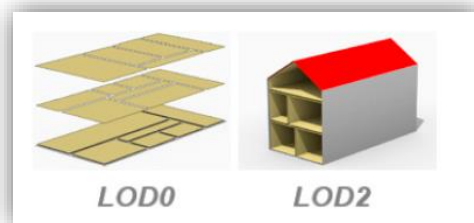
LOD (Level of detail)

CityGML använder sig av ett koncept som kallas *LOD (Level of detail)* vilket anger detaljnivån för en 3D modell. Det olika detaljnivåerna går från låg till hög, där den lägsta nivån enbart anger den tvådimensionella ytans angränsning medan de högre nivåerna innehåller fler detaljer. Figuren nedan visar olika detaljnivåer för samma byggnad för CityGML 3.0.



Figur 5 -De 4 olika LOD nivåerna i CityGML 3.0. Copyright © 2021-09-13 Open Geospatial Consortium, Inc. All Rights Reserved. CityGML3.0

Ett objekt kan i CityGML 3.0 representeras med olika LOD nivå på utsida respektive insida för att möjliggöra flera nivåer i samma modell. Till exempel en byggnad med LOD2 exteriört kan ha LOD0 på interiört vilket ger en planlösningmodell, se Figur 6.



Figur 6 - CityGML 3.0 tillåter en mix av olika LOD nivåer inuti byggnader/byggnadsdelar. Exemplet använder en tvådimensionell insida (LOD0) för att visualisera planlösningen. Copyright © 2021-09-13 Open Geospatial Consortium, Inc. All Rights Reserved. CityGML3.0

Nämnvärda förändringar har skett vid uppdatering från CityGML 2.0 till CityGML 3.0. För CityGML 2.0 finns bland annat en nivå 4. I CityGML 2.0 kan endast nivå 4 innehålla interiör information, se Figur 7.



Figur 7 - De 5 LOD nivåerna enligt CityGML 2.0 (Biljecki et al. 2016)

Biljecki et al. (2016) Argumenterar för att LOD nivåerna i CityGML 2.0 saknar den detaljrikedom som krävs för att standardisera 3D stadsmodeller. Därav förändras modellen med förslag till 16 olika nivåer med fyra omdefinitioner per nivå. Figuren till höger specificerar hur en byggnad kan variera utifrån de olika detaljnivåerna enligt Biljecki et al. (2016), se Figur 8. För mer detaljerad information om de olika LOD nivåerna, se Bilaga 1.

Tillägg för CityGML

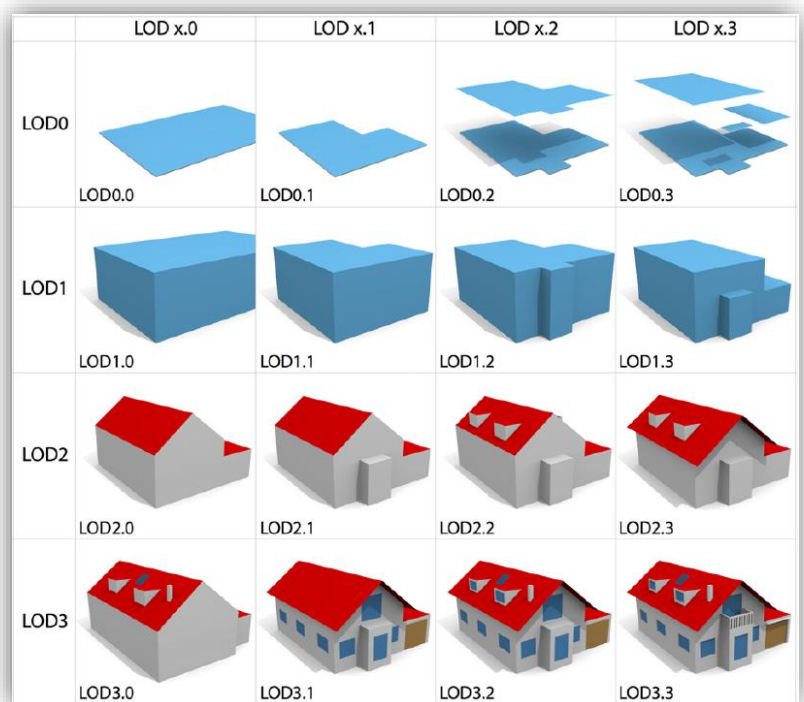
Det finns ett antal möjligheter att expandera CityGML för behov som inte redan täcks av standarden. Ett sätt är att skapa egna stadsobjekt med attribut som matchar behoven. Ett mer detaljerat sätt att använda tillägg är att skapa en ADE

(Application Domain Extension). Om tillägg av denna sort skapas skall det specificeras som ett tillägg i CityGMLs konceptuella modell. Skillnaden mellan att endast skapa egna objekt i modellen och en ADE är att en ADE innehåller mer ingående detaljer om strukturen för tillägget. ADEn kan även användas som en standard av andra parter som är i behov av samma tillägg (OGC 2012).

2.2.2 3CIM

Översikt

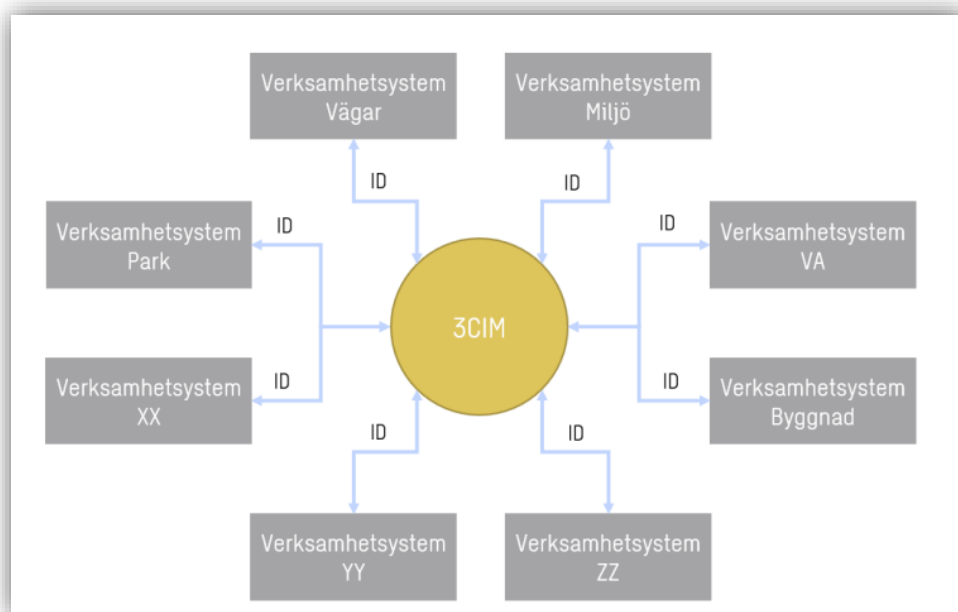
Projektet 3CIM är ett forskningsprojekt där representanter från Sveriges tre största städer Stockholm, Göteborg och Malmö samarbetar med Lunds universitet. Projektet startade i juli 2020 och avslutas i december år 2022 (Smart Built Environment 2022b).



Figur 8 - De 16 LOD nivåerna enligt Biljecki et al. (2016)

3CIM är en svensk informationsmodell (specifikation) för en CIM modell som i förlängningen skall kunna utvecklas till en digital tvilling (Smart Built Environment 2022d). 3CIM projektet ämnar att ”*ta fram en informationsmodell (standard) som beskriver den fysiska miljön i staden och som ger möjlighet för analyser och simuleringar*” (Smart Built Environment 2022b, s.2). Målet är även att denna standardisering i längden skall komma till godo för alla kommuner, även de mindre resursstarka, så att alla kommuner som önskar skall kunna bygga upp rutiner för att behandla geodata i 3D baserat på öppna standarder (Smart Built Environment 2022d).

Målet är vidare att undvika dubbellagring av information eftersom en 3CIM modell kommer att innehålla länkar till data i verksamhetssystem. Länkar till data i verksamhetssystem möjliggör tillgång till data som finns i kommunens olika verksamheter och lägger grunden för en informationsrik stadsmodell utan att modellen kräver en stor lagring av data, se Figur 9. Nycklarna till de olika verksamhetssystemen är i form av unika ID.



Figur 9 - 3CIM modellen kan kopplas till kommunens övriga verksamhetssystem med hjälp av ID (Smart Built Environment 2022a s.2)

Slutligen skall informationsmodellen inom projektet i ett test implementeras i en databasstruktur för att användas i en skyfallssimulering (Smart Built Environment 2022d). En skyfallssimulering innebär att stadsmiljön virtuellt utsätts för en stor mängd regn under lång tid. Syftet med en sådan simulering är exempelvis för att upptäcka brister i det kommunala avloppssystemet.

Uppbyggnad

Utgångspunkten för 3CIM är CityGML 2.0 med tillägg i form av en ADE (Smart Built Environment 2022a). Standarden ämnar följa de måtanvisningar som finns i Lantmäteriets nationella specifikationer vilket är ett krav för de datamängder som skall anslutas till den nationella geodatabasen, se 2.2.5 Mätanvisningar NS Byggnad. 3CIM har även varit en bidragande part till utvecklingen av dessa måtanvisningar.

Projektet levererade i december 2021 en första version av 3CIM, 3CIMver1. 3CIMver1 innehåller specifikationer för temana Byggnad, Ledningsnät, Markdetaljer, Marktäcke, Transport, Tunnel och Vatten. I 3CIMver2 kommer även informationsmodeller för vegetation, bro och undermarksförhållanden att inkluderas (Smart Built Environment 2022a). Respektive tema innehåller bland annat föreslagen LOD nivå samt vilken form av geometri som skall användas. 3CIMver1 innehåller även specificeringar (värdelistor) över hur attributdata skall utformas (Smart Built Environment 2022a).

Informationsmodell 3CIMver1

För byggnader följer 3CIMver1 temat *Building* i CityGML 2.0. Ytor skall dock vara uppdelade i WallSurface, GroundSurface eller RoofSurface.

För ledningsnät finns inget tema i CityGML 2.0. Därav har projektet skapat en ADE som behandlar bland annat ledningsnät. I version ett finns endast typen rännstensbrunn, för att stödja en skyfallssimulering. Typen är LOD0 som punktform. I framtiden skall temat även rymma ledningsnät av typen avlopp, vatten, dagvatten, el, tele mm. (Smart Built Environment 2022a).

Tema *markdetaljer* omfattar fysiska företeelser som finns ovan mark och är varaktigt förankrade (samt inte främst tillhör andra teman). Temat utgår ifrån CityGMLs *CityFurniture* tema. Objekt lagras i LOD1 som kropp, punkt, linje eller yta men kan innehålla referens till en mer komplicerad geometri (*Implicit geometry*) (Smart Built Environment 2022a). Lantmäteriets nationella specifikation markdetalj är dock endast i utkastfasen vilket innebär att dokumentet inte skall ses som en rekommendation (Lantmäteriet u.å.b).

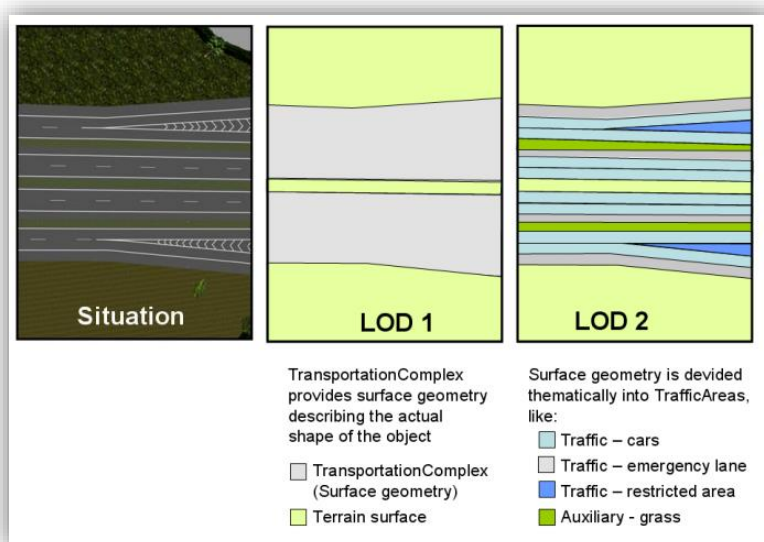
Tema *marktäcke* utgår ifrån CityGMLs tema *LandUse* och beskriver markytans täcke av vegetation, berg, jord, vatten och artificiell ytläggning. Ytor anges i LOD0, LOD1 eller LOD2 i form av multiyta. Multiytan kopplas till Lantmäteriets nationella specifikation marktäcke, nivå 1, 2 samt 3. Specifik information om marktäcket skall inte lagras i 3CIM utan externt eftersom kommuner inte innehar sådan information (Smart Built Environment 2022a). Lantmäteriets nationella specifikation marktäcke är dock endast i utkastfasen vilket innebär att dokumentet inte skall ses som en rekommendation (Lantmäteriet u.å.b).

Tema *transport* avser alla ytor som är ämnade för transportbehov tillsammans med de ytor som bygger upp vägrummet. Temat använder sig av CityGMLs *Transportation* med några skillnader. Temat lagras som multiyta/punkt/linje i 2D. I 3D stadsmodellen kan sedan kommunens markmodell draperas av transportytan för att uppnå återgivning i 3D (Smart Built Environment 2022a). Temat delas i olika objekt, se Tabell 1. Specifika data kan länkas från nationella vägdatabasen eller en lokal vägdatabas.

Tabell 1 - De olika trafikkategorierna i 3CIM (Smart Built Environment 2022a s.11)

Objekt	Innehåll	LOD-nivå	Geometrityp
TransportationComplex	Hela vägrummet. Kan brytas ner i subklasserna road, track, railway, square.	1	Multiyta
TrafficArea	De ytor av TransportationComplex som är viktiga för trafikändamålet.	2	Multiyta
AuxiliaryTrafficArea	De ytor av TransportationComplex som tillsammans med TrafficArea bygger upp vägrummet	2	Multiyta
Marking	Vägmarkeringar. Antingen dess insättningspunkt eller dess linjeutbredning	2	Punkt / Linje

Trafikområden är enligt 3CIMver1 gestaltade som multiytor, se Figur 10.



Figur 10 - 3CIMver1 Transport, LOD 1 och LOD 2 översiktlig figur. (Smart Built Environment 2022a s.12)

2.2.3 Lantmäteriets nationella specifikationer

Översikt

Lantmäteriet bedriver ett arbete med att ta fram en nationell lösning för informationsutbyte i samhällsbyggnadsprocessen och därav är nationella specifikationer en central del. Specifikationerna är uppdelade i fyra delar: *informationsspecifikation*, *dataproduktspecifikation för tillgängliggörande*, *specifikation för leverans till Nationell geodataplattform (NGP)* samt *specifikation för att söka och hämta referensdata*. Det är informationsspecifikationen som specificerar vilken data som behövs och hur den skall vara formaterad för datamängder i samhällsbyggnadsprocessen. Således är informationsspecifikationerna en grund för 3D stadsmodellens utformning (Lantmäteriet u.å.b).

Teman

De nationella specifikationer som utvecklas gäller för olika teman. Några teman är *adress, bild, fastighet, höjd och djup, lägenhet, markanvändning, markdetaljer och marklinjer, marktäck*,

ortnamn, stompunkter, vatten samt övrig väg. Dessa teman är dock inte bestämda ännu och kan komma att ändras eftersom de är i en utkastfas. Utöver dessa har lantmäteriet även specifikationer för detaljplan och byggnad, vilka är de som har påbörjats och är en testfas (Lantmäteriet u.å.a). De teman som är i utkastfasen kan ändras framöver och används enligt Lantmäteriet på egen risk (Lantmäteriet u.å.b).

2.2.4 Lantmäteriets nationella specifikationer för byggnad

Översikt

Lantmäteriets nationella specifikationer för byggnad (NS Byggnad) är en nationell informationsspecifikation som gäller för byggnader. Den avser inte alla byggnadsverk, exempelvis inte broar eller tunnlar. Specifikationen anger de krav som ställs för en datamängd som skall anslutas till den nationella geodataplattformen (NGP).

Den nationella geodataplattformen (NGP) samlar datamängder producerat av kommuner och statliga myndigheter (eller ombud för kommun/statlig myndighet) och tillhandahåller dessa via tjänster med applikationsgränssnitt (API). Syftet med NGP är att *”ge åtkomst till nationellt standardiserade grunddata i olika processer i samhället”* för att *”underlätta och effektivisera utbyte av information i samhällsbyggnadsprocessen”* (Nationella Geodataplattformen 2022). När en kommun etablerar en 3D stadsmodell behöver inte kommunen följa standarden men när kommunen skall ansluta datamängden till NGP är det ett krav. Därav är standarden av indirekt betydelse för alla kommuners 3D stadsmodeller även om den ännu inte är ett krav vid inköp/produktion av 3D stadsmodeller.

Definitioner

Stycket nedan beskriver hur Plan- och bygglagen samt NS byggnad definierar en byggnad.

”En byggnad är en varaktig konstruktion som består av tak eller tak och väggar och som är varaktigt placerad på en viss plats på mark eller helt eller delvis under mark eller är varaktigt placerad på en viss plats i vatten samt är avsedd att vara konstruerad så att människor kan uppehålla sig i den” (Plan- och bygglagen, SFS 2010:900).

NS byggnad behandlar fysiska byggnader till skillnad från i fastighetsregistret där så kallade registerbyggnader behandlas. En fysisk byggnad avser hela byggnadens konstruktion, oberoende av fastighetsgräns. Detta skiljer sig från en registerbyggnad som en belägen på en speciell fastighet och kan delas upp om den överskrider en eller flera fastighetsgränser (Lantmäteriet 2022d).

2.2.5 Mätanvisningar NS Byggnad

Mätanvisningar NS byggnad är ett kompletterande dokument som innehåller geometrianvisningar avseende NS byggnad (Lantmäteriet 2022a). Dokumentet är tillsammans med NS byggnad under uppbyggnad. Mätanvisningar NS byggnad innehåller bland annat en rad praktiska exempel på hur NS LOD skall tolkas. Dokumentet innehåller även en detaljerad genomgång av vilken typ av attribut som rekommenderas för de olika geometrierna. Nedan beskrivs översiktligt några av de geometrier med tillhörande attribut som mätanvisningar NS byggnad specificerar. Framtida versioner av 3CIM kommer även att följa mätanvisningar NS byggnad (Harrie 2022).

Byggnad

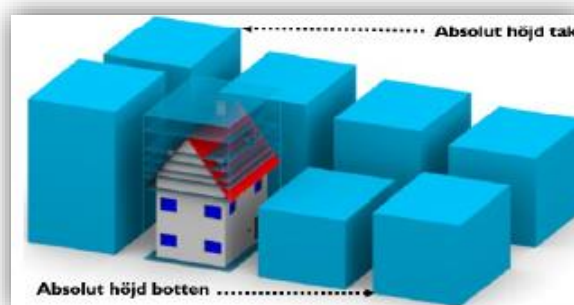
En byggnad skall enligt NS Byggnad alltid bestå av minst en byggnadsdel (Lantmäteriet 2022d). *NS LOD variant* är ett obligatoriskt attribut för en byggnad, attributet *indelningsgrund* och attributet *överensstämmer med registerbyggnad* likaså. Samtliga finns beskrivet i texten nedan.

Byggnadsdel

En byggnadsdel är en underdelning av en byggnad. Denna underdelning kan bestå av fysiska, funktionella eller tidsrelaterade aspekter (Lantmäteriet 2022d). En byggnadsdel skall innehålla minst ett ändamål. Om flera ändamål anges bör ett av dem anges som huvudändamål (Lantmäteriet 2022a). En byggnadsdels ändamål är enligt NS Byggnad en obligatorisk uppgift (Lantmäteriet 2022c).

Ändamålen för en byggnadsdel regleras utifrån boverkets ändamålskatalog (Lantmäteriet 2022a). Det finns sex olika ändamål för en byggnadsdel. Ändamålen är *Bostad*, *Samhällsfunktion*, *Verksamhet*, *Industri*, *Lantbruk och liknande näring* samt *Övriga byggnadsverk*. Vidare finns det tre detaljnivåer för vardera ändamål som än mer detaljerat kan beskriva byggnadsdelen (Boverket 2022b).

Ytterligare ett obligatoriskt attribut för en byggnadsdel är *status*. Attributet anger var i livscykeln en byggnadsdel befinner sig (Lantmäteriet 2022a). Byggnadsstatusen anges som ett av följande alternativ: *preliminär*, *planerad*, *under uppförande*, *gällande*, *förfallen*, *ruin* eller *riven*, tillsammans med start och eventuellt slutdatum för perioden (Lantmäteriet 2022c). Vidare finns även frivilliga attribut för en byggnadsdel, *Absolut höjd botten och tak*, vilka kan användas för framställning av en objektsmodell i LOD1, se Figur 11.



Figur 11 - Absolut höjd tak och botten (Lantmäteriet 2022a s.28)

Tabell 2 - Olika typer av byggnadstillbehör enligt NS Byggnad med rekommenderad NS LOD variant (Lantmäteriet 2022a)

Byggnadstillbehör

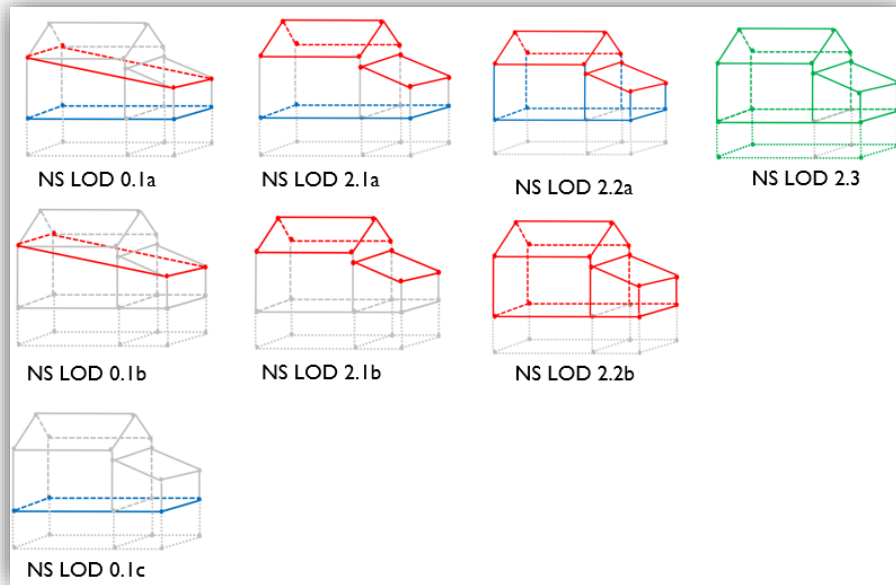
Ett byggnadstillbehör definieras som en mindre konstruktion ihop byggd med en byggnad (Lantmäteriet 2022a). Ett byggnadstillbehör kan tillhöra en av fem olika kategorier: *Tillbehör på fasad och i anslutning till markytan*, *tillbehör på fasad*, *tillbehör på fasad eller tak*, *tillbehör på tak* eller *övriga tillbehör*.

Det är enligt NS byggnad inte obligatoriskt att mäta in byggnadstillbehör. Ett byggnadstillbehör tillhör en byggnadsdel och byggnadstillbehöret sträcker sig över flera byggnadsdelar skall det delas (Lantmäteriet 2022a). Precis som en byggnadsdel kan även ett byggnadstillbehör inneha en status. Tabellen visar exempel på byggnadstillbehör, se Tabell 2.

Byggnadstillbehör	NS LOD			
	0.1	2.1	2.2	2.3
Tillbehör på fasad och i anslutning till markytan				
Altan	2D-yta	3D-yta	kropp	kropp
Lastkaj	2D yta	3D yta	kropp	kropp
Ramp	2D-yta	3D-yta	kropp	kropp
Trappa	2D-yta	3D-yta	kropp	kropp
Tillbehör på fasad				
Balkong	2D-yta	3D-yta	3D-yta kropp	3D-yta
Lofgång	2D-yta	3D-yta	3D-yta kropp	3D-yta
Tillbehör på fasad eller tak				
Mindre skärmtak	2D-yta	3D-yta	3D-yta	3D-yta
Solpanel		3D-yta	kropp	kropp
Teknisk försörjning, t ex AC, ventilation		3D-yta	kropp	kropp
Tillbehör på tak				
Mast/antenn		3D-punkt 3D-yta	kropp	kropp
Skorsten		3D-punkt 3D-yta	kropp	kropp
Mindre takkupa		3D-yta	kropp	kropp
Takfönster		3D-yta	kropp	kropp
Övriga tillbehör				
Räcke		3D-linje	3D-yta	3D-yta

Variant NS LOD

NS byggnad använder ett eget koncept för att dokumentera ett objekts geometriska detaljnivå vilket kallas NS LOD. NS LOD bygger på CityGML standardens LOD nivåer, version 2.0. Attributet variant NS LOD är enligt NS Byggnad obligatoriskt för en byggnad och ett byggnadstillbehör (Lantmäteriet 2022d). NS LOD har fyra grundvarianter med ytterligare fyra detaljnivåer. Figuren nedan redovisar det olika LOD nivåerna enligt NS LOD, se Figur 12.



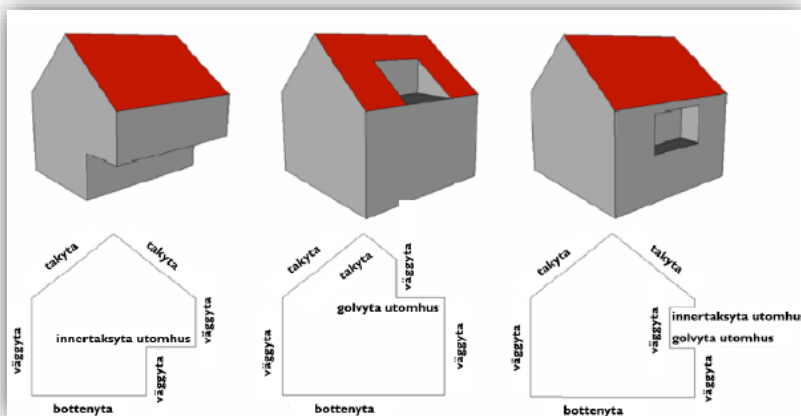
Figur 12 - Figuren visar Lantmäteriets detaljnivåer för NS LOD. Blå ytor avser inmätta bottenytor och för NS LOD 2.2a även konstruerade väggitor. Röda ytor avser inmätta takytor och för NS LOD 2.2b även konstruerade väggitor. Gröna ytor avser modeller konverterade från BIM-/CAD-modell eller liknande (Lantmäteriet 2022a s.16)

För en ytterliggare beskrivning av NS LOD se Bilaga 2.

Det är möjligt att konvertera mellan NS LOD och CityGML 2.0 eller CityGML enligt Bilecki et al. (2016). Beskrivningar för att konvertera mellan dessa standarder finns angivet i lantmäteriets dokument Mätanvisningar NS byggnad, tillsammans med ytterliggare detaljer gällande specifikationen (Lantmäteriet 2022a).

Begränsningsyta

För att beskriva en byggnadsdel i NS LOD används sex olika begränsningsytor. Ytorna är *bottenyta*, *väggyta*, *takyta*, *golvyta utomhus*, *innertaksyta utomhus* samt *stängningsyta*. Ytorna beskrivs i de två figurerna, Figur 13 samt Figur 14.



Figur 13 – 5 olika begränsningsytor enligt mätanvisningar NS byggnad (Lantmäteriet 2022a s.31)



Figur 14 – Exempel på stängningsyta (Lantmäteriet 2022a s.31)

Plan- och höjdläge

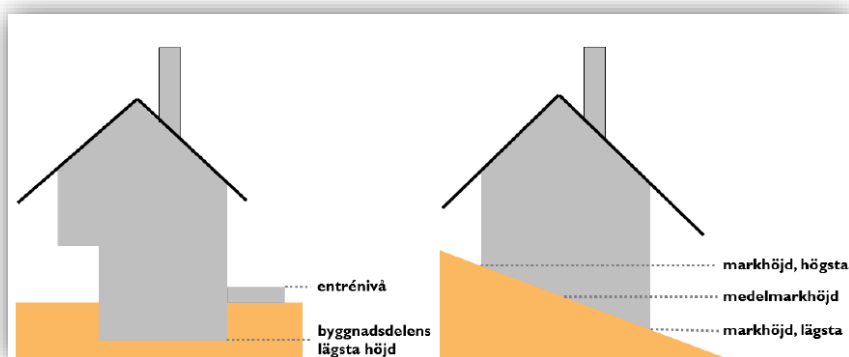
I mätanvisningar NS byggnad beskrivs även attribut för plan- och höjdlägen. Planläge anger vad en begränsningsytas fotavtryck på markytan avser. De finns fem olika värden för planläge, se Tabell 3.

För att beskriva en byggnads höjdläge finns två typer, *höjdläge botten* och *höjdläge tak*. För att beskriva *höjdläge botten* finns en rad olika attribut, se Figur 15. Det vanligaste vid 3D-visualisering är att ange *byggnadsdelens lägsta höjd* eller *markhöjd, lägsta* (Lantmäteriet 2022a).

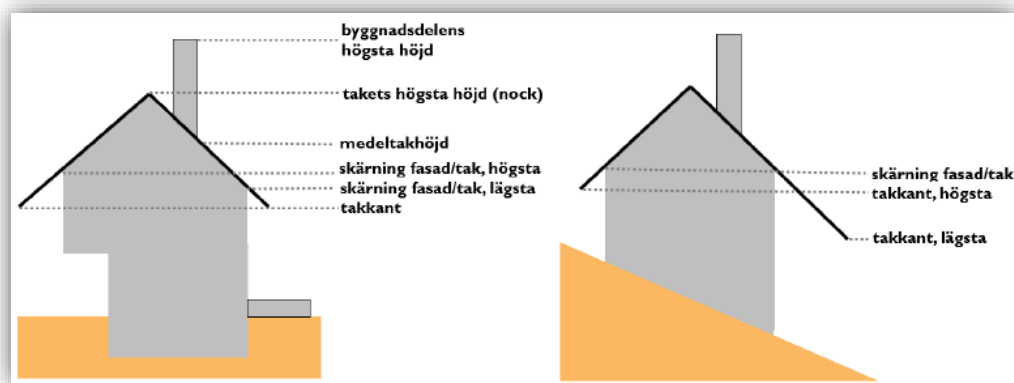
För *höjdläge tak* finns också en rad olika attributvärden för att specificera vilken höjd som anges, se Figur 16.

Tabell 3 – De fem olika typerna av planläge (Lantmäteriet 2022a s.39)

Värde	Beskrivning
fasad	Fasadens fotavtryck på markytan <i>Anmärkning: önskvärt planläge för att beskriva en byggnad i samhällsbyggnadsprocessen</i>
takkant	Takkantens fotavtryck på marken <i>Anmärkning: används när bottenytan härleds från exempelvis fotografmetrisk detaljmätning av tak</i>
husgrund	Husgrundens fotavtryck på marken <i>Anmärkning: används när byggnad mäts in i tidigt skede, se Figur 4.5.1b</i>
illustrativt läge	När byggnaden är placerad i ungefärligt läge eller med ungefärlig form
okänt	Fotavtryckets planläge okänt



Figur 15 – Höjdläge botten enligt Mätanvisningar NS byggnad (Lantmäteriet 2022a s.41)



Figur 16 – Höjdläge tak enligt Mätanvisningar NS byggnad (Lantmäteriet 2022a s.43)

Övriga attribut

Indelningsgrund är ett obligatoriskt attribut som anger grunden för att indela ingående byggnadsdelar. Exempel på indelningsgrund kan exempelvis vara olika höjd, användningsområden eller byggnadsdatum (Lantmäteriet 2022a).

Attributet registerbyggnad anger om objektet överensstämmer med registerbyggnad. Med detta menas att byggnaden är innanför angränsningen av en 2D-fastighet enligt fastighetsregistret. Detta värde sätts till *ja*, *nej* eller *inget värde* om statusen är okänd (Lantmäteriet 2022a). För att kunna ange referenser till geometrier som inte följer NS LOD specifikationer finns attributet *alternativ geometri*. Här kan andra ritningar eller modeller refereras till (Lantmäteriet 2022a). För HMK-standardnivå finns också ett attribut.

NS byggnad innehåller även förslag på generaliseringsregler utifrån HMK-standardnivåerna. Generaliseringsreglerna anger olika storlekskrav som avgör om en byggnad, byggnadsdel eller ett byggnadstillbehör skall finnas med i modellen. Storlekskraven kombineras NS LOD nivå vilket ger en mall som visar vilken noggrannhet som skall tillämpas i modellen (Lantmäteriet 2022a).

2.2.6 HMK

Översikt

HMK, Handbok i mät- och kartfrågor, är en samling handböcker som förvaltas och tillhandahålls av Lantmäteriet. Handböckerna är främst för Lantmäteriets, kommuners och Trafikverkets behov och används för att säkerställa kvalitet och enhetlighet vid insamling och beställning av geodata (Lantmäteriet 2017b).

Standardnivå

HMK innehåller fyra standardnivåer med varierande rekommendationer baserat på datamängdens ändamål, se Tabell 4. Om data skall samlas in för att användas på en nationell nivå tillåts en högre lägesosäkerhet gentemot data som skall nyttjas på tätortsnivå. Lantmäteriet har standardiserat fyra olika nivåer av användning från låg precision (0) för global nivå till hög precision (3) för lokal nivå (Lantmäteriet 2017a).

Tabell 4 - Översiktlig beskrivning av de 4 HMK nivåerna (Lantmäteriet 2017b)

HMK-standardnivå och definition	Ändamål	Lägesosäkerhet
0. Global/nationell mätning och kartläggning	Dokumentation av markanvändning och vegetation, miljöövervakning m.m.	$\geq 1\text{m}$
1. Nationell/regional mätning och kartläggning	Översiktlig planering och dokumentation av byggande, infrastruktur, miljö, naturvård, risker, skogsbruk m.m.	$\leq 1\text{m}$
2. Mätning och kartläggning av tätort	Kommunal detaljplanering och dokumentation	$\leq 0,1\text{ m}$
3. Projektinriktad mätning och kartläggning	Projektering, byggande och förvaltning av bebyggelse, vägar och övrig infrastruktur samt för bygg- och relationshandlingar.	$\leq 0,05\text{m}$

3. En 3D stadsmodells tillämpningar

Det finns många tillämpningar för en 3D stadsmodell. Likaså finns det även många tillämpningar för en 2D stadsmodell eller en 2,5D stadsmodell. En modell i 2,5D innebär att modellen har värden på ett tvådimensionellt plan samt ett höjdvärde per koordinat. Alla tillämpningar som finns för en 2D eller 2,5D stadsmodell finns i teorin även hos en 3D stadsmodell (Biljecki et al. 2015b). I denna del behandlas främst de tillämpningar som bara är möjliga i 3D eller de tillämpningar där 3D utgör en klar fördel över 2D/2,5D, vilket i praktiken innebär minst LOD nivå 2 (för CityGML 2.0). Om specifika LOD nivåer anges nedan är det enligt CityGML 2.0 så länge inget annat anges.

Det finns fler möjliga tillämpningar för en 3D stadsmodell än de som beskrivs i följande del (Biljecki et al. 2016). Tillämpningarna som beskrivs nedan är i enlighet med studiens fokusområde hämtade utifrån från svenska kommuners användning.

3.1 Tillämpningar

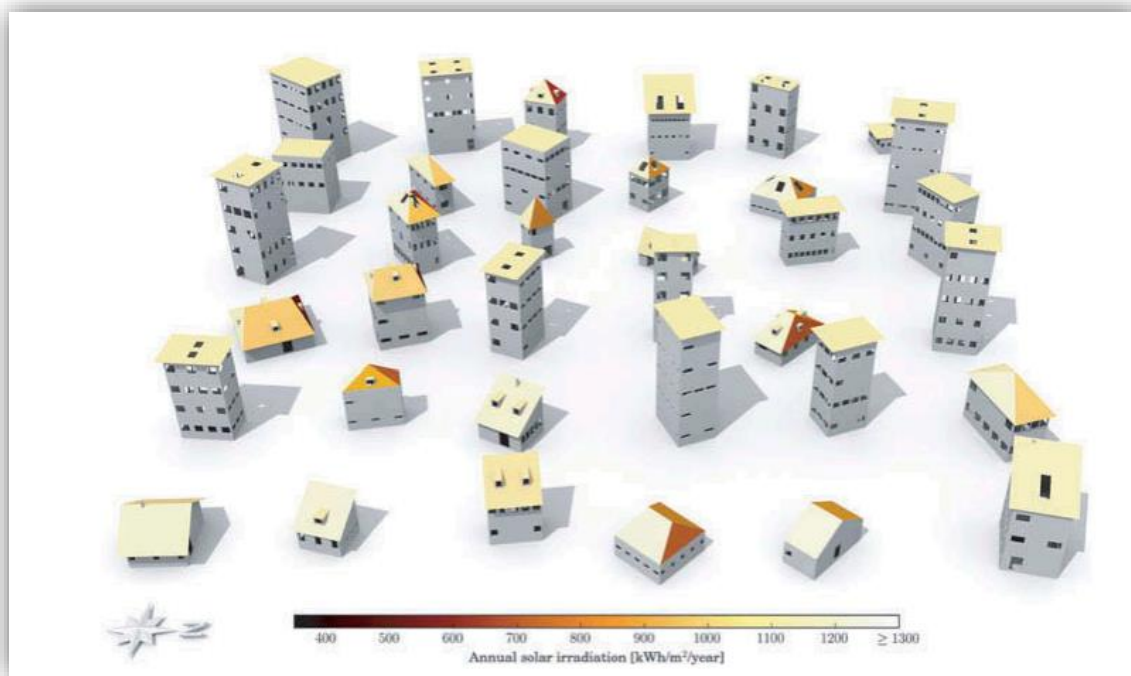
3.1.1 Sol- eller dagsljusberäkning

En sol- eller dagsljusberäkning är en analys för att uppskatta hur mycket solljus respektive dagsljus olika ytor i staden exponeras för. Denna beräkning kan användas för att reglera sol- eller dagsljusexponering vid planering av en urban miljö (Vermeulen et al. 2015).

Sverige har lagar angående tillgång till sol- och dagsljus i inomhus-/utomhusmiljöer vid nybyggnation. Boverkets byggregler (BBR) beskriver de krav på dagsljus respektive solljus som gäller för inomhusmiljö (BBR 2011:6a, BBR 2011:6b). Det regler som reglerar utemiljö finns bland annat i Plan- och Bygglagen, 8 kap. Lagen reglerar tillgång till fri yta, vilken skall innehålla tillgång till både sol och skugga (SFS 2010:900). Vid om- eller nybyggnation kan en dags- eller solljusberäkning krävas för godkänt bygglov. En sol- eller dagsljusberäkning kan användas som underlag för att säkerställa att lagkraven.

Sol- eller dagsljusberäkningar är vanligt att ange som underlag vid framställning av detaljplanehandlingar. Beräkningarna kan framställas "för hand" utan en virtuell 3D modell, med

hjälp av traditionella beräkningsmetoder (Löfberg 1987). Men de digitala metoder som numera finns för beräkning, dimensionering och simulering är betydligt säkrare och effektivare att tillämpa enligt Boverket (2022a). För att effektivisera beräkningen är det vanligt att använda sig av ljussimuleringsmjukvara med en 3D modell som indata (Järfälla Kommun, 2021). En solljusberäkning kan också användas exempelvis som underlag för solcellsinstallationer, se Figur 17.



Figur 17 - Årlig solljusstrålning [kWh/m²/år].
(Biljecki et al. 2015a)

För beräkning av en byggnads lämplighet för solceller kan LOD1 användas men LOD2 ger ett noggrannare estimat. Detta eftersom takets utformning är viktigt för solcellsinstallationen och för att beräkna fasaders lämplighet för solceller med högre precision (Freitas et al. 2015, Brito et al. 2019). För en hög noggrannhet kan även andra stadsobjekt innefattas i stadsmodellen, exempelvis stora träd eller dylikt som minskar genomsläpp av sol- eller dagsljus.

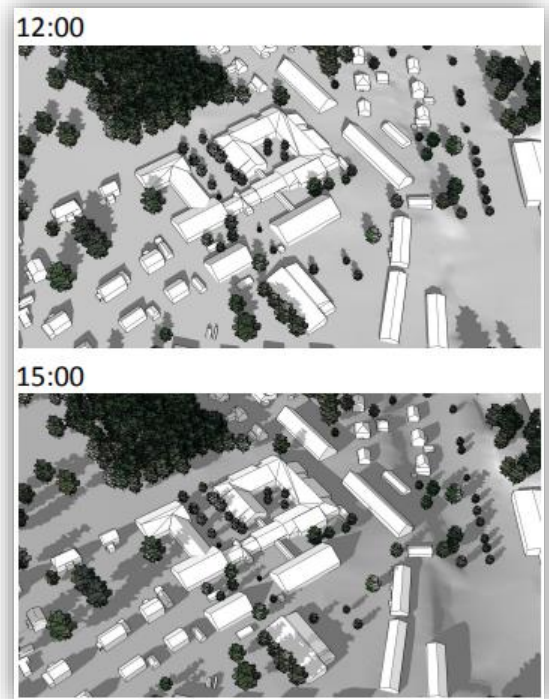
3.1.2 Skuggstudie

En vanlig tillämpning för en 3D stadsmodell är att estimerar skuggbildning från planerad byggelse (Herbert & Chen 2015). Detta estimat ger ett underlag för planerad byggelses eventuella påverkan i stadsmiljön och kallas för skuggstudie. Flera kommuner ställer krav för att säkerställa tillgång till både sol och skugga i barns utemiljöer, exempelvis vid förskolor, skolor och lekplatser. Kraven ställs för att möta Strålsäkerhetsmyndighetens *särskilda skolråd för barn* och således skapa en hälsosam utemiljö (Strålsäkerhetsmyndigheten 2018).

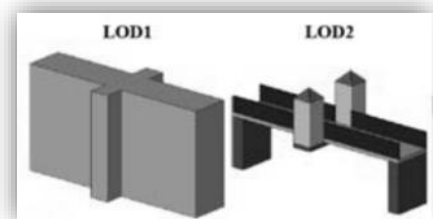
En skuggstudie är ett vanligt förekommande inslag i en detaljplaneprocess för att klargöra områdets befintliga eller framtida skuggbildningar. Skuggstudien åskådliggörs ofta med en modell som visar den planerade bebyggelsens påverkan på området vid olika klockslag, under olika årstider, se Figur 18. Denna modell är då resultatet av en simulering med 3D stadsmodell i LOD2 som indata.

Att genomföra en skuggstudie och simulering med data i LOD1 är möjligt men LOD2 ger en högre detaljnivå. Det finns flera objekt som förvrängs avsevärt vid representation i LOD1. Exempelvis ett träd som i LOD1 gestaltas som ett stående rätblock eller en bro som i LOD1 gestaltas som en byggnad, se Figur 19.

Om en skuggstudie genomförs på exempelvis en modell i 2,5D är det också möjligt att vissa objekts skuggbildning överskattas eftersom objekt som innehåller flera punkter i höjdlängd för samma koordinat använder den högsta punkten. Exempelvis så kan en carport framställa skuggbildning som liknar ett garage vilket blir missvisande eftersom solen kan skina igenom en carports sidor.



Figur 18 - Urklipp från en enkel skuggstudie i Flens kommun inför byggnation av äldreboende (Flens Kommun 2018)



Figur 19 - Kritisk geometrisk skillnad på objekt liknande bro/tunnel i LOD1 vs. LOD2. (Ujang et. al 2014)

3.1.3 Siktanalys

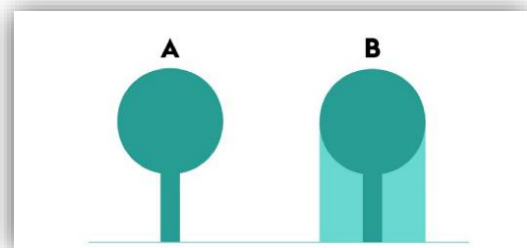
För att kunna analysera sikten mellan två punkter eller en punkt och flera punkter i ett stadsområde kan en 3D stadsmodell användas. Flera kommuner har möjliggjort en sådan applikation, exempelvis Ängelholms kommun, där användaren kan undersöka vyn från vald punkt, se Figur 20. Denna typ av



Figur 20 - Visuellt representation av vyn från en balkong. Placering syns i bilden till vänster. Planerad bebyggelse gestaltas som en vit byggnad i bilden. Stadsmodellen är i LOD 2.2 (Ängelholms Kommun 2019)

visuell analys kallas sikt- eller synlighetsanalys (ibland även siktlinjeanalys). En applikation för siktanalysen är exempelvis att undersöka vägsäkerheten. Genom att utföra siktanalyser i trafikområden, med perspektiv från trafikanter upptäcks områden med blockerad sikt (Bassani et al., 2015).

Det är möjligt att genomföra en siktanalys med data i LOD1 men precis som för solljus- eller skuggstudie ger LOD2 ett mer detaljerat resultat. Det är även möjligt att genomföra en siktanalys med data i 2,5D men vissa ytor kommer då felaktigt att blockera siktlinjer, därav är 3D att föredra, se Figur 21. Vid sikt- eller synlighetsanalyser nära områden med träd krävs således kunskap om modellens detaljnivå för att identifiera felkällor.



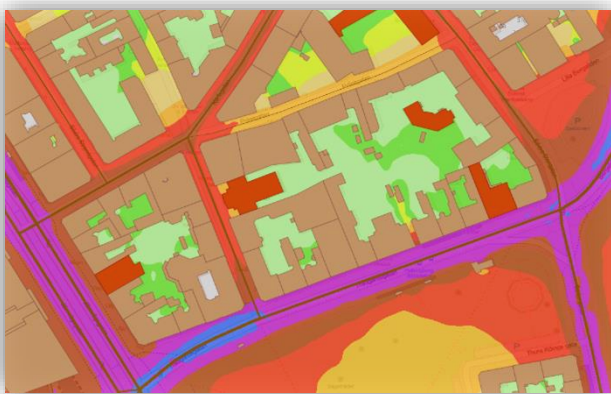
Figur 21 – Träd A illustrerar en trädmodell som kan släppa igenom siktlinjer kring trädstammen. Träd B visar hur siktlinjer blockeras om trädet illustreras i alltför enkla format såsom exempelvis 2,5 D eller liknande.

3.1.4 Bulleranalys

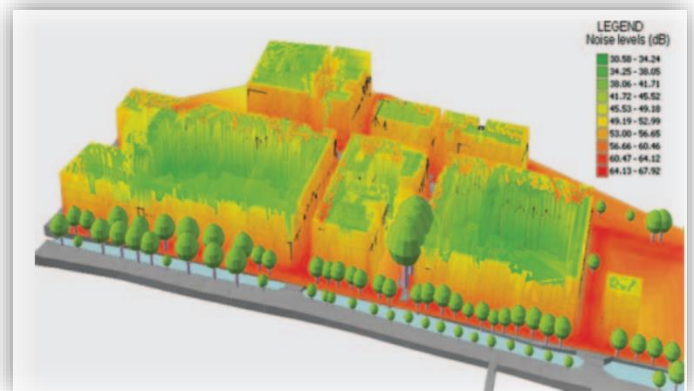
3D stadsmodeller kan användas för att simulera, estimeras och synliggöra stadens bullernivåer, vilket kallas för bulleranalys. För att genomföra en bulleranalys krävs först en bullerberäkning. För att beräkna bullernivåer krävs data som bland annat trafikmängd, trafikslag och hastighet. Ibland kompletteras data även med mätningar från området (Trafikverket, 2021). Värden från en bullerberäkning är ibland krav vid beslut om bygglov (SFS 2010:900).

När bullervärde för ett område är beräknat kan en analys huruvida detta påverkar omgivningen genomföras, se Figur 22. Att utföra bulleranalys med 2D kartor är vanligt bland svenska kommuner. Stoter et al. (2008) menar att bulleranalyser i 2D data har nackdelar, framför allt i stadsområden. Det beror främst på att bullernivåer i stadsmiljön skiftar beroende på höjd, vilket en tvådimensionell analys vanligtvis inte tar hänsyn till, se Figur 23. Vid studien användes byggnader i LOD2 vilket betyder att både byggnaders höjd och takform var återgivna.

När en bulleranalys är genomförd kan en 3D stadsmodell även användas för att visualisera bullernivåerna och på så sätt förtydliga visuellt hur buller påverkar stadsmiljön (Wästberg et al. 2020). Kurakula et al. (2014) fann i sitt arbete att en tredimensionell bulleranalys tillför en högre förståelse av bullernivåer vid visuell kommunikation. De fann även att resultatet från en 3D bullersimulation är användbar vid utformning och utplacering av bullerdämpande skydd.

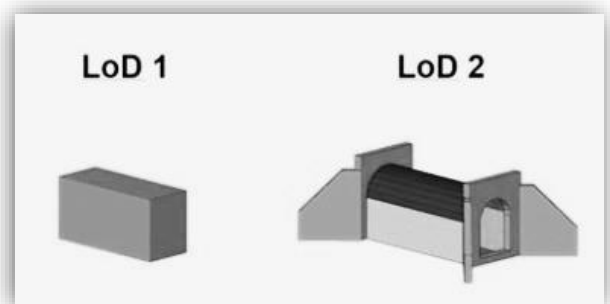


Figur 23 - En tvådimensionell bullerkartläggning i Helsingborg. (Helsingborgs Stad 2013)



Figur 22 - En tredimensionell bullerkartläggning. Bullermängden avtar oftast med byggnadshöjden. (Stoter et al. 2008)

För att endast ta hänsyn till byggnaders höjd i en bullersimulering krävs minst LOD1. Även om LOD1 eller 2,5D tar hänsyn till höjd saknas andra parametrar som kan påverka vid bullersimulering. Exempelvis blir en tunnel i LOD1 solid. I stället för att transportera ljudvågor, som en tunnel vanligtvis gör, kan tunneln i stället uppföra sig som ett bullerskydd. Samma dilemma gäller för alla liknande typer av objekt i en 3D modell som exempelvis akvedukter, se Figur 24. Ulin (2021) argumenterar för att LOD1 eller LOD2 kan användas för bullersimuleringar men en högre LOD kvalitet än så har inte stor påverkan på resultatet. I stället är det viktigare, menar Ulin (2021), att datakvaliteten är hög (HMK standardnivå 2 eller högre).



Figur 24 - Skillnaden på en tunnel i LOD 1 vs LOD 2. (Borrman et al. 2013)

För att framställa en utförlig bulleranalys krävs utöver information om bebyggelsens utformning även information om byggnaders och terrängs absorptionsförmåga, vägnät, trafiknivå och andra faktorer som kan påverka bullrets omfattning (Ulin 2021).

3.1.5 Stadsplanering och plankommunikation

En detaljplan är en plan som kommunen framställer för att styra markanvändningen över ett specifikt område. Här reglerar kommunen detaljer kring framtida bebyggelse. Exploateringsgrad, byggnadshöjd och fastighetsändamål är exempel på detaljer som regleras i en detaljplan. Att ta fram nya detaljplaner är en omfattande process och kommunens ansvar. En detaljplan som skapas efter den 1 januari 2022 måste vara tillgänglig i ett digitalt format. Med digitalt format menas att data är lagrad i vektorformat (maskinellt läsbar), inte endast i ett analogt format med digital referenslänk (Lantmäteriet 2021a).

En 3D stadsmodell förstärker underlaget för stadsplaneringen jämfört med endast ett 2D kartmaterial (Ren et al. 2018). I arbetet med stadsplanering och framtagandet av nya detaljplaner är det viktigt att kommunen och andra involverade aktörer har ett tillräckligt beslutsunderlag. Kibria et al. (2009) menar att uppfattningen om en stads design ökar när underlaget rör sig från 2D till 3D. Vidare menar de inte att ett tvådimensionellt underlag är föråldrat utan i stället att detaljnivån av en stadsmodell borde följa planeringsstadiets olika nivåer. Exempelvis menar Kibria et al. (2009) att 2D eller 2,5D modeller (LOD0- eller LOD1-nivå) kan vara ett gott underlag i ett tidigt skede av planarbetet, medan 3D modeller (LOD2- eller LOD3-nivå) är ett mer passande underlag senare i planeringsprocessen. I flera kommuner används 3D stadsmodell i stadsplaneringen, främst som ett visuellt stöd för att åskådliggöra olika scenarion tidigt i planeringsfasen (Uggle 2022).

Det är även vanligt att kommuner kommunicerar befintliga detaljplaner till kommunens medborgare med hjälp av en 3D stadsmodell. Exempelvis använder Borås kommun en 3D meshmodell där det är möjligt att inspektera kommunens detaljplaner omgivet av den befintliga stadsmiljön. Modellen finns öppen för allmänheten på kommunens hemsida¹, se Figur 25.



Figur 25 - I Borås kommuns 3D Viewer kan allmänheten se kommunens detaljplaner i kontext tillsammans med befintlig 3D stadsmodell (Borås kommun 2021)

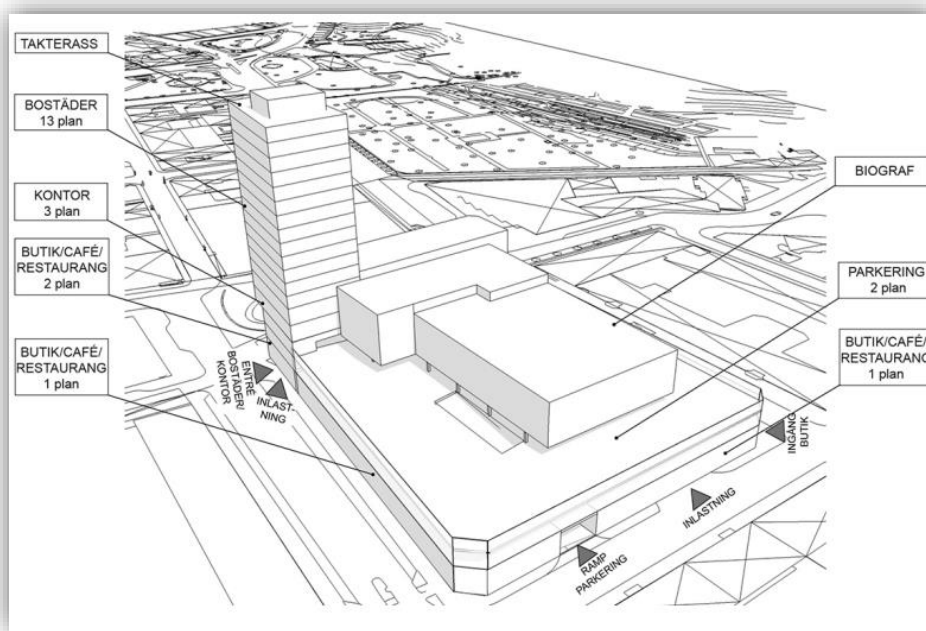
¹ <https://cityplanneronline.com/borasstad/publik>

Nedan är ett exempel på en detaljplan från Helsingborgs Stad föreställande en 3D-fastighet med olika fastighetsändamål vertikalt angivna. Den tvådimensionella planritningen visar hur kommunen planerat att marken i centrum skall bebyggas, se Figur 26.



Figur 26- Tvådimensionella illustrationer över Holland 25 i Helsingborg, en tredimensionell fastighetsplan (Helsingborgs Stad 2015)

Figuren nedan redovisar en illustrationsmodell i 3D över samma område som ovan. En modell i 3D förstärker den visuella förståelsen och förtydligar därmed tredimensionella fastighetsförhållanden.



Figur 27 - En tredimensionell illustration över Holland 25 (Helsingborgs Stad 2015)

Kommunen kan använda 3D modeller för att förstärka och förtydliga kommunikationen gällande 3D fastigheter. Modellen tydliggör dels fastighetsförhållanden internt vid kommunens arbete, dels externt för att bland annat kommunicera med medborgare.

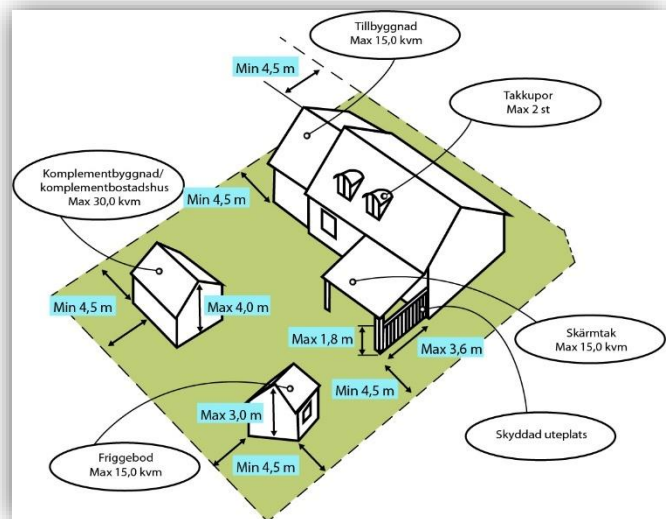
3.1.6 Bygglövsbedömning

Intresset för att digitalisera och automatisera bygglov och dess handläggning ökar ständigt i hela världen (Noardo et al. 2022). I Sverige används 3D stadsmodeller i bygglovsprocessen både som bedömningsunderlag av kommunen och ibland även för att underlätta själva ansökan och vid kommunikation med medborgare.

Enligt Olsson et al. (2018) kan en automatiserad bygglovsbehandling realiseras eftersom majoriteten av plankriterier ofta är kvantitativa. Dock kräver en helt automatiserad process tydliga och omfattande plandefinitioner samt restriktioner. Olsson et al. (2018) argumenterar även för att ett tydligt fotorealistiskt underlag krävs om en bygglovsbedömning skall genomföras med hjälp data en modell i LOD2.

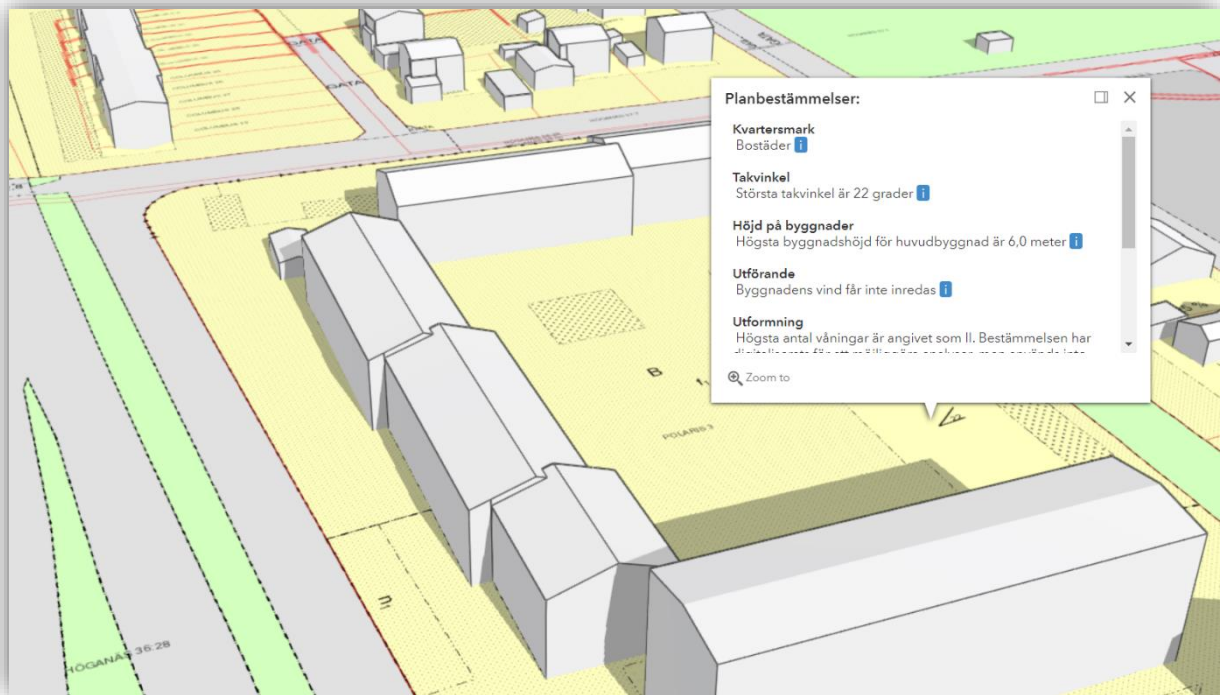
Vid bygglovsbedömning finns en rad olika mått som provas, inte bara för byggnationen i sig utan även mått i relation till annan bebyggelse eller grannfastigheter, se Figur 28. En 3D objektsmodell samlar mätdata i tre dimensioner över befintlig bebyggelse vilket är ett användbart bedömningsunderlag i bygglovsbehandling (Lind 2022).

Mätdata kan användas både i bedömning av bygglovsansökan och för att kontrollera att nuvarande byggnation följer den befintliga detaljplanen. I objektsmodellen kan kommunen även kontrollera vilken typ av bebyggelse som finns i anslutning till det aktuella området. Det kan handla om exempelvis skärmtak, carport, altan, komplementbostad mm. För att kontrollera sådan information krävs det att byggnadstillbehör och övrig byggnation är inritad i objektsmodellen eller att en meshmodell innehåller tillräckligt hög kvalitet för att åskådliggöra sådana detaljer.



Figur 28 – Figuren visar några av alla de mått som kan kontrolleras vid en bygglovsansökan. (Helsingborgs kommun 2020)

Flera kommuner använder idag en kombination av både 3D objektsmodell och fotorealistic 3D modell som bedömningsunderlag i bygglovsärende. Modellerna används även i kombination med en digitaliserad detaljplanekarta för att samla detaljplanehandlingar och 3D byggnation i samma dataunderlag, se Figur 29.

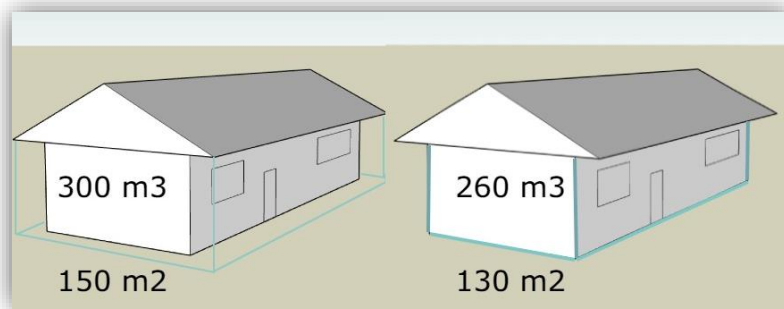


Figur 29 - En semantisk 3D objektsmodell i LOD 2 med en digitaliserad detaljplanekarta som underlag. (Höganäs kommun 2021)

Den semantiska objektsmodellen kan innehålla information om exempelvis omgivande byggnaders höjd, utbredning, takvinkel och ändamål. I detaljplanekartan finns information om exempelvis maximal exploateringsgrad, höjdkrav, ändamålskrav och strandskydd. I den fotorealistic modellen finns information om exempelvis fasadfärg och växtlighet. All denna information är av intresse vid bygglovsbedömningen. Att kunna samla informationen i en och samma visuella miljö är ett användbart verktyg för kommunen när bygglovshandlingar skall prövas (Lind 2022).

För att mäta exempelvis takvinkel eller nockhöjd på en befintlig byggnad krävs minst LOD2. Om endast absolut takhöjd behövs är LOD1 tillräckligt, se Figur 11. För att kunna passa in objektsmodellen med en 2D detaljplanekarta eller primärkarta krävs att byggnadens husliv är karterad efter dess fasad, se Figur 29. Det krävs också en markmodell som underlag för att passa in en objektsmodell ovanpå det tvådimensionella kartunderlaget.

Ibland modelleras 3D stadsmodeller efter takets avtryck i marken men detta kan ge missvisande dimensioner eftersom det flesta byggnader har ett betydande takutsprång, se Figur 30. Inritning efter takavtryck i stället för fasad ger även felaktig passform när 3D modellen skall användas i kombination med annat tvådimensionellt kartunderlag såsom exempelvis primärkarta eller detaljplanekarta.



Figur 30 – Figuren illustrerar hur två lika stora byggnader kan variera i volym och "byggnadsavtryck" (yta) beroende på karteringsmetod.

3.2 Versionshantering

Flera av de tillämpningar som finns kräver en tillräckligt uppdaterad version av staden för att fungera. Vissa tillämpningar kan även behöva information från tidigare objekt i stadens historia för att jämföra med stadens nuvarande objekt. För att hantera detta krävs en typ av versionshantering av stadsmodellen som möjliggör dels att hålla reda på den nuvarande versionen, dels vilka ändringar som gjorts i historien. De allra flesta 3D stadsmodeller har inget system för versionshantering och många modeller uppdateras heller aldrig, i stället är det vanligt att omskapa modellerna (Vitalis et al. 2019). I studien föreslår Vitalis et al. (2019) en ny typ av versionshantering för 3D stadsmodeller med hjälp av CityJSON. CityJSON är en JSON baserad kodning för 3D stadsmodeller som tillhör OGC Community standard (CityJSON 2022). CityJSON stödjer alla versioner av CityGML. Versionshanteringen innebär ett system liknande Git, vilket är ett vanligt system för lagring och versionshantering inom programmering (Git-scm 2022).

I CityGML 3.0 har egenskaper för utökad versionshantering tillkommit som inte finns i version 2.0. Eriksson et al. (2021) jämför i sin studie tre olika lösningar för versionshantering för 3D stadsmodeller. De tre lösningarna är en modifierad Git lösning (med CityJSON), CityGML 3.0 och PLCS standard (*Product lifecycle support*). PLCS är en standard som ursprungligen skapades för tillverkningsindustrin för versionshantering av komplexa objekt (Eriksson et al. 2021). I studien finner Eriksson et al. (2021) den modifierade Git lösningen enklast att implementera, dock är den utan stöd för mer komplexa versionshanteringsåtgärder. Vidare menar Eriksson et al. (2021) att CityGML 3.0 är något mer komplex att implementera men stödjer också en rad ytterligare funktioner medan PLCS standard är den lösning som stödjer flest funktioner men också den som är mest komplex att implementera.

4. Fallstudie

4.1 Inledning

I fallstudien har tre kommuner intervjuats för att få insyn i olika kommuners behov, användning och typ av 3D stadsmodell. Två mindre kommuner, Ulricehamn och Älmhults kommun, samt en större kommun, Stockholm stad, har intervjuats. En mindre kommun definieras här som en kommun med en mindre befolkning (<40 000 i den största tätorten enligt SKR) samt ett fåtal anställda inom GIS verksamheten. Kategoriseringen av kommunstorlek följer Sveriges kommuner och

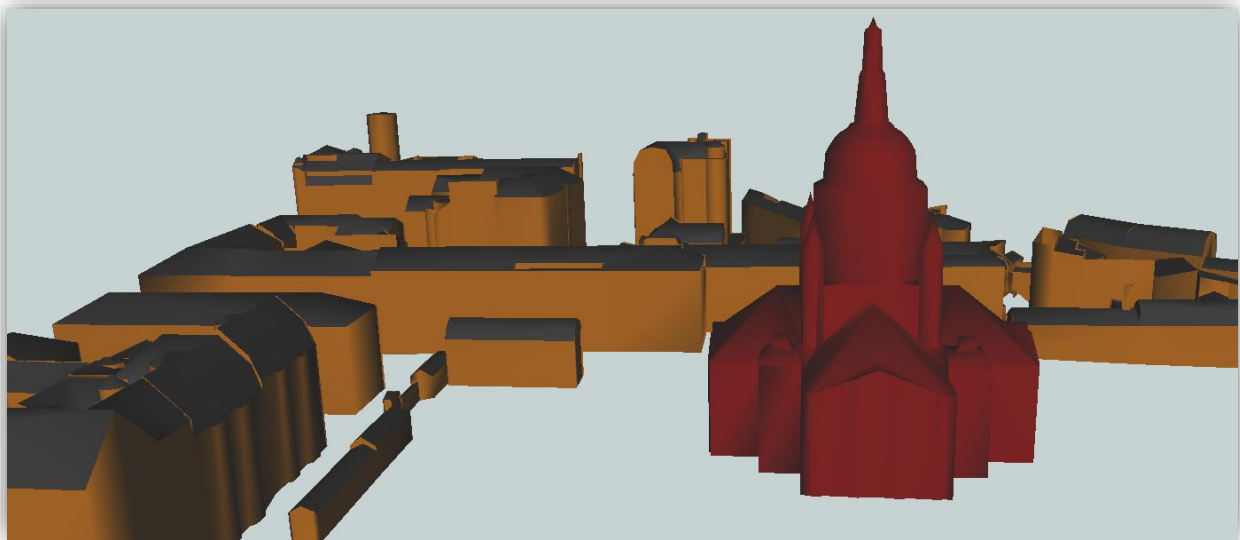
regioners kommungruppsindelning (SKR 2017). För att få perspektiv på de mindre kommunernas behov och specifikationer men också för att identifiera möjliga skillnader i jämförelse med en storstad har denna mix av kommunstorlek valts. De frågor som utgör grund för intervjuerna är tillgängliga med motivation i Bilaga 3.

4.2 Stockholm stads 3D stadsmodell

Stockholm stad är Sveriges största kommun sett till befolkningsmängd. Stockholms stad har en geodataenhet med 35 anställda som arbetar med framställning och uppdatering av kartor och geodata. Enheten samarbetar även med den kommunala lantmäteriavdelningen. Information om kommunens 3D stadsmodeller och användning är inhämtad genom intervju med Maria Uggla (geodatastrateg Stockholms stad, 31 mars 2022). Stockholms stad använder Terrascan² och Terraphoto³ för modulering och texturering av 3D stadsmodell, OpenCities Planner⁴ som visualiseringsverktyg och FME⁵ för behandling av data mellan program.

4.2.1 Modelltyp

Stockholms stad har flera 3D stadsmodeller. Den som främst används är en texturerad semantisk 3D objektsmodell med markmodell och träd. Varje byggnadsobjekt har ett unikt id kopplat till respektive objekt i kommunens primärkarta. Denna länk öppnar möjligheten att länka data från primärkartan till 3D modellen. Objektsmodellen är automatiskt framtagen med hjälp av vektorpolygoner från byggnadskarta och ett laserpunktmoln för takytorna. Fasadytor skapas automatiskt mellan de två ytorna för att bilda 3D byggnadsobjekt, se Figur 31. En liknande automationsprocess placerar även ut träd med hjälp av några inmätta och några laserskannade trädpositioner.



Figur 31 - 3D objektsmodell i LOD2 från Stockholms Stads databas visualiserat i FME (Stockholms stad 2021)

Modellen har draperats i en textur framställd av flygfoto. Det ger en mer verklighetstrogen bild med många detaljer, se Figur 32.

² <https://terrasolid.com/products/terrascan/>

³ <https://terrasolid.com/products/terrphoto/>

⁴ <https://www.bentley.com/en/products/brands/opencities-planner>

⁵ <https://www.safe.com/>



Figur 32 - Stockholms texturerade 3D objektsmodell i LOD2 över globen och Tele2 Arena (Stockholms Stad 2022)

4.2.2 Standard och detaljnivå

Objektsmodellen är framställd utifrån kommunens baskarta vilket medför att detaljnivån varierar. Ibland är kommunens baskarta väldigt detaljerad med små utsprång inritade (ca 10 cm), ibland är detaljnivån betydligt lägre. Detaljnivån varierar således beroende på vilket område det handlar om. Kommunen har inga detaljspecifikationer för modellen utöver de som finns för baskartan.

Objektsmodellen följer CityGML LOD2 för byggnader och LOD1 för andra byggnadsverk. Träd är utplacerade punktvis och har skiftande storlek men följer samma form. Alla stadens träd är inte modellerade utan endast vissa, huvudsakligen träd i gatumiljö eller park. Alla byggnadsobjekt i modellen är länkade med ID till objekt i kommuns primärkarta.

Tidigare hade Stockholms stad en meshmodell men de valde att införskaffa en semantisk objektsmodell i stället. Detta främst för att möjliggöra framtida applikationer som kräver semantik och kopplingar.

4.2.3 Användning

Stockholms stads främsta behov av en 3D stadsmodell är för visualisering inom stadsplanering. I olika faser av stadsplaneringsprocessen har kommunen ett behov av att visualisera den befintliga urbana miljön, ibland tillsammans med uppritade ändringar. 3D stadsmodellen utgör här ett visuellt bedömningsunderlag tillsammans med annan geodata. Stockholms stad har även behov av 3D objektsmodellen som dataunderlag i planprocessen vid framställning av dagsljus- eller skugganalyser.

Ett annat behov som 3D stadsmodellen har uppfyllt är som visualiseringsverktyg i plankommunikation med kommunens medborgare. Exempelvis på samråd, vilket är en tidig fas i detaljplaneprocessen då sakägare ges möjlighet att lämna synpunkter på planen. Med en 3D stadsmodell har kommunen kunnat presentera stadens planer visuellt och på så sätt gett en tydlig bild av kommunens intentioner. Stockholm stad har nyttjat 3D stadsmodellen i olika forum, exempelvis i stockholmsrummet i Stockholms kulturhus på Sergels torg. Där finns både interaktiva 3D

stadsmodeller som medborgare kan undersöka och en utskriven 3D stadsmodell baserad på den semantiska objektsmodellen. Den texturerade 3D stadsmodellen finns även öppen att inspektera på kommunens hemsida⁶. Data är inte öppen att fritt ladda ner utan finns att beställa mot en avgift. Kommunen har en vision om att kunna tillhandahålla öppna data i framtiden.

I framtiden hoppas kommunen även kunna använda modellen som grund för en CIM-modell och digital tvilling. Detta för att kunna uppfylla mer avancerade tillämpningar som exempelvis skyfallsstudier eller vindsimuleringar.

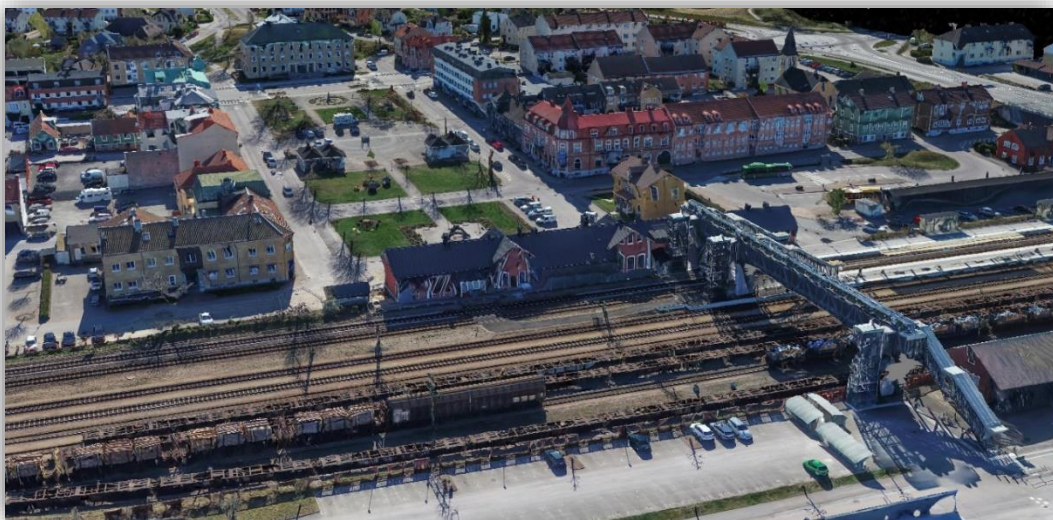
Kommunen laserskanner årligen staden för att inhämta nya data till modellen. Men på grund av tekniska svårigheter har inte alla uppdateringar följt med vid den årliga uppdateringen. Därmed är senast uppdaterade modell från 2019. Kommunen har en vision om att ajourhålla modellen på samma sätt som baskartan ajourhålls, vilket är löpande och på så sätt få in uppdateringar från exempelvis färdigställda bygglov eller liknande.

4.3 Älmhults kommuns 3D stadsmodell

Älmhults kommun är en mindre kommun med ca 18 000 invånare. Kommunen har 4 anställda på sin kart och mätenhet. Information om kommunens 3D stadsmodeller och användning är inhämtad genom intervju med Mats Jeppson (kart- och mätavdelningen, Älmhults kommun, personlig kommunikation, 28 mars och 19 april 2022). Älmhults kommun använder Aveki⁷ (myCarta, VA-banken, webbverktyg samt andra appar) som GIS och kartverktyg, Topocad⁸ som visualiserings- och ritverktyg och Sokigo⁹ för digital detaljplanering.

4.3.1 Modelltyp

Älmhults kommun har två typer av 3D stadsmodell införskaffade under 2021. En fotorealistic meshmodell, se Figur 33, och en semantisk objektsmodell. Ingen av kommunens modeller är öppen varken att titta på eller att ladda ner. Kommunen har dock planer på att tillgängliggöra modellerna online i framtiden.



Figur 33 – Meshmodell över Älmhults centrala delar. Foto Swescan

⁶ <https://eu.opencitiesplanner.bentley.com/stockholm/textureradmodell>

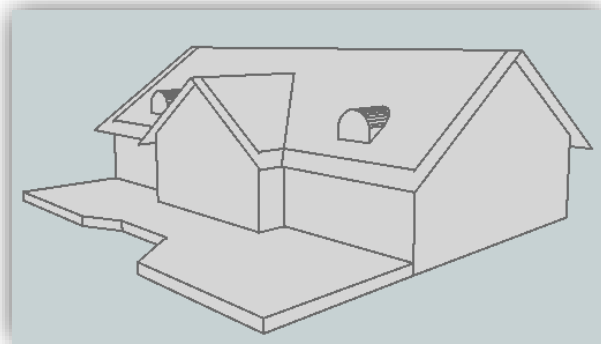
⁷ <https://www.aveki.se/>

⁸ <https://adtollo.se/en/topocad/>

⁹ <https://sokigo.com/produkter/focus-detaljplan-total/>

4.3.2 Standard och detaljnivå

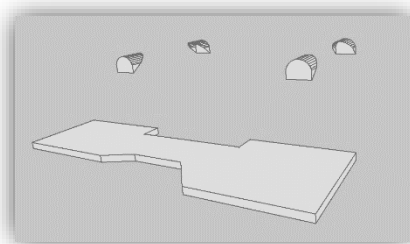
Data producerat för Älmhults 3D modeller är inmätt enligt HMK standardnivå 2, vilket är vanligt eftersom det representerar tätortsnivå. Objektmodellen följer CityGML 2.0 LOD2. Mer specifikt följer den detaljeringsnivå LOD2.3, se Figur 8. Figuren visar en byggnad från Älmhults semantiska 3D objektmodell, se Figur 34.



Figur 34 - Exempelbyggnad från Älmhults semantiska 3D byggnadsmodell i LOD2/2.3 (Älmhults kommun 2022)

I modellen är takets utsprång inkluderat och angivet som tak respektive takutsprång.

Byggnader är ritade utifrån fasadens avtryck på marken samt inmätta takpunkter. Denna modell följer således standarden från NS LOD2.2a. Förutom byggnader finns även byggnadstillbehör såsom exempelvis takkupa och altan inritade i modellen, se Figur 35.



Figur 35 - Byggnadstillbehör från exempelbyggnaden ovan, se Figur 34 (Älmhults kommun 2022)

Med objektmodellen följer även inritade markdetaljer såsom lyktstolpe, väglinje, mur och plank. i form av punkt, linje eller yta. Modellen innehåller även träd i punktform med höjd som attributdata, se Figur 36. Specifikationen för markdetaljerna följer ingen känd standard men specifikationer finns och är enligt överenskommelse i samarbete med dataleverantören. För en mer noggrann exemplifiering av attributdata, se Bilaga 4.



Figur 36 - Älmhults semantiska 3D objektmodell i en illustrativ framställning. Träden är framställda med en mall enligt individuella höjdattribut (Älmhults kommun 2022)

4.3.3 Användning

Kommunens främsta behov av 3D stadsmodell är som underlag vid bygglovsbedömning. Kommunen uttrycker hur en 3D stadsmodell främst utgör ett visuellt bedömningsunderlag för hantering av bygglov vilket underlättar och effektiviserar processen. I bedömning används både den

fotorealistiska och den semantiska objektsmodellen i kombination. Objektsmodellen används för att mäta i, som ett geometriskt underlag. Exempelvis tas mått på nockhöjd eller avstånd mellan byggnader. Kommunen uttrycker även ett behov av en högre detaljnivå på den fotorealistiska modellen för ett mer tydligt underlag i bedömning av fasader och andra vertikala objekt.

Eftersom kommunens modeller är nya för 2022 har inga ytterligare användningsområden ännu tillämpats. Kommunen har även planer på att införskaffa nytt system för att hantera digital geodata då deras nuvarande systemlösning är bristfällig, inte minst vid hantering av 3D data vilket enligt dem hämmar nyttjandet. Kommunen har planer på att använda modellen i detaljplanarbetet, både som underlag i planprocessen och i kommunikation med medborgare.

3D modellerna är inte öppna utan kan endast användas av kommunen för tillfället. Kommunen har planer på att tillgängliggöra modellerna men det har inte realiserats. Kommunens primärkarta är baserad på samma dataunderlag som objektsmodellen och ajourhålls regelbundet genom terrester mätning. Kommunen har dock ingen plan för ajourhållning av 3D objektsmodellen. Det finns inte heller någon plan för ajourhållning av meshmodellen.

4.4 Ulricehamns kommuns 3D stadsmodell

Ulricehamns kommun är en kommun med ungefär 25 000 invånare vilket innebär att kommunen räknas som en mindre kommun (SKR 2017). På kommunens kart- och mätenhet finns 6 anställda varav 2 arbetar med GIS. Information om kommunens 3D stadsmodeller och användning är inhämtad genom intervju med Tommy Lind (GIS-ingenjör, Ulricehamns kommun, personlig kommunikation, 18 april 2022). Kommunen använder ArcGis¹⁰ olika systemlösningar för att visualisera och behandla modellerna (Arcmap, ArcGis Pro, ArcGis Online, ArcGis Urban).

4.4.1 Modelltyp

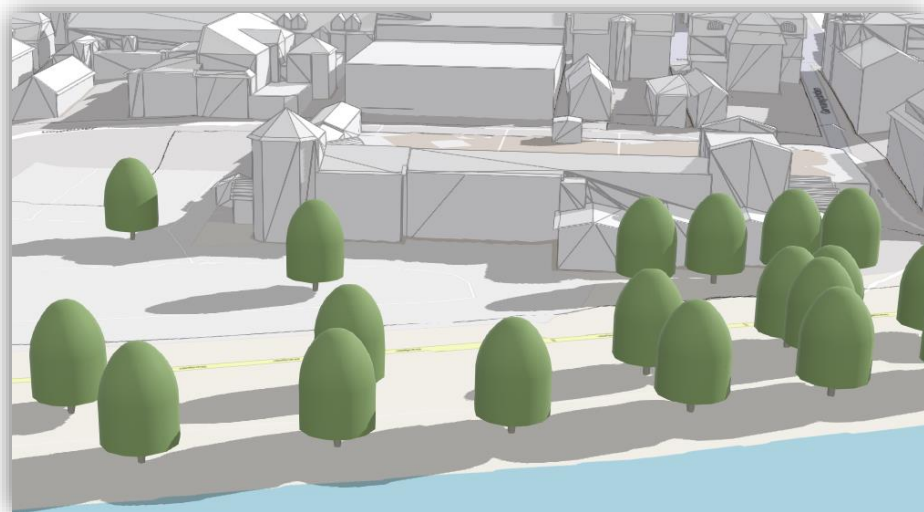
Ulricehamns kommun har två typer av 3D stadsmodell. En fotorealistisk meshmodell och en semantisk objektsmodell. Den som främst används av kommunen är objektsmodellen. Kommunen har fram tills intervjutiden endast haft det 3D stadsmodellerna i några veckors tid, men har redan nyttjat modellen för deras behov.

4.4.2 Standard och detaljnivå

Inhämtade data för modellerna följer kraven enligt HMK standardnivå 2. Modellerna innehåller även information såsom markmodell, träd i form av punktdata, gång-, cykel- och bilväg, plank och mur. Samtliga objekt som inte är byggnader är inritade i 2D. De träd som är angivna är i punktform innehar höjd som attributdata.

Objektsmodellen följer LOD2, se Figur 37. Mer specifikt följer den LOD2.3 från Biljecki et al. (2016). Byggnaderna är inritade efter fasadliv vilket medför att modellen således även följer NS LOD2.2a.

¹⁰ <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/index>



Figur 37 - Ulricehamns kommuns byggnadsmodell med tematiska träd och markmodell (Ulricehamns kommun 2022)

Att objektmodellens objekt är inritade efter fasadlivet på byggnaden och inte taklivet är av stor vikt för kommunen. Eftersom kommunen har en digitaliserad detaljplan och primärkarta medför ovanstående karteringskrav korrekt inpassning i detaljplan och primärkarta. Det ger således också mer korrekt byggnadsvolym i modellen (samt byggnadsarea), se Figur 30. Objektmodellen är kopplad med ID till kommunens primärkarta vilken också är framställd utifrån samma datamängd. I objektmodellen är takets utsprång inkluderade, angivet som tak respektive takutsprång. Byggnader är ritade utifrån fasadens avtryck på marken. Denna modell följer således standarden från NS LOD2.2a. Förutom byggnader finns även byggnadstillbehör såsom exempelvis takkupa och altan inritade, precis som i Älmhults 3D objektmodell. För en mer noggrann exemplifiering av attributdata både för byggnader och andra lager, se Bilaga 4. Bilagan gäller främst Älmhults kommuns modell men Ulricehamns modell är lik i sina attributdata.

4.4.3 Användning

Ulricehamns kommuns främsta behov av en 3D stadsmodell är som underlag vid bygglovsbedömning. Kommunen har i sin databas samlat det tvådimensionella kartunderlaget såsom digital detaljplanekarta och primärkarta tillsammans med 3D modellerna vilket gör att samtliga data som behövs vid bedömning är lättillgängliga. För att nyttja modellen som bedömningsunderlag är det av stor vikt för kommunen att inneha både meshmodellen och objektmodellen. De utgör främst ett visuellt bedömningsunderlag för att kontrollera områdesuppgifter men kommunen tar även specifika mått i objektmodellen, exempelvis nockhöjder. Meshmodellen är behövlig för att samla in och bedöma områdets visuella egenskaper så som växtlighet, fasadfärg, utformning, taktyp och andra detaljer som kan spela in i ett bygglovsärende. Kommunen använder modellerna till att både bedöma nya bygglovsansökningar samt för att kontrollera att befintlig bebyggelse följer de planer som finns i området.

Det är av stor vikt för kommunen att byggnadens husliv karteras utefter fasad för att ge precis byggnadsarea och volym samt korrekt inpassning med det tvådimensionella kartmaterialet. Det är framför allt av stor vikt vid bygglovsbedömning. Exempelvis så jämförs 3D objektmodellen med den

digitala detaljplanen för att kontrollera att viss byggnation inte är placerad på prick- eller korsmark. Prickmark är enkelt beskrivet mark som i detaljplan reglerats till att vara fri från viss bebyggelse. Här kan också en byggnads taköverhäng ha betydelse om det överskrider ett visst djup. Även en byggnads nockhöjd kan ha betydelse eftersom det kan avgöra om byggnation är tillåten inom prickmark eller ej.

Kommunen har även för avsikt att använda objektsmodellen i plankommunikation. Då skall modellen utgöra grund för visualisering av kommunens detaljplaner, exempelvis som i Borås kommuns 3D modell, se *Figur 25*. Modellen kan även ses med den digitala detaljplanen som bakgrund, likt Höganäs kommuns modell, se *Figur 29*.

Kommunen har även behov av att använda objektsmodellen för att framställa dagsljus- och skugganalyser. Tidigare har kommunen köpt in sådana beräkningar vid olika tillfällen, men nu framställs de utan externa parter, med hjälp av egen 3D data samt de simuleringsprogram som finns i deras system. Det finns även möjlighet för kommunen att genomföra siktanalyser i deras system men det behovet lyftes inte av kommunen vid intervjun.

3D objektsmodellen är öppen att titta på online. I framtiden kommer även den digitala detaljplanemodellen att vara öppen för allmänheten att titta på. Inga data är öppna för nedladdning.

4.5 Sammanställning fallstudie

4.5.1 Behovsdefinition

Ett behov definieras här som *en brist på* eller *avsaknad av det underlag som behövs för att på ett effektivt sätt utföra kommunens arbete*. Under varje kommuns obligatoriska uppgifter finns flera olika kategorier, inte minst plan- och byggfrågor (SKR 2021). Dock kan en stadsmodell också nyttjas för att effektivisera andra obligatoriska kommunala verksamheter, exempelvis i arbetet med miljö- och energifrågor. Det finns ett stort behov från kommuner vad gäller ökad effektivisering av sina verksamheter (SKR 2022).

4.5.2 Behov

Tabellen nedan sammanfattar vilka behov de olika kommunernas 3D stadsmodeller tillfredsställt samt de behov som kommunen planerar att tillfredsställa inom snar framtid med hjälp av 3D stadsmodeller, se *Tabell 5*.

Tabell 5 – Sammanfattning av kommunernas behov av 3D stadsmodeller. X markerar nuvarande nyttjande, F markerar planerat framtida nyttjande. Både X och F visar kommunens behov

Behov	Stockholms stad	Älmhults kommun	Ulricehamns kommun
Bulleranalys			
Bygglovsbedömning		X	X
Plankommunikation	X	F	F
Siktanalys			
Skuggstudie	X		X
Sol- eller dagsljusberäkning	X		X
Stadsplanering	X	F	X

Stockholm stads främsta behov för en 3D stadsmodell är som underlag inom stadsplanering. De mindre kommunernas främsta behov är som underlag för bygglovsbedömning. De behov som samtliga kommuner lyft fram vid intervjuer i fallstudien är vid stadsplanering och plankommunikation. Ingen kommun har i denna studie lyft fram ett specifikt behov av att genomföra siktanalys eller bulleranalys med en 3D stadsmodell som dataunderlag.

4.5.3 Specifikationer

Tabellen ned sammanfattar vilka specifikationer de tre olika kommunernas 3D stadsmodeller följer, se *Tabell 6*.

Tabell 6 - Sammanfattning av kommunernas specifikationer för 3D stadsmodeller.

Specifikation	Stockholms stad	Älmhults kommun	Ulricehamns kommun
Semantisk 3D objektsmodell	Ja	Ja	Ja
3D fotrealistisk modell	Ja, texturerad objektsmodell	Ja, meshmodell	Ja, meshmodell
LOD-nivå byggnader CityGML 2.0/NS byggnad/Biljecki et al. 2016	2/2.2a/2.0	2/2.2a/2.3	2/2.2a/2.3
Gis visualisering	Opencities planner	Topocad	Arcgis (Arcgis urban)
koppling till primärkarta, detaljplanekarta	kopplad med objektsID	kopplad med objektID	Kopplad med objektsID, tillgänglig i samma systemmiljö för sömlös användning
HMK standardnivå	1 eller 2, skiljer sig beroende på stadsdel	2	2
Takutsprång	Nej	Ja	Ja
Husliv efter fasad	Ja	Ja	Ja
Detaljerad lösning för ajourhållning	Ja, årsvis (tekniska problem)	Nej	Nej
Personalstyrka	35st (geodataenheten)	4 st (kart- och mätenheten)	6 st (kart- och mätenheten)
Öppna data/Öppen för visualisering	Nej/Ja	Nej/Nej	Nej/Ja

Samtliga kommuner innehar både en fotorealistisk modell samt en semantisk 3D objektsmodell. Samtliga kommuner innehar objektsmodeller i LOD2 med variationer. Varken den stora eller de mindre kommunerna har en etablerad (fungerande) rutin eller lösning för ajourhållning av sin 3D stadsmodell. Ulricehamns kommun var den enda som vid intervju kunde påvisa ett system där all data inklusive kommunens 2D kartunderlag var samlad och digital. Detta ger en mer sömlös användning vilket betyder att data är lättillgänglig utan handpåläggning eller import/export mellan olika system.

5. 3CIMver1 för en mindre kommun

5.1 Inledning

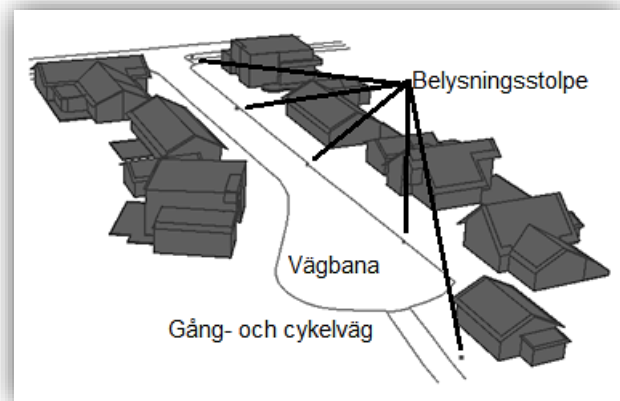
Då 3CIM är tänkt att vara kompatibel även för mindre kommuner är det av intresse att undersöka vad som krävs för att anpassa en mindre kommuns objektsmodell till 3CIMver1. 3CIMver1 innehar inga obligatoriska datamängder utan är endast en samling kodlistor och formatbeskrivningar som anger hur data skall formateras. I denna del undersöks därför vad som krävs för att Älmhults objektsmodell skall anpassas 3CIMver1. I undersökningen används FME. Undersökningen ämnar ge

en översiktlig bild av vilken arbetsinsats som kan krävas av en mindre kommunen för att ansluta till 3CIMver1. De tidsangivelser som ges anger hur lång tid det tog i hela processen från att läsa in data, till att exportera färdiga filer. Tidsangivelsen inkluderar även den betänketid som tillkom för att välja rätt verktyg (transformer) i FME.

Ett utdrag över hur Älmhults attributdata är ordnad finns i *Bilaga 4*. Det dataunderlag som används i undersökningen är från Älmhults semantiska 3D objektsmodell.

5.1.1 Dataunderlag

På grund av avgränsning är endast ett kvarter urklippt. Det urklippta kvarteret från Älmhults stadsmodell innehåller *Byggnader*, *Byggnadstillbehör*, *Markdetaljer* och *Marklinjer (Transportlinjer)*. De markdetaljer som innefattas i kvarteret är *belysningsstolpar* i punktform. De Marklinjer som innefattas är *vägbana* samt *gång- och cykelväg i linjeform*, se Figur 38.



Figur 38 - Figuren visar dataunderlaget för undersökningen. Ett urklipp med ett kvarter från Älmhults 3D objektsmodell.

5.1.2 Mappning

En mappning innebär en formatkonvertering där olika värden formateras om efter en viss bestämmelse, ofta enligt ett formateringsskript (Safe 2020). Det kan exempelvis handla om att ett värde översätts eller byts ut till ett annat. En mappning kan också innehålla matematiska formler för att konvertera tal eller liknande.

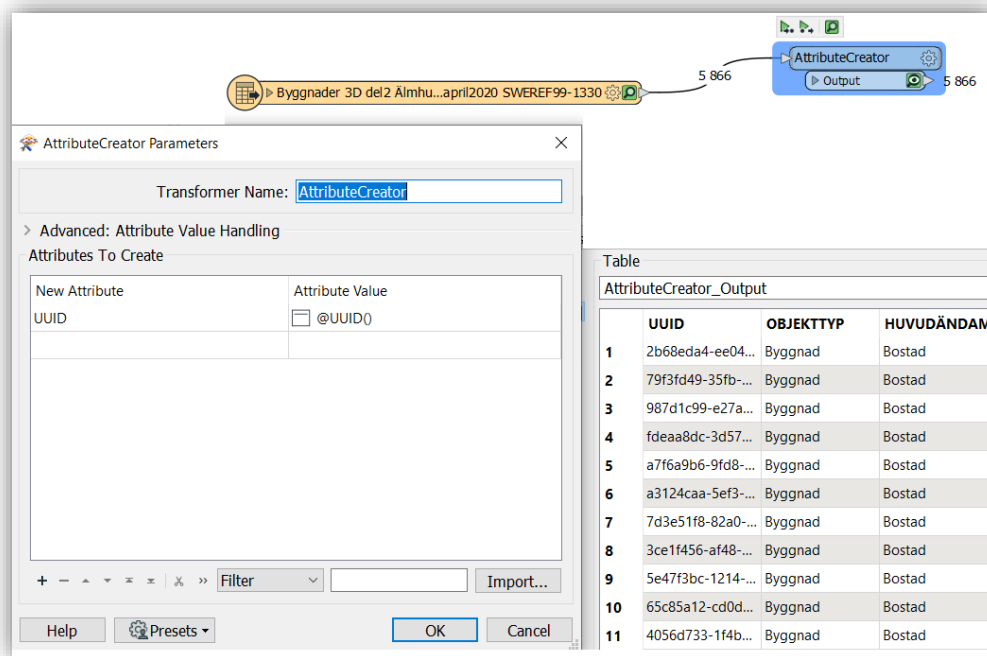
Mappning kan utföras i olika verktyg, exempelvis med FME¹¹. FME är ett ETL-verktyg (Extract, Transform, Load) som används inom GIS sektorn. Många av de åtgärder som krävs för att ansluta Älmhults Objektsmodell till 3CIMver1 skulle innebära mappning där FME kan vara ett lämpligt verktyg, se *Figur 40*.

5.1.3 Grundläggande krav

För 3CIMver1 gäller att koordinater lagras i lokala SWEREF 99 projektioner och i höjdsystemet RH 2000. Detta följer redan Älmhults objektsmodell. Här krävs alltså ingen ändring.

3CIMver1 använder sig av UUID för alla objekt, vilket är en form av unika ID. Älmhults modell innehåller ID som är kopplade med deras övriga kartmaterial. Modellens ID följer inte formatet UUID och är inte heller unika för varje objekt utan är ett grupperat ID som representerar ID för hela byggnationer. För att åtgärda detta är det möjligt att generera nya UUID för varje befintligt objekt i modellen. Så länge kommunen har ett samlat digitalt underlag är det enkelt att göra tillägg och ändring även i kopplade attributdata. Eftersom Älmhults kommun har samma ID numrering för primärkarta är det genomförbart att på ett effektivt sätt att strukturera om ID numreringen. En UUID generering kan exempelvis genomföras i FME, se *Figur 39*.

¹¹ <https://www.safe.com/fme/>



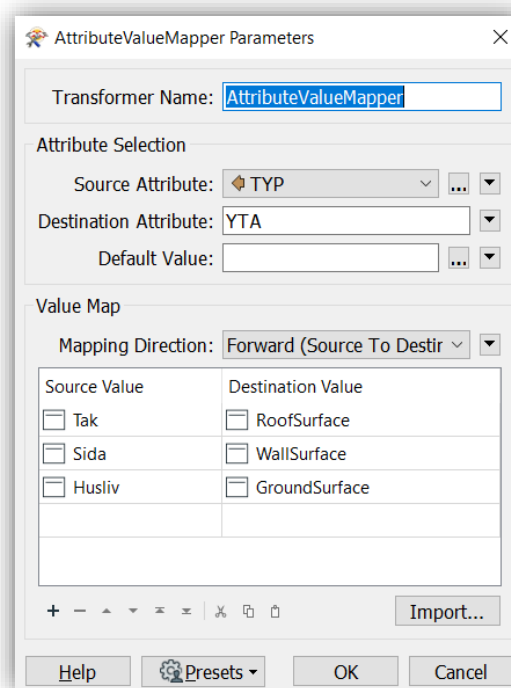
Figur 39 - Enkel UUID generering, genom att använda AttributeCreator i FME. Resultat blir en UUID-kolumn i tabellen till höger i figuren.

I undersökningen genererades UUID för varje objekt, se Bilaga 5. ID genereringen krävde ingen större arbetsinsats. Tidsåtgång för att generera UUID till samtliga objekt i urklippet var cirka 1 timme.

5.2 Omstrukturering av dataunderlaget

5.2.1 Byggnader och byggnadstillbehör

Byggnader och byggnadstillbehör i objektsmodellen följer grundprinciperna i CityGML 2.0 *Building*, vilket också är kraven för 3CIMver1. I framtiden kommer 3CIM även att följa måtanvisningar NS byggnad (Harrie 2022). Modellen behöver endast genomgå mindre förändringar för att följa CityGML 2.0 *Building* helt. Exempelvis så uttrycks byggnadsytorna som *Tak*, *Sida* eller *Husliv* men i 3CIMver1 skall de benämnas som *RoofSurface*, *WallSurface* eller *GroundSurface*. Detsamma gäller exempelvis *Byggnadstillbehör* som skall benämnas *BuildingInstallation*. Detta problem kan enkelt lösas med en mappning, se Figur 40. Objektmodellens geometridata och typkategoriseringen är tillräckligt väl ordnad så att en mappning till 3CIMver1 är genomförbar med enkla medel, se *Bilaga 4*. För att se den



Figur 40 - Exempel på en mappning i FME där befintliga värden mappas till nya.

omstrukturerade tabellen som följer 3CIMver1 se Bilaga 5. Tidsåtgången för att strukturera om attributdata för dataunderlagets byggnader samt byggnadstillbehör var cirka 30 minuter.

5.2.2 Ledningsnät, markdetaljer och marktäcke

För ledningsnät kräver 3CIMver1 endast punktdata (LOD0). 3CIM är under utveckling och 3CIMver1 innehåller endast rännstensbrunnar som objekt i temat ledningsnät. I framtiden kommer även specifikationer angående andra typer av ledningsnät att införas och då kommer också andra geometrier att tillåtas (Smart Built Environment 2022a). Älmhults modell innehar för tillfället data om en typ av ledning vilken kategoriseras som luftledning, i överkategorin markdetaljer. För att anpassa denna data till 3CIMver1 skulle endast ett kategoribyte krävas. Inga luftledningar finns innanför det urklippta dataunderlaget i undersökningen.

När det gäller markdetaljer innehar Älmhults modell främst stolpar i punktform samt plank, murar och stängsel i linjeform. Detta följer redan 3CIMver1s geometriska krav då punkt, linje, yta eller kropp är kravet. Två attribut som ibland saknas i dataunderlaget är objektsbredd samt höjd. Att få tillgång till denna typ av data skulle kräva ytterligare inmätningar för att komplettera datamängden vilket kan ses som en tidskrävande uppgift. I 3CIMver1 är det inte specificerat för vilka företeelser som objektsbredd samt höjd är obligatoriskt. Det kommer förmodligen att specificeras i Lantmäteriets mätanvisningar för NS markdetalj eller dylikt material i framtiden. I 3CIMver1 anges det vidare att objektshöjd eller bredd kan finnas med 0 eller 1 gång per objekt. Därav antas det i denna undersökning inte vara obligatoriskt för ett objekt. I dataunderlaget finns markdetalj i form av *belysningstolpe*. Det innehåller attributet höjd men inte attributet bredd. Därav inkluderas attributet höjd i anpassningen. Omstrukturering av attributdata för markdetaljer tog ca 30 min. För resultat se Bilaga 5.

Älmhults objektsmodell innehåller ingen data vad gäller markytans egenskaper, detta är i linje med 3CIMver1 eftersom den typen av data inte skall samlas in eller ajourhållas av kommunen. Den typen av klassificering skall i stället ske i verksamhetssystemet.

5.2.3 Transport

Temat transport gäller i 3CIMver1 de företeelser som är ämnade för transportbehov tillsammans med de ytor som bygger upp vägrummet. I Älmhults modell finns lagret marklinjer. Det innehåller främst linjer för *Vägbana* samt *Gång- och cykelbana*. De är i sin tur en underkategori till *Vägområde* som i sin tur är underkategori till *Transportlinje*, se *Bilaga 4*.

3CIMver1 skiljer sig på flera punkter från Älmhults modell. För de första är transportföreteelser i 3CIMver1 angivna som multitytor i antingen LOD1 eller LOD2, se Tabell 1 samt Figur 10. Detta gäller samtliga objekt förutom markeringsobjekt vilka kan bestå av enbart punkt eller linje (LOD0). Vägmarkering är en typ av markering i 3CIMver1 men i Älmhults modell är det vägkanten som är inmätt och inte vägmarkeringar. Därav kan inte dessa väglinjer översättas till markeringar. En möjlighet för att anpassa modellen till 3CIMver1 är att slå samman linjer som tillhör samma typ och sedan bilda ytor av dem. Detta är en mer komplicerad process som kräver en geometrisk bearbetning av samtliga marklinjer i Älmhults modell.

Varför processen är komplicerad beror på att datamängden inte är uppbyggd av ytor utan av en samling linjer. Även om en samling linjer tillsammans kan utgöra en yta så krävs det en spatial analys

för att veta vilken yta som skall benämnas med vilken kategori, se Figur 41. Vidare hjälper det om modellen är tät i den bemärkelsen att inga linjer saknar anslutning. Annars behöver fler verktyg användas för att kunna stänga ytan, innan den kan ytbildas. Om det handlar om en mindre datamängd kan den spatiala analysen kanske göras för hand men om den skall automatiseras för en större datamängd krävs en mer komplicerad process.

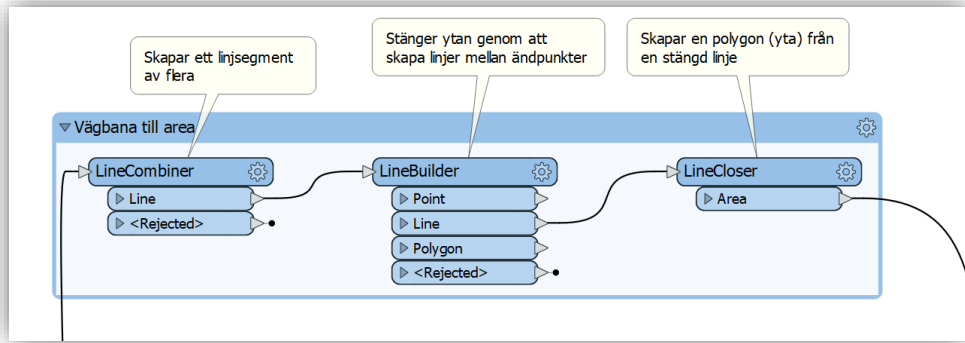
Vad skulle exempelvis krävas för att en samling cykelvägslinjer skall kategoriseras som en cykelvägsyta? Vad händer om en vägbanelinje stänger en cykelväg? Även om en spatial analys kan upplevas enkel för blotta ögat så krävs tydliga riktlinjer för att automatisera den. Detta eftersom det finns flera möjliga utfall som tas hänsyn till i analysen.



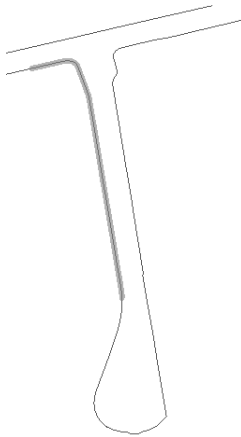
Figur 41 - Ett utdrag från Älmhults marklinjer visar hur olika kantlinjer är kategoriserade. Det krävs en spatial analys för att bestämma vilken yta som skall kategoriseras med vilken typ.

Nedan följer en lösning för att omstrukturera det specifika dataunderlaget i undersökningen. Denna lösning är inte tillämpbar för andra dataset som är mer komplicerade exempelvis för vägförhållanden i en stadsmiljö. Att genomföra en spatial analys i större skala riskerar att bli mer komplicerat än för ett mindre urklipp eftersom andra geometriska förhållanden råder.

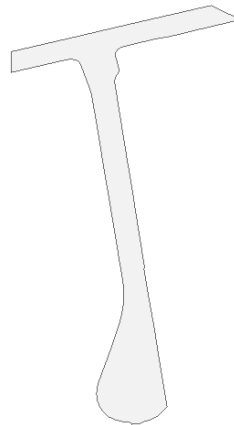
I undersökningen delades vägbana och gång- och cykelväg upp i två separata objekt. Figuren nedan visar hur vägbanan först är strukturerad i linjeformat, där vägbanan består av olika linjesegment, se Figur 43. För att strukturera om vägbanans geometri skapades först en hel linje utifrån separata linjesegment. Sedan stängdes vägbaneytan genom att skapa nya linjer mellan de linjeändpunkter som är närmast varandra. Till sist skapas en polygon utifrån den stängda ytan, se Figur 44. Figuren nedan visar en del av arbetsflödet som användes i FME, se Figur 42.



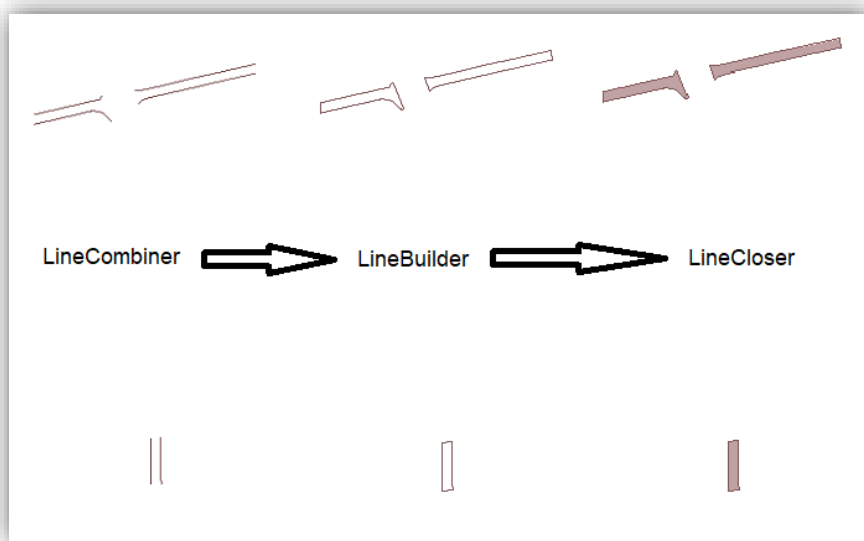
Figur 42 - Arbetsflödet för transportlinjer i FME.



Figur 43 - Vägbana uppbyggt av linjesegment. Ett segment markerat med fetare stil



Figur 44 - Vägbana i ytformat efter behandling.



Figur 45 - Omstrukturering av gång- och cykelväg

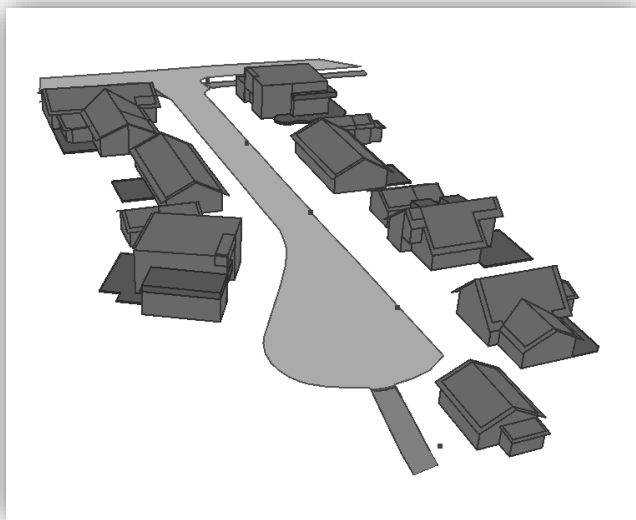
Sedan genomförs samma procedur för gång- och cykelväg, se Figur 45. I Figuren nedan visas de två omstrukturerade transportytorna tillsammans, se Figur 46. Slutligen omstrukturerades även attributdata för transportytorna för att följa 3CIMver1, se Bilaga 5. Tidsåtgången för att

omstrukturera transportlinjerna i Älmhults 3D objektsmodell till transporttytor var ca 2 timmar. Tidsåtgången för att omstrukturera attributdata var ca 30 min.

En ansats för 3CIMver1 är att segmentering av transporttytor skall följa NVDB. Vägdata som levereras till NVDB skall vara i linjeformat. Linjerna i NVDB delas in i särskilda specifika segment (NVDB 2022). Om transporttytor skall struktureras efter NVDB kommer ytterligare arbete att krävas, dels för att etablera en anslutning mellan stadsmodellen och NVDB, dels för att tolka hur transporttytor skall omstruktureras för att följa linjesegment i NVDB. På grund av en avgränsning har en anslutning till NVDB inte testats i denna undersökning. 3CIMver1 anger dock inte en anslutning som obligatorisk utan benämner det som en "ansats" (Smart Built Environment 2022a s.12).

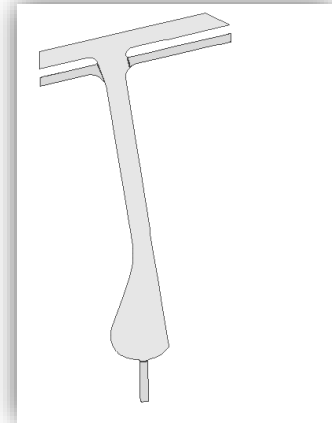
5.3 Sammanfattning

I figuren nedan visas den slutliga datamängden efter bearbetning, se Figur 47. Det finns endast en visuell (geometrisk) skillnad vilken är att transportlinjer är omstrukturerade till transporttytor.



Figur 47 - Dataunderlaget omstrukturerat till att följa 3CIMver1

Störst tidsåtgång krävdes vid omstrukturering av geometri för transportlinjer. Samtliga omstruktureringar av attributdata hade betydligt mindre tidsåtgång. Resultatet utifrån undersökningen sammanfattas i tabellen nedan, se Tabell 7.



Figur 46 - Samtliga transporttytor visade från ovan.

Tabell 7 - Sammanfattning av tidsåtgång för att omstrukturera ett urklipp av Älmhults 3D objektsmodell att följa 3CIMver1.

	Omstrukturering av geometri (h)	Omstrukturering av attributdata (h)	följer 3CIMver1
<i>Byggnad</i>	-	0,5	Ja
<i>Byggnadstillbehör</i>	-	0,5	Ja
<i>Ledningsnät</i>	-	-	-
<i>Markdetalj</i>	-	0,5	Ja
<i>Marktäcke</i>	-	-	-
<i>Transport</i>	2	0,5	Ja

6. Diskussion

6.1 Behovsbilden

Baserat på de studier som genomförts är det främsta kommunala behovet av en 3D stadsmodell inom stadsplanering, plankommunikation samt bygglovsbedömning. För Stockholms stad, som är Sveriges befolkningsmässigt största kommun, är det inom stadsplanering. I de mindre kommunerna Älmhult och Ulricehamn är det i stället inom bygglovsbehandling som behovet är störst. Varför det främsta behovet skiftar i samband med kommunstorleken är osäkert att fastslå utifrån materialet i denna studie, men det kan ändå vara värt att notera skillnaden.

Det är även anmärkningsvärt att ingen kommun i fallstudien yttrar ett behov att använda en 3D stadsmodell för vare sig sikt- eller bulleranalys. Kanske är tillämpningarna utanför kommunens dagliga arbete då sikt- eller bulleranalyser ofta utförs av externa parter som exempelvis konsulter. Behovet av att framställa sol- eller dagsljusberäkningar samt skuggstudier yttrades av både Stockholms stad och Ulricehamns kommun. Möjligheten att, baserat på kommunala data, utan externa inköp, kunna framställa sådana typer av beräkningar borde rimligtvis nyttjas av alla kommuner som innehar en 3D stadsmodell. Det är inte ovanligt att 3D GIS program stödjer sådana analyser. Det finns exempelvis stöd för sådana analyser både i Stockholms och Ulricehamns systemlösningar, *UrbanCities Planner* och *ArcGis Urban*. Om en kommun har en 3D stadsmodell borde den rimligtvis nyttjas för sådant som minskar kommunens inköp och effektiviserar kommunens arbete givet att kommunen innehar den kompetens som krävs.

6.2 Standardlandskapet

6.2.1 LOD

Studien tydliggör att det svenska standardlandskapet för 3D stadsmodeller i kommunerna är under uppbyggnad. Det finns, som studien visat, exempelvis flera varianter av LOD. I kommunikation med kommunerna är det inte alltid tydligt vilket system som följs eller borde följas. Lantmäteriets variant NS LOD borde rimligtvis ha en större tyngd när det gäller byggnadsspecifikationer, eftersom det är en svensk myndighet som utformat varianten. Men kunskapen om NS LOD verkar inte ha nått kommunerna i praktiken. En fördel med NS LOD är bland annat att den innefattar vilka ytor som huslivet är karterat utifrån, se Bilaga 2.

Samtliga kommuner har valt att använda LOD2 i olika varianter. Skillnaden mellan Stockholms modell och de övriga är i synnerhet att den är framställd i en mer automatiserad process vilket har medfört

att byggnadstillbehör, takutsprång och takkupor inte karteras. Detta ger LOD2.0 utan byggnadstillbehör i stället för LOD2.3, inklusive byggnadstillbehör.

6.2.2 Kartering efter fasadliv

Samtliga kommuner har valt att rita byggnaders husliv utifrån fasadlivet. Fördelarna med att kartera efter fasadlivet beskrivs bland annat i del 3.1.6 Bygglövsbedömning. Fördelen med att modellera efter takyta skulle kunna vara att det krävs mindre indata, nämligen endast inmätta takytor. Nackdelarna med att modellera efter takyta är värda att ta i beaktning eftersom de förvränger areor, volymer och byggnaders egentliga placering. Om en kommun, utöver takytor, dessutom innehar en digital byggnadskarta finns redan den data som krävs för att kartera efter fasadliv.

Vidare är det även att rekommendera att det i attributdata finns angivet med vilken metod huslivet är karterat, detta medför nämligen att LOD nivån kan översättas till NS LOD, se Bilaga 2. Det medför även att användare kan uttyda vilken detaljnivå modellen har i jämförelse med verkligheten.

6.2.3 Fotorealistic modell eller objektsmodell

De mindre kommunerna anger att det finns ett behov av både en objektsmodell och en fotorealistic modell. Objektsmodellen används som en geometrisk modell för att ta mått i och för att tilldela objekt individuella attribut. Den fotorealistic modellen används som ett visuellt stöd för att urskilja egenskaper som inte framkommer i objektsmodellen, exempelvis växtlighet eller fasadfärg.

Kanske är den texturerade modelltypen som Stockholms stad använder en fördelaktig modelltyp i jämförelse med den fotorealistic meshmodellen eftersom den innehar en kombination av fotorealism, vektordata och semantik. Detta givet att kostnaden för den mindre kommunen att införskaffa en sådan typ av modell vägs mot kostanden av den vunna nyttan i en kombinerad modell.



Figur 48 - Exempel på distorsioner i en fasad i lägre detaljerad meshmodell. foto Swescan

En texturerad objektsmodell tenderar även att ge tydliga fasadbilder, se Figur 32 eller Figur 25. Detta beror på att en texturerad objektsmodell draperas över plana ytor. Med en lägre indatakvalitet (lägre antal foton och fotovinklar) samt en hög decimering av en meshmodell tenderar fasader i en meshmodell att förvanskas, se Figur 48. Det är möjligt att med en meshmodell uppnå en mer realistisk plan återgivning av en fasad, se Figur 1. Det krävs dock en större mängd indata samt mer processorkraft i både framställning och visualisering för att undvika förvrängda fasadbilder.

6.2.4 Ajourhållning

Ingen av de intervjuade kommunerna angav en fungerande lösning för ajourhållning eller versionshantering av sin 3D stadsmodell. Detta bekräftar de meningar som Vitalis et al. (2019) bär fram i sin studie, se del 3.2 Versionshantering, nämligen att de flesta 3D stadsmodeller inte har en ajourhållningslösning utan helt byts ut i stället. Stockholm stads vision med uppdatering är att uppdatera delar av modellen löpande likt uppdateringen i en primärkarta efter att en byggnation är färdigställd.

Om en kommun gör sig beroende av en 3D stadsmodell utan att ha en lösning för ajourhållning så skulle det kunna innebära problem i framtiden. Om kommunens lösning för ajourhållning innebär att införskaffa en helt ny stadsmodell vid uppdatering borde det vara både dyrare och mer tidskrävande än att endast uppdatera mindre delar av modellen.

Om en kommun exempelvis skall använda sin stadsmodell som bedömningsunderlag i en bygglovsansökan är det av stor vikt att de mått och områdesdetaljer som anges i bedömningsunderlaget är aktuella. Kanske vissa områden i kommunen genomgår förändringar ofta och därmed behöver ajourhållas med ett mindre intervall? Här blir det rimligtvis upp till varje kommun att bedöma vilket ajourhållningsintervall som är nödvändigt utifrån deras behov.

3CIM projektets syfte är att utveckla informationsspecifikationer som möjliggör kopplingar till olika verksamhetssystem. Tanken är att 3D stadsmodellens geometrier och kopplingar uppdateras i 3D stadsmodellen medan attributdata kopplat till verksamhetssystem i stället uppdateras i det externa verksamhetssystemet. En fördel med detta är att det på sikt förhindrar dubbel lagring av data och på så sätt minskar ajourhållningsarbetet. Med en sådan relation kan det även vara möjligt att påkalla uppdateringar i 3D stadsmodellens geometri och kopplingar från exempelvis ett bygglovssystem. En rekommendation som Eriksson och Harrie (2021) ger i sin rapport är att tydligt koppla 3D stadsmodellen till kommunens byggnadsregister, för att i sin tur möjliggöra mer komplexa tillämpningar som exempelvis en mer digitaliserad bygglovsbedömning.

6.3 Anslutning till 3CIMver1

I del 5, *3CIMver1 för en mindre kommun*, undersöks vad som skulle krävas för att ett urklipp av Älmhults kommuns semantiska 3D objektsmodell skall följa 3CIMver1. Nedan diskuteras vilken arbetsinsats som skulle behövas för att anpassa hela objektsmodellen till 3CIMver1, baserat på undersökningen som genomförts.

För det mesta är anpassning till 3CIMver1 en överkomlig uppgift. För temat *byggnad, ledningsnät och marktäck* krävs det endast en mindre arbetsinsats, då mestadels i form av mappning av olika attribut. Det krävs också en generering av unika ID i format UUID för samtliga objekt. Dessa ändringar bedöms som mindre arbetsinsatser då det endast handlar om att skapa attribut och ändra kategorisering, främst med hjälp av mappning. I undersökningen, där ett kvarter anpassas till 3CIMver1, var tidsåtgången ca 0,5 timmar per tema vid omstrukturering av attributdata samt ca 1 timme vid ID generering för samtliga teman, se Tabell 7 eller 5.1.3 Grundläggande krav.

För tema *markdetaljer* kan det krävas en ny inmätning av objektshöjd och bredd för att anpassning till 3CIMver1. I väntan på att Lantmäteriets nationella specifikationer gällande markdetaljer tas fram finns en risk att flera kommuner inte mäter in höjd eller bredd för vissa objekt som sedan kan anses vara obligatoriska attribut enligt Lantmäteriets NS markdetalj. Detta bedöms eventuellt som en stor arbetsinsats i framtiden eftersom det kan gälla inmätning av många objekt. För tillfället är det dock inga problem eftersom det i 3CIMver1 inte är ett obligatoriskt attribut. En fördel för att mäta in objektshöjd och bredd är att det bland annat är möjligt att definiera huruvida olika objekt definieras som barriärer, exempelvis i en buller- eller skyfallssimulering.

För temat transport krävs vid anslutning en stor arbetsinsats. Detta är främst på grund av den geometriska omstrukturering som krävs för att omvandla linjesegment till multiyta. En nackdel med

att specificera ett transportområde som multiyta är att kommuner med trafikområden angivna i linjeformat kommer att behöva strukturera om sin vägdata för att följa standarden. Både Ulricehamns och Älmhults objektmodell innehåller vägdata i linjeformat. Detta beror på att datamängden delas med kommunens digitaliserade primärkarta.

Lantmäteriets handbok för digital primärkarta rekommenderar att vägar och gator redovisas i linjeformat. Det finns ett tillägg i rekommendationen som anger att ”...en annan detaljeringsgrad kan exempelvis vara yta” men i dokumentet anges ingen motivering för att en multiyta skall väljas i stället för linjesegment (Lantmäteriet 2021a s.21). Handboken refererar även till Lantmäteriets mättningsanvisningar vilken i sig tydligt specificerar att transportlinjer skall karteras i linjeformat utefter vägkant (Lantmäteriet 2018).

Eftersom Lantmäteriets rekommendation främst är att kartera vägar och gator i linjeformat, utefter vägkant, så är risken stor att många kommuner kommer att få arbeta med att omstrukturera transportlinjer till just transportytor om de vill ansluta sin vägdata till 3CIMver1. I undersökningen vilken endast behandlar ett litet kvarter tog det lika lång tid att omstrukturera geometrin för transportytor som det gjorde att omstrukturera alla temans attributdata. Därav bedöms arbetsmängden för att anpassa transportlinjer till 3CIMver1 som stor.

Vidare är det oklart hur arbetsmängden växer i takt med att datamängden ökar. Den lösning som användes i undersökningen är inte garanterad att fungera för en större datamängd, tvärtom är det troligt att den inte kommer att fungera för en större datamängd, se del 5.2.3 Transport.

I undersökningen testades inte anslutning till verksamhetssystem (NVDB) men eftersom det ännu inte är obligatoriskt för 3CIMver1 anses transportytorna i nuläget följa 3CIMver1. Anslutning till verksamhetssystem är dock en grundprincip för 3CIM standarden och borde rimligtvis utgöra en obligatorisk del i framtiden, se del 2.2.2 3CIM. Det är utifrån undersökningen oklart vilken arbetsmängd som ytterligare krävs för att etablera en anslutning till NVDB. Det är dock rimligt att anta att arbete tillkommer, exempelvis för att omstrukturera transportytor till att följa linjesegmenteringen i NVDB.

I tabellen till höger sammanfattas bedömningen av vilken arbetsmängd som krävs för att anpassa Älmhults objektmodell till olika teman i 3CIMver1, se Tabell 8. Arbetsmängden generaliseras till liten eller stor arbetsmängd främst med ledning av undersökningens tidsåtgång, se Tabell 7, men även i stöd av diskussionen ovan. Att ytterligare detaljera arbetsmängden är svårt då det krävs en mer omfattande undersökning.

Tabell 8 - Sammanfattning av bedömd arbetsmängd för en objektmodell likt Älmhults kommun att anslutas till 3CIMver1

Tema	Arbetsmängd
Byggnad	liten
Byggnadstillhör	liten
Ledningsnät	-
Markdetalj	liten (eventuellt större i framtiden beroende på NS markdetalj)
Marktäck	-
Transport	stor

6.4 Specifikationsrekommendationer

I denna del diskuteras de specifikationer som rekommenderas för en 3D stadsmodell för kommunalt bruk. Rekommendationerna diskuteras både utifrån de tillämpningar som är generellt

förekommande i svenska kommuner, se del 3. En 3D stadsmodells tillämpningar, samt de tillämpningar och specifikationer som förekom i fallstudien, se del 4. Fallstudie. De LOD nivåer som rekommenderas gäller byggnadsobjekt om inget annat nämns.

6.4.1 Bulleranalys

Eftersom ingen av kommunerna i fallstudien använder eller har planerat använda sin 3D stadsmodell för bulleranalys diskuteras specifikationerna utifrån den allmänna användningen som studerats i del 3.1.4 *Bulleranalys*.

En nackdel med LOD1 för övriga byggnadsverk (exempelvis broar, akvedukter eller tunnlar) är att den akustiska återgivningen kan förvrängas betydligt gentemot LOD2, se del 3.1.4 *Bulleranalys*. Rimligtvis kan LOD2 för byggnader rekommenderas för en 3D stadsmodell som skall nyttjas för bulleranalys eftersom då både byggnadshöjd och takform kan inkluderas. Men det är även möjligt att använda LOD1 eftersom höjd är den viktiga faktor som saknas i jämförelse med en 2D bulleranalys. Vidare rekommenderas även minst HMK standardnivå 2, se del 3.1.4 *Bulleranalys*.

En semantisk modell är en fördel för att kunna genomföra en bulleranalys. En fördel med semantiken är att varje objekt kan lagra individuella data om exempelvis byggnadens eller markytans akustiska absorptionsförmåga. Det är även nödvändigt för att exempelvis koppla beräkning till byggnads-, markytas- eller andra objekts attributdata. I denna studie har inget fall upptäckts där bulleranalys eller bullersimulering utförts med hjälp av en meshmodell. Därför antas en objektsmodell vara den modelltyp som vanligtvis används vid bullersimulering.

En fördel med koppling till kommunens övriga kartmaterial är att man i stadsmodellen kan få tillgång till anslutande vägars ID. Detta medför att rätt data kan inhämtas till bulleranalysen från exempelvis NVDB. Utan koppling till kommunens övriga kartmaterial kommer det krävas extra arbete vid framställning av bulleranalys eftersom de vägar som är i anslutning till det analyserade området måste sökas upp manuellt och läggas till i analysen. En koppling till kommunens övriga kartmaterial är därför en rekommendation även om det är möjligt att genomföra en bulleranalys utan.

Att kartera huslivet efter fasadlivet ger som nämnts tidigare mer korrekta byggnadsvolymer och areor. Om det medför stor påverkan på en bulleranalys och simulering är dock svårt att avgöra utifrån denna studie.

6.4.2 Bygglovsbedömning

Både Älmhults kommun och Ulricehamns kommun har för sina behov som underlag vid bygglovsbedömning valt att införskaffa en objektsmodell i LOD2.3. Vilken detaljnivå som behövs för att utgöra underlag i en bygglovsbedömning varierar beroende på olika faktorer. Områdets bebyggelse är en faktor, innanför eller utanför detaljplanelagt område en annan. För att kunna mäta nockhöjd, vilket kommunerna uttryckligen visat ett behov av, är LOD2 att föredra över LOD1. Då kan även en byggnads totalhöjd mätas till skillnad från LOD1 där endast totalhöjd kan mätas. Nockhöjd och totalhöjd skiljer sig ofta, främst pga. skorstenar, se Figur 11.

Vidare kan även takutsprång spela in i en bygglovsbedömning om det överskrider ett visst djup. Även takkupor eller andra byggnadsdetaljer är av betydelse vid vissa bygglovsbedömningar. För att återge sådana detaljer krävs en modell i LOD2.3. Olsson et. al (2018) använder i sin studie angående automatiserat bygglov LOD3 för att testa de krav som ställs vid en bygglovsbedömning. De menar att

om LOD2 skall användas vid bygglovsbedömning krävs en tillräcklig fotorealistic modell som komplement till objektsmodellen, se del 3.1.6 *Bygglovsbedömning*. I CityGML är det stor skillnad på LOD2 och LOD3. LOD2.3 är en detaljnivå som är någonstans mitt emellan de båda, se *Figur 7* och *Figur 8*. De faktum att de kommuner i fallstudien som främst använder modellen för bygglovsbedömning innehåller modeller i LOD2.3 är ett argument för att det är en tillräcklig detaljnivå. Dock blir det svårt att klargöra om det räcker med enbart en modell i LOD2.3 eftersom kommunerna i fallstudien även använder en fotorealistic modell som komplement. Således rekommenderas en modell i LOD2.3 inklusive en god fotorealistic modell som tillräckligt underlag vid bygglovsbedömning. Dock borde varje kommun väga in i sin bedömning vilken data de troligen kommer att behöva i sin bygglovsbedömning för att garantera ett tillräckligt bedömningsunderlag.

Att modellera huslivet efter byggnadsfasad är något som både Älmhult och Ulricehamns kommun uttrycker som mycket viktigt för användning just vid bygglovsbedömning. Fördelarna med detta är att 3D stadsmodellen kan användas tillsammans med en digital detaljplan eller annat kartunderlag, se *Figur 29*, och att byggnadsvolymer och avtryck blir avsevärt mer realistiska, se *Figur 30*. En nackdel med att modellera huslivet efter fasadens avtryck är att det kräver mer indata eftersom både inmätt takyta och fasad behövs. Utifrån detta rekommenderas att kartera byggnaders husliv utefter fasadliv främst om stadsmodellen skall nyttjas som underlag vid bygglovsbedömning.

Eftersom de kommuner som använder modellen för bygglovsbedömning ansett det viktigt att innehålla en modell med HMK standardnivå 2 är det rimligtvis en god riktlinje för användning vid bygglovsbedömning. Semantik är en fördel i modellen eftersom det möjliggör lagring av individuella attribut så som exempelvis byggnadsändamål eller andra abstrakta egenskaper som kan vara av vikt vid en bygglovsbedömning.

6.4.3 Stadsplanering och plankommunikation

Stockholms stad är den enda kommunen i fallstudien som främst använder sin modell i planarbetet. Dock uttryckte alla tre kommuner ett behov av stadsmodellen som underlag i stadsplanering och plankommunikation. Stockholms stad använder sin modell som bakgrund när de skissar upp potentiella förändringar i den urbana miljön. Om det räcker med LOD2 eller någon annan detaljnivå är svårt att slå fast utifrån denna studie. Kanske kan en lägre detaljnivå vara tillräcklig i planeringsarbetet. Eftersom det visat sig vara vanligt att använda LOD2 bland de exempel som återfinns i den allmänna användningen, samt i den specifika användning som studerats i fallstudien rekommenderas här LOD2.

Det kan vara så att val av GIS program inom kommunen kan få extra effekter i just detta tillämpningsområde. Vilka systemlösningar kommunen använder är dock i sig ingen specifikation för en stadsmodell, men det kan ändå vara av intresse att åskådliggöra skillnaderna. Älmhults kommun angav specifikt att deras val av systemmiljö hämmat deras användning. De var också den enda kommunen som ännu inte tillgängliggjort sin modell online, vilket är en klar fördel om modellen skall användas för plankommunikation. Studien har inriktats för lite på olika GIS program för att dra en slutsats kring vilken programvara som är optimal. Men en rekommendation som ändå kan ges är att kommunen planerar i sitt val av GIS program. Ett GIS program som stödjer 3D hantering online är viktigt om kommunen vill införskaffa en 3D stadsmodell för plankommunikation.

Om semantik eller fotorealism behövs för en stadsmodell som endast skall användas till kommunal stadsplanering och plankommunikation är oklart. Stockholms stads stadsmodell innehåller båda elementen semantik och fotorealism. Semantiken är främst ett inslag för att möjliggöra andra typer av tillämpningar i framtiden. Om fotorealismen är ett inslag som krävs vid planarbetet eller plankommunikation framkom ej i studien.

6.4.4 Sol- eller dagsljusberäkning, skuggstudie och siktanalys

Stockholms stad och Ulricehamns kommun använder stadsmodeller för sol- eller dagsljusberäkningar samt skuggstudier. Ingen av kommunerna yttrade ett specifikt behov för att genomföra siktanalyser.

För sol- eller dagsljusberäkningar rekommenderas LOD2. Främst eftersom takets utformning inkluderas i beräkningen, men även för att kunna uppskatta fasaders lämplighet för solceller, se 3.1.1 *Sol- eller dagsljusberäkning*. För en sol- eller dagsljusberäkning, skuggstudie eller siktanalys är LOD2 att föredra över LOD1 även när det handlar om övriga stadsobjekt. Detta eftersom LOD1 ofta utgör en grov generalisering av vissa stadsobjekt som exempelvis träd, tunnlar eller broar etcetera, se 3.1.2 *Skuggstudie* samt 3.1.3 *Siktanalys*. Om området som skall analyseras innehåller stadsobjekt av den typ som kan skapa stor skuggbildning eller skymma sikt eller solljusinstrålning är det en rimlig avvägning att inkludera det i beräkningen.

I studien har inga fördelar eller nackdelar med koppling till kommunens övriga kartmaterial upptäckts när det gäller tillämpningarna sol- eller dagsljusberäkning, skuggstudie och siktanalys. Inte heller skillnad i HMK standardnivå har undersökts. Därav ingen rekommendation.

En fotorealistisk modell verkar inte vara av betydelse vid någon av dessa tillämpningar. Inget fall har upptäckts där det fotorealistiska elementet har lyfts som en fördel för någon av dessa analyser. Därav antas det inte vara behövligt.

6.4.5 Sammanfattning

Tabellen nedan sammanfattar de rekommendationer som framkommer i diskussionen med stöd dels utifrån de generella tillämpningarna med exempel från svenska kommuner, samt de behov och specifikationer som uppkommit i fallstudien, se Tabell 9. Specifikationerna gäller den rekommenderade miniminivå som krävs för att genomföra tillämpningen.

Tabell 9 – Specifikationsrekommendationer. Streck (-) betyder att ingen rekommendation ges.

	Bulleranalys	Bygglovsbedömning	Plankommunikation	Siktanalys	Skuggstudie	Sol- eller dagsljusberäkning	Stadsplanering
LOD - Byggnader	LOD2	LOD2.3	LOD2	LOD2	LOD2	LOD2	LOD2
Semantisk objektmodell	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Fotorealistisk modell	Nej	Ja, av god kvalitet	-	Nej	Nej	Nej	-
Koppling till kommunens övriga kartmaterial	Fördelaktigt	Ja	-	-	-	-	-
HMK standardnivå	2	2	-	-	-	-	-
Husliv efter fasad	-	Ja	-	-	-	-	-
Byggnadstillhör/ Övriga stadsobjekt (LOD)	Ja (LOD2)	Fördelaktigt	-	Ja (LOD2)	Ja (LOD2)	Ja (LOD2)	-

I diskussionen blir det tydligt att bygglovsbedömning är den tillämpning som ställer högst och kanske även tydligast krav på stadsmodellen. Detta kan vara eftersom det i en bygglovsbedömning är mestadels hårda värden som skall bedömas nämligen mått eller liknande områdesuppgifter och bestämmelser. Inom exempelvis stadsplanering eller plankommunikation lyfts fler mjuka värden fram såsom exempelvis förstärkt visualisering eller tydligare visuell kommunikation. Dessa värden är svåra att kvantifiera och således även att utforma specifikationer för.

7. Slutsatser

Nedan finns svar på de forskningsfrågor som ställts i arbetet. Svaren är baserade på de motiveringar och bedömningar som gjorts i diskussionen samt den information som samlats in i teoridelen och fallstudien.

1. Vilka standarder och specifikationer används och förordas för 3D stadsmodeller i Sverige?

CityGML 2.0 standarden används av flera svenska 3D stadsmodeller. Framför allt används CityGMLs LOD system. Det är däremot inte alltid tydligt vilken version av LOD som förespråkas. HMK standardnivå 2 är en vanlig specifikation tillsammans med en specifikation angående vilka ytor en byggnads husliv är karterat utifrån.

Lantmäteriets nationella specifikation för byggnad används inte av de kommuner som omfattats i studien, trots att den innehåller rekommendationer för hur byggnadsobjekt skall struktureras. Flera kommuner använder både en fotorealistisk modell och en objektmodell eller en kombinerad stadsmodell som innehåller både semantik och fotorealism.

När det gäller vilka standarder och specifikationer som förordas för en 3D stadsmodell på en nationell nivå finns det dessvärre ingen tydlig nationell rekommendation. Standarder och specifikationer för 3D stadsmodeller (samt annat digitalt kartmaterial) är under uppbyggnad och har ännu inte fått en nationell genomslagskraft. Kommuner får således i stora drag själva konstruera de specifikationer som behövs för att 3D stadsmodellen ska tillfredsställa deras behov.

2. Vilka behov har en mindre svensk kommun av en 3D stadsmodell?

En mindre svensk kommuns främsta behov av en 3D stadsmodell är, enligt de kommuner som studerats, som underlag vid bygglovbedömning. De mindre kommunerna i studien uttrycker även ett behov av 3D stadsmodellen för stadsplanering och plankommunikation.

Det finns också ett behov, dock något mindre, för att genomföra en del tekniska analyser och beräkningar såsom exempelvis skuggstudie eller sol- eller dagsljusberäkning.

3. Vilken typ av 3D stadsmodell kan en mindre kommun bygga upp och underhålla, med hänsyn till både de behov och standarder som finns?

En 3D stadsmodell av typen semantisk 3D objektsmodell och en fotorealistic stadsmodell, eller en kombination av de båda, är ett rimligt alternativ för en mindre kommun. Att gestalta byggnation i LOD2 är överkomligt för en mindre kommun.

Skall kommunen nyttja modellen som underlag vid bygglovsbedömning är en rimlig avvägning LOD2.3 för byggnader, inklusive en god fotorealistic modell. Det är då även fördelaktigt med byggnadstillhörighet i modellen samt en koppling till kommunens övriga digitala kartmaterial. Det är också viktigt att kommunen själv prövar vilka specifikationer just de behöver då behovet kan skilja sig mellan olika kommuner.

När det gäller ajourhållning av en 3D stadsmodell dras inga slutsatser i arbetet mer än den att det är ovanligt med en konkret plan för.

4. Vad skulle krävas av en mindre kommun som vill anpassa sin 3D stadsmodell till 3CIMver1?

Att anpassa en mindre kommuns 3D stadsmodell (lik Älmhults objektsmodell) till 3CIMver1 skulle kräva en stor arbetsinsats. Främst på grund av att transportlinjer behöver omstruktureras till multiytor. För anpassning av attributdata samt ID generering krävs endast en liten arbetsinsats för att anpassa modellen. Eftersom 3CIMver1 hänvisar till Lantmäteriets nationella specifikationer, som likt 3CIM är under utveckling, finns fortfarande en del frågetecken. Exempelvis är det fortfarande oklart vilka attribut som kommer att vara obligatoriska för framtida versioner av 3CIM. Utifrån denna studie dras inga slutsatser angående vilken arbetsmängd som krävs för anslutning till verksamhetssystem.

Referenser

- Banissi, E., & Hong Zhou. (2012). *Modelling 3D City Using High Resolution Stereo Camera Imagery*. Proceedings of the 2012 16th International Conference on Information Visualisation (IV), Place of Publication: Los Alamitos, CA, USA; Montpellier, France. Country of Publication: USA.
<https://doi.org/10.1109/IV.2012.119>
- Bassani, M., Grasso, N., & Piras, M. (2015). 3D GIS BASED EVALUATION OF THE AVAILABLE SIGHT DISTANCE TO ASSESS SAFETY OF URBAN ROADS. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-3/W3, 137–143.
<https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-3-W3-137-2015>
- BBR (2011:6a) Boverkets Byggregler (2011:6). - föreskrifter och allmänna råd – avsnitt 6:322 Dagsljus. <https://rinfo.boverket.se/BBR/PDF/BFS2011-6-BBR18.pdf>
- BBR (2011:6b) Boverkets Byggregler (2011:6). - föreskrifter och allmänna råd – avsnitt 6:323 Solljus. <https://rinfo.boverket.se/BBR/PDF/BFS2011-6-BBR18.pdf>
- Biljecki, F., Heuvelink, G. B. M., Ledoux, H., & Stoter, J. (2015a). Propagation of positional error in 3D GIS: estimation of the solar irradiation of building roofs. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(12), 2269–2294. <https://doi.org/10.1080/13658816.2015.1073292>
- Biljecki, F., Ledoux, H., & Stoter, J. (2016). An improved LOD specification for 3D building models. *Computers, Environment and Urban Systems*, 59, 25–37.
<https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2016.04.005>
- Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., & Çöltekin, A. (2015b). Applications of 3D City Models: State of the Art Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), 2842–2889.
<https://doi.org/10.3390/ijgi4042842>
- BIM in the Construction Industry*. (u.å.). Hämtad 02 mars 2022, från <https://www.mdpi.com/books/pdfview/book/3313>
- Boeters, R., Arroyo Ogori, K., Biljecki, F., & Zlatanova, S. (2015). Automatically enhancing CityGML LOD2 models with a corresponding indoor geometry. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(12), 2248–2268. <https://doi.org/10.1080/13658816.2015.1072201>
- Borås kommun (2021) boras.se. Borås i 3D. [Skärmtklipp] Hämtad den 5 mars 2022 från <https://www.boras.se/bobygggaochmiljo/kartormatningochgeografiskinformation/borasi3d.4.4f28fd2e158af84827f27c76.html>
- Boverket (2022a). Boverket.se. Dagsljus - Boverket. Hämtad den 20 april 2022 från <https://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/ljussolljus/dagsljus/>
- Boverket (2022b). Boverket.se. Information om Ändamålskatalogen och villkor för användning. Hämtad den 4 april 2022 från <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/andamalskatalogen/om-andamalskatalogen/>
- Boverket (2019) Boverket.se. Olika typer av standarder. Boverket. [text] Hämtad den 1 maj 2022 från <https://www.boverket.se/sv/byggande/vagledning-om-standarder/vad-ar-standarder/olika-typer-av-standarder/>

- Borrmann, A., Kolbe, T. H., Donaubauer, A., Steuer, H., & Jubierre, J. R. (2013). TRANSFERRING MULTI-SCALE APPROACHES FROM 3D CITY MODELING TO IFC-BASED TUNNEL MODELING. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, II-2/W1*, 75–85. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-2-W1-75-2013>
- Brito, M. C., Redweik, P., Catita, C., Freitas, S., & Santos, M. (2019). 3D Solar Potential in the Urban Environment: A Case Study in Lisbon. *Energies*, 12(18), 3457. <https://doi.org/10.3390/en12183457>
- Cappelle, C., El Najjar, M. E., Charpillat, F., & Pomorski, D. (2012). Virtual 3D City Model for Navigation in Urban Areas. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 66(3), 377–399. <https://doi.org/10.1007/s10846-011-9594-0>
- CityJSON (2022) cityjson.org. CityJson, a JSON-Based encoding for 3D citymodels. [text] Hämtad den 3 maj 2022 från <https://www.cityjson.org/>
- DTCC (2021) dtcc.chalmers.se. Digital Twin Cities Centre. Digital Twin Platform. [text] Hämtad den 1 maj 2022 från <https://dtcc.chalmers.se/digital-twin-platform/>
- Eriksson, H., & Harrie, L. (2021). Versioning of 3D City Models for Municipality Applications: Needs, Obstacles and Recommendations. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(2), 55. <https://doi.org/10.3390/ijgi10020055>
- Eriksson, H., Johansson, T., Olsson, P.-O., Andersson, M., Engvall, J., Hast, I., & Harrie, L. (2020). Requirements, Development, and Evaluation of A National Building Standard—A Swedish Case Study. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(2), 78. <https://doi.org/10.3390/ijgi9020078>
- Flens Kommun (2018). Flen.se. Skuggstudie – Malmköping 2:112 m.fl. [Skärmdokument] Hämtad den 10 mars 2022 från https://flen.se/nedladdning/bygga_bo_miljo/dokument/detaljplaner/malmkoping_2112/Skuggstudie.pdf
- Freitas, S., Catita, C., Redweik, P., & Brito, M. C. (2015). Modelling solar potential in the urban environment: State-of-the-art review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 915–931. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.060>
- Gil, J. (2020). City Information Modelling: A Conceptual Framework for Research and Practice in Digital Urban Planning. *Built Environment*, 46(4), 501–527. <https://doi.org/10.2148/benv.46.4.501>
- Git (2022) git-scm.com, local-branching-on-the-cheap. [text] hämtad den 10 maj 2022 från <https://git-scm.com/>
- Göteborgs Stad (2020) goteborg.se. En CIM-pilot för att sprida och utveckla smarta lösningar. [text] Hämtad den 1 maj 2022 från <https://goteborg.se/wps/portal/enhetssida/Innovation-och-utveckling-far-framtidens-mobilitet-i-Gateborg/iris---hur-anvander-vi-digitaliseringen-pa-basta-satt%3F/euprojektetiris>
- Han, J., Zhu, L., Gao, X., Hu, Z., Zhou, L., Liu, H., & Shen, S. (2021). Urban Scene LOD Vectorized Modeling From Photogrammetry Meshes. *IEEE Transactions on Image Processing*, 30, 7458–7471. <https://doi.org/10.1109/TIP.2021.3106811>

- Harrie, L. (2022) Professor vid Lunds Universitet, deltar i 3CIM projektet, personlig kommunikation, 24 maj 2022
- Helsingborgs stad (2013). *Resultat från bullerkartläggningen*. (2013, juni 17). Helsingborg.se. [Skärmdokument] Hämtad den 13 mars 2022 från <https://helsingborg.se/trafik-och-stadsplanering/planering-och-utveckling/ovriga-planer-och-utredningar/bullernivaer/resultat-fran-bullerkartlaggningen/>
- Helsingborgs stad (2015). Helsingborg.se. Gällande detaljplaner - Holland 25 planbeskrivning Hämtad den 23 mars 2022 från https://www.helsingborg.se/wp-content/uploads/2015/06/holland25_planbeskrivning_samrad_sbf.pdf
- Helsingborgs Stad (2020) Helsingborg.se. så säger plan- och bygglagen. [Skärmdokument] hämtad den 02 maj 2022 från <https://helsingborg.se/bo-bygga-och-miljo/bygga-nytt-bygga-om-bygga-till/bygglov-och-anmalan/lagar-och-planer/sa-sager-plan-och-bygglagen/>
- Henn, A., Römer, C., Gröger, G., & Plümer, L. (2012). Automatic classification of building types in 3D city models: Using SVMs for semantic enrichment of low resolution building data. *Geoinformatica*, 16(2), 281–306. <https://doi.org/10.1007/s10707-011-0131-x>
- Herbert, G., & Chen, X. (2015). A comparison of usefulness of 2D and 3D representations of urban planning. *Cartography and Geographic Information Science*, 42(1), 22–32. <https://doi.org/10.1080/15230406.2014.987694>
- He, Shuang., Moreau, Guillaume., Martin, Jean-Yves., (2012). Footprint-Based 3D Generalization of Building Groups for Virtual City Visualization. Conference GEOProcessing 2012, The Fourth International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services.
- Höganäs kommun (2021) hoganas.se. Detaljplaner och tomtkarta. [Skärmdokument] Hämtad den 2 april 2022 från <https://hkn.maps.arcgis.com/apps/webappviewer3d/index.html?id=1688a4cd8868407289691c39b63d471d>
- Järfälla Kommun (2021). Järfälla Kommun. Järfälla kommun – Veddesta IV – Utredning - Dagsljus. Hämtad den 2 mars 2022 från <https://www.jarfalla.se/download/18.47f4b9311791266dadbed4e6/1621584938978/detaljplan-for-veddesta-IV-dagsljusberakning.pdf>
- Kaden, R., & Kolbe, T. H. (2014). Simulation-Based Total Energy Demand Estimation of Buildings using Semantic 3D City Models: *International Journal of 3-D Information Modeling*, 3(2), 35–53. <https://doi.org/10.4018/ij3dim.2014040103>
- Kibria, M. S., Zlatanova, S., Itard, L., & van Dorst, M. (2009). GeoVEs as Tools to Communicate in Urban Projects: Requirements for Functionality and Visualization. I J. Lee & S. Zlatanova (Red.), *3D Geo-Information Sciences* (s. 379–395). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-87395-2_24
- Kolbe, T.H., Kutzner, T., Smyth, C.S., Nagel, C., Roensdorf, C., Heazel, C., (2022). OGC city. Geography Markup Language. OGC.org. Hämtad den 21 april 2022. <https://docs.ogc.org/is/20-010/20-010.html>

Kurakula, Vinay & Kuffer, Monika. (2014). 3D Noise Modeling for Urban Environmental Planning and Management. Hämtad den 20 april 2022 från https://www.researchgate.net/publication/228622472_3D_Noise_Modeling_for_Urban_Environmental_Planning_and_Management

Lantmäteriet (u.å.a) Lantmateriet.se. Datamängder i plattformen. Lantmäteriet [text] Hämtad den 3 april 2022 från <https://www.lantmateriet.se/sv/webb/nationella-geodataplattformen/datamangder-i-plattformen/>

Lantmäteriet (u.å.b) Lantmateriet.se. Specifikationer och Vägledningar. Lantmäteriet [text] Hämtad den 3 april 2022 från <https://www.lantmateriet.se/sv/webb/nationella-geodataplattformen/datamangder-i-plattformen/specifikationer-och-vagledningar/>

Lantmäteriet (u.å.c) Lantmateriet.se. Om nationella Geodataplattformen. Lantmäteriet [text] Hämtad den 1 maj 2022 från <https://www.lantmateriet.se/sv/webb/nationella-geodataplattformen/om-nationella-geodataplattformen/>

Lantmäteriet (u.å.d) Lantmateriet.se Smartare Samhällsbyggnadsprocess. [Text] Hämtad den 5 maj 2022 från <https://www.lantmateriet.se/sv/webb/smartare-samhallsbyggnadsprocess/>

Lantmäteriet (2017a). HMK – Geodatakvalitet 2017. Lantmäteriet <https://www.lantmateriet.se/globalassets/om-lantmateriet/var-samverkan-med-andra/hmk/handbocker/geodatakvalitet-2017.pdf>

Lantmäteriet (2017b). HMK - Introduktion 2017. Lantmäteriet <https://www.lantmateriet.se/globalassets/om-lantmateriet/var-samverkan-med-andra/hmk/handbocker/introduktion-2017.pdf>

Lantmäteriet (2018). Mätanvisningar – Geometrisk representation vid utbyte. Lantmäteriet. Hämtad den 2 mars 2022 från https://www.lantmateriet.se/globalassets/smartare-samhallsbyggnadsprocess/nationella-specifikationer/sgp_matningsanvisningar_v3.2.pdf

Lantmäteriet (2021a). HMK – Digital grundkarta. Lantmäteriet. Hämtad den 2 mars 2022 från <https://www.lantmateriet.se/globalassets/om-lantmateriet/var-samverkan-med-andra/hmk/handbocker/digital-grundkarta-2021.pdf>

Lantmäteriet (2021b). Nationell Dataproduktspecifikation för tillgängliggörande – Detaljplan. Hämtad den 25 feb 2022 från <https://www.lantmateriet.se/globalassets/smartare-samhallsbyggnadsprocess/nationella-specifikationer/natspec-dps-t-detaljplan-v1.0.pdf>

Lantmäteriet (2022a). Mätanvisningar NS byggnad. Lantmäteriet https://www.lantmateriet.se/globalassets/smartare-samhallsbyggnadsprocess/nationella-specifikationer/matningsanvisningar_ns_byggnad_v1.0_test4.pdf

Lantmäteriet (2022b). Nationell specifikation byggnad. Lantmäteriet <https://www.lantmateriet.se/globalassets/smartare-samhallsbyggnadsprocess/nationella-specifikationer/natspec-byggnad-version1.0-test4.pdf>

- Lantmäteriet (2022c). Referensobjekt Byggnad 1.0 test 4. Lantmäteriet
<https://www.lantmateriet.se/external/ssb/modellrepository/69FF6AD5-A5A9-4b58-9C0E-28B04CEFOE59.htm>
- Lantmäteriet (2022d) Vägledning – Nationell specifikation byggnad. Lantmäteriet
<https://www.lantmateriet.se/globalassets/smartare-samhallsbyggnadsprocess/nationella-specifikationer/vagledning-natspec-byggnad-version1.0-test4.pdf>
- Liu, X., Wang, X., Wright, G., Cheng, J., Li, X., & Liu, R. (2017). A State-of-the-Art Review on the Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(2), 53. <https://doi.org/10.3390/ijgi6020053>
- Löfberg, H.A (1987) – Räkna med dagsljus. Boverket
<https://www.boverket.se/contentassets/f8fe004c78104822a732044063c40d85/rakna-med-dagsljus.pdf>
- Nationella geodataplattformen*. (u.å.). Lantmateriet.se. Hämtad 02 mars 2022, från <https://www.lantmateriet.se/sv/webb/nationella-geodataplattformen/>
- Noardo, F., Guler, D., Fauth, J., Malacarne, G., Mastrolemba Ventura, S., Azenha, M., Olsson, P.-O., & Senger, L. (2022). Unveiling the actual progress of Digital Building Permit: Getting awareness through a critical state of the art review. *Building and Environment*, 213, 108854. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108854>
- NVDB (2022). Nationell Vägdatabas. TDOK 2021:0029. Regler vid leverans till NVDB. <https://www.nvdb.se/sv/dokumentation/specifikationer-och-stodjande-dokument/>
- OGC (2012). *CityGML 2.0* (OGC 12-019). Open Geospatial Consortium. <http://www.opengis.net/spec/citygml/2.0>
- OGC Members | OGC*. (u.å.). Hämtad 28 februari 2022, från <https://www.ogc.org/ogc/members>
- OGC. (2021) City Geography Markup Language (CityGML) Part 1: Conceptual Model Standard* (Document number 20-010). Open Geospatial Consortium. <http://www.opengis.net/doc/IS/CityGML-1/3.0>
- OMG* (u.å.). *About the Unified Modeling Language Specification Version 2.5.1*. Hämtad 20 april 2022, från <https://www.omg.org/spec/UML/2.5.1/About-UML/>
- OpenCities Planner*. (u.å.). OpenCities Planner. Hämtad 15 mars 2022, från <https://eu.opencitiesplanner.bentley.com/borasstad/publik>
- Regeringskansliet (2021) [regeringen.se](http://www.regeringen.se), uppdrag till boverket att utveckla den digitala samhällsprocessen. Regeringskansliet [text] hämtades den 5 maj 2022 från <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2021/02/uppdrag-till-boverket-att-utveckla-den-digitala-samhallsbyggnadsprocessen/>
- Ren, L., Li, Y., Xiao, J., Geng, Z., Wang, E., & Wang, T. (2018). Design and Development of 3D Urban Planning Management System Based on Oblique Image Technology. *2018 26th International Conference on Geoinformatics*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/GEOINFORMATICS.2018.8557176>

Safe (2020) community.safe.com. FME desktop article. Attribute mapping. [text] hämtad den 1 maj 2022 från <https://community.safe.com/s/article/attribute-mapping-schemamapper>

SFS 2010:900 *Plan- och bygglag (2010:900) Svensk författningssamling - Riksdagen*.
https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan--och-bygglag-2010900_sfs-2010-900

Sjarov, M., Lechler, T., Fuchs, J., Brossog, M., Selmaier, A., Faltus, F., Donhauser, T., & Franke, J. (2020). The Digital Twin Concept in Industry – A Review and Systematization. *2020 25th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, 1, 1789–1796.
<https://doi.org/10.1109/ETFA46521.2020.9212089>

SKR (2017) skr.se. Kommungruppsindelning. Sveriges kommuner och regioner [text] Hämtad den 2 april 2022 från
<https://skr.se/skr/tjanster/kommunerochregioner/faktakommunerochregioner/kommungruppsindelning.2051.html>

SKR (2021) skr.se. Kommunens åtaganden. Sveriges kommuner och regioner. [text] Hämtad den 26 april 2022 från
<https://skr.se/skr/tjanster/kommunerochregioner/faktakommunerochregioner/kommunernasataganden.3683.html>

SKR (2022) skr.se. Effektivitet – kunskap och utvecklingsstöd. Sveriges kommuner och regioner. [text] Hämtad den 25 april 2022 från
<https://skr.se/skr/demokratiledningstyrning/stodforattstyrochleda/organiseraastrochledastrochledningssystem/styraforresultat/effektivitet.55563.html>

Smart Built Environment (2022a). 3CIMver1 Beskrivning. *Smartbuilt*. www.smartbuilt.se. Hämtad den 20 april 2022 från
https://www.smartbuilt.se/media/tu1bkmcd/3cim_ver1_beskrivning_inneh%C3%A5ll.pdf

Smart Built Environment (2022b). 3CIMver1 Grundpresentation. *Smartbuilt*. www.smartbuilt.se. Hämtad den 20 april 2022 från
https://www.smartbuilt.se/media/fwldxqt5/3cim_grundpresentation.pdf

Smart Built Environment (2022c). 3CIMver1 inledning. *Smartbuilt*. www.smartbuilt.se. Hämtad den 20 april 2022 från https://www.smartbuilt.se/media/qmaj3w4x/3cim_ver1_inledning.pdf

Smart Built Environment (2022d). Smartbuilt.se. 3CIM www.smartbuilt.se [text] Hämtad den 20 april 2022 från <https://www.smartbuilt.se/projekt/informationsinfrastruktur/3cim/>

Stockholms stad (2020) smartstad.stockholm.se. Storstadssamarbete om digitala tvillingstäder. [text] Hämtad den 1 april 2022 från <https://smartstad.stockholm/2020/03/09/storstadssamarbete-om-digitala-tvillingstader/>

Stockholms stad (2021) dataportalen.stockholm.se. Kartor och geodata. Öppna data – dataportalen. 3D-byggnader (Demo). Hämtad den 1 april 2022 från
<https://dataportalen.stockholm.se/dataportalen/?SplashScreen=No>

- Stockholms Stad (2022) kartor.stockholm.se. 3D-stadsmodellen. [Skärmdokument] hämtad den 24 feb 2022 från <https://eu.opencitiesplanner.bentley.com/stockholm/fyrkanten>
- Stoter, J., de Kluijver, H., & Kurakula, V. (2008). 3D noise mapping in urban areas. *International Journal of Geographical Information Science*, 22(8), 907–924. <https://doi.org/10.1080/13658810701739039>
- Strålsäkerhetsmyndigheten (2018). *Planeringsverktyg för ökad skugga på förskole- och skolgårdar*. Strålsäkerhetsmyndigheten. Hämtad 15 mars 2022, från <https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/omraden/sol-och-solarier/rad-och-rekommendationer/planera-for-sol-och-skugga-pa-forskolegardar-och-skolgardar/planeringsverktyg/>
- Södertälje Kommun (2020) sodertalje.se. Mariekälla 1:26 torekällberget – synlighetsanalys. [Skärmdokument] Hämtad den 15 mars 2022 från <https://www.sodertalje.se/globalassets/bo-och-bygga/detaljplaner/pagaende-planprojekt/2017-01281-mariekalla-126/arendespecifik/samrad/siktlinjeanalys-mariekalla-1-26-samradshandling.pdf>
- Trafikverket (2021). *Beräkna och utreda buller och vibrationer* [Text]. Trafikverket. Hämtad 30 mars 2022, från <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/Planerings--och-analysmetoder/Berakna-och-utreda-buller-och-vibrationer/>
- Tredimensionell fastighetsindelning*. (u.å.). Lantmateriet.se. Hämtad 15 mars 2022, från <https://www.lantmateriet.se/sv/Fastigheter/Andra-fastighet/andra-lagg-ihop-dela/Tredimensionell-fastighetsindelning/>
- Uggla, M. (2022) Geodatastrategi Stockholms Stad, Projektledare 3CIM, personlig kommunikation (intervju), 31 mars 2022
- Ujang, U., Anton, F., Azri, S., Rahman, A. A., & Mioc, D. (2014). 3D Hilbert Space Filling Curves in 3D City Modeling for Faster Spatial Queries: *International Journal of 3-D Information Modeling*, 3(2), 1–18. <https://doi.org/10.4018/ij3dim.2014040101>
- Ulin, E. (2021) Simuleringar i planeringsprocessen med 3D-stadsmodeller, Examensarbete i geografisk informationsteknik nr 31, Tryckt av E-tryck, E-huset, 2021 <http://www.nateko.lu.se/>
- Ulricehamn kommuns Hemsida - <https://www.ulricehamn.se/omkommunen/samhalle-och-befolkning/kommunfakta/>
- Vermeulen, T., Knopf-Lenoir, C., Villon, P., & Beckers, B. (2015). Urban layout optimization framework to maximize direct solar irradiation. *Computers, Environment and Urban Systems*, 51, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.01.001>
- Visualisering och auralisering av buller i stadsmiljö. (2020, maj 28). *Bygg & teknik*. <https://byggteknikforlaget.se/visualisering-och-auralisering-av-buller-i-stadsmiljo/>
- Wästberg, B. S., Forssén, J., Thuvander, L., Billger, M., Logg, A., & Latino, F. (2020). Visualisering och auralisering av buller i stadsmiljö. *Bygg & Teknik*, 3, 8–12. <https://research.chalmers.se/en/publication/517283>
- Zhou, G., Song, C., Simmers, J., & Cheng, P. (2004). Urban 3D GIS From LiDAR and digital aerial images. *Computers & Geosciences*, 30(4), 345–353. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2003.08.012>

Ängelholms kommun (2019) engelholm.se. Ängelholms 3D-stadsmodell. Skärmlapp. Hämtad 08 mars 2022, från <https://www.svisualizer.com/#/View/083cfba27adffb6>

Östersunds 3D-stadsmodell. (u.å.). [Text]. Hämtad 07 mars 2022, från <https://www.ostersund.se/kommun-och-politik/kartor-och-geografisk-information-gis/ostersunds-3d-stadsmodell.html>

Bilaga 1

Tabellen nedan beskriver vilka detaljer som innefattas i varje LOD nivå enligt Biljecki et al. (2016).

Tabell B1 (Biljecki et al. 2016 s31)

Specification of the refined levels of detail fitting the current CityGML 2.0 LODs.

Requirements	Refined levels of detail															
	0.0	0.1	0.2	0.3	1.0	1.1	1.2	1.3	2.0	2.1	2.2	2.3	3.0	3.1	3.2	3.3
Individual buildings	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Large building parts (>4 m, 10 m ²)	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Small building parts, recesses and extensions (>2 m, 2 m ²)		•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Top surface ^a			S	M	S	S	S	M								
Explicit roof overhangs (if >0.2 m)												•		•	•	•
Roof superstructures ^b (larger than 2 m, 2 m ²)											•	•	•	•	•	•
Other roof details (e.g. chimneys > 1 m)													•		•	•
Openings (c) (> 1 m, 1 m ²)													R	W	•	•
Balconies (>1 m)														•	•	•
Embrasures, other façade and roof details, and smaller windows (>0.2 m)																•

^a Applicable only to LOD0.y and LOD1.y: S – single top surface; M – multiple top surfaces if the difference in height of the extruded building elements is significant (larger than 2 m).

^b It includes dormers and features of comparable size and importance (e.g. very large chimneys).

^c R – only openings on roofs; W – only openings on walls. In R, openings on dormers are not required.

Referenslista

Biljecki, F., Ledoux, H., & Stoter, J. (2016). An improved LOD specification for 3D building models.

Computers, Environment and Urban Systems, 59, 25–37.

<https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2016.04.005>

Bilaga 2

Tabellen nedan beskriver NS LOD (*Nationella specifikationer Levels Of Detail*) olika detaljnivåer ingående.

Tabell B2 - Beskrivning av NS LOD (Lantmäteriet 2022a)

NS LOD	Beskrivning
2.3	Byggnaden beskrivs av taktytor som följer takets utseende, bottenytor som beskriver bottenytans "verkliga läge" i höjd, dvs inkl. ev. källare, samt väggar som följer fasadens "fotavtryck på markytan". Om taköverhäng finns är berörda taktytor uppdelade i taköverhäng och tak utan överhäng. Om taköverhäng inte finns representeras takytan av hela takytan.
2.2a	Byggnaden beskrivs av taktytor som följer takets utseende samt bottenytor och väggar som följer fasadens eller husgrundens "fotavtryck på markytan". Om taköverhäng redovisas är berörda taktytor uppdelade i taköverhäng och tak utan överhäng. Om taköverhäng inte finns representeras takytan av hela takytan. <i>Anmärkning: NS LOD 2.2a tillåter mer förenklingar av geometriredovisningen jämfört med NS LOD 2.3. Kan ha flera bottenytor per byggnadsdel beroende på höjd, t ex suterrängbyggnad.</i>
2.2b	Byggnaden beskrivs av taktytor som följer takets utseende samt en bottenyta per byggnadsdel och väggar som följer takkantens "fotavtryck på markytan" <i>Anmärkning: se Figur 4.2.1b för skillnad mellan NS LOD 2.2a och 2.2b avseende bottenyta och fasad eller husgrunds läge i plan. Kan endast ha en bottenyta per byggnadsdel beroende på att byggnaden mäts med fotogrammetri, dvs "birds eye-perspektiv".</i>
2.1a	Byggnaden beskrivs av taktytor som följer taket utseende och en yta per byggnadsdel för fasadens eller husgrundens "fotavtryck på markytan"
2.1b	Byggnaden beskrivs av taktytor som följer taket utseende
0.1a	Byggnaden beskrivs av två ytor per byggnadsdel, en för takkanten och en för fasaden eller husgrunden
0.1b	Byggnaden beskrivs av en yta per byggnadsdel som avser takkanten
0.1c	Byggnaden beskrivs av en yta per byggnadsdel som avser som fasaden eller husgrunden

Ytterligare specifikationer för NS LOD finns i Lantmäteriets dokument "Mätanvisningar NS byggnad" (Lantmäteriet 2022a).

Referenslista

Lantmäteriet (2022a). Mätanvisningar NS byggnad. Lantmäteriet

https://www.lantmateriet.se/globalassets/smartare-samhallsbyggnadsprocess/nationella-specifikationer/matningsanvisningar_ns_byggnad_v1.0_test4.pdf

Bilaga 3

Intervjufrågor med motivering

Nedan motiveras de intervju frågor som ställdes till intervjuade parter i studien. Motiveringarna är skrivna med *kursiv stil*.

Har kommunen någon 3D modell för tillfället?

Om ja

- Vilken/vilka typer av 3D modell är det? 3D modell över byggnader eller andra objekt?
Ibland har kommuner flera olika typer av 3D modell. Frågan ställs för att klargöra vilken typ av 3D modell som kommunen innehar och på så sätt undvika missförstånd.

- Har några modellen några detaljspecifikationer?
Dels kan modellen inneha en LOD nivå men det är även av intresse vilka objekt som finns med i modellen. Träd? Trafiksignaler? Denna fråga framhäver även hur resurskrävande modellen kan vara att ajourhålla.

- Följer den någon standard?
Delvis är det av intresse för att undersöka kunskapen om standarder inom kommunen men även vilka standarder som följs.

- Är den öppen (öppna data)?
Många av de tillämpningar som finns för en 3D stadsmodell nyttjas först när de når allmänheten eller andra aktörer.

- Hur har modellen kommit till användning? Kan ni beskriva de behov ni har idag samt eventuellt framtida behov?
Denna fråga är av central betydelse för att få svar på den breda frågeställningen om behov och tillämpningar av en 3D stadsmodell i kommunen.

- Finns det någon koppling mellan kommunens 2D karta/primärkarta och 3D modellen?
En koppling mellan kommunens primärkarta och 3D modellen är intressant att undersöka av flera orsaker. Bland annat så kan det öka användningsfallen för modellen.

- Har ni en lösning för ajourhållning/uppdatering av modellen?
Många kommuner har ingen lösning för detta utan byter helt enkelt ut sina modeller mot nya. Intressant att undersöka om kommunen har en tanke om detta.

Om nej

- Har kommunen planer på att införskaffa en 3D modell? Vilken typ?
Väsentlig fråga, den svarar kommuner som inte har en 3D modell på.

- Vilken nytta tror ni att en 3D modell skulle kunna skänka kommunen? Kan ni ge förslag på specifika tillämpningsområden?

Denna fråga är av central betydelse för att få svar på den breda frågeställning om vilken användning en mindre kommun ämnar att få av en 3D stadsmodell.

- Vilken typ av 3D modell tror ni skulle täcka ert behov? Detaljnivå?

Intressant för att undersöka kommunens kunskap på området.

Hur ser kommunens resurser ut vad gäller GIS (Geografiska informationssystem)?

- Antal anställda på Kart-/mät-/GIS enhet?

Intressant för att undersöka kommunens resurser och storlekskategori.

- Vilka verktyg/program används?

Intressant för att undersöka kommunens tillvägagångssätt och arbetsmetod.

Bilaga 4

Nedan presenteras den attributdata som innefattas i Älmhults kommun 3D objektsmodell. Endast de värden som är av betydelse för studien visas, resten är *överstruket* av sekretesskäl.

Tabell B3 - Attributdata för en byggnad (TYP skiljer om det är tak, sida eller husliv, Huvudämne skiljer pga. Byggnadsändamål)

Attributes (23)	
BYGGNADSID (64 bit integer)	3067
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
HUVUDÄNDAM (string: windows-1252)	Bostad
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
OBJEKTYP (string: windows-1252)	Byggnad
PLANLÄGE (string: windows-1252)	Byggnadsfasad
REFSHOJD (string: windows-1252)	RH2000
REFSPPLAN (string: windows-1252)	SWEREF99 13 30
shapefile_type (string: UTF-8)	shapefile_polygon
[Redacted]	[Redacted]
TYP (string: windows-1252)	Sida

Tabell B4 - Attributdata för ett byggnadstillbehör (HUVUDÄMNE skiljer om det beroende på typ av tillbehör, exempelvis altan eller takkupa)

Attributes (22)	
BYGGNADSID (64 bit integer)	3173
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
HUVUDÄNDAM (string: windows-1252)	Altan
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
OBJEKTYP (string: windows-1252)	Byggnadstillbehör
PLANLÄGE (string: windows-1252)	Kant
REFSHOJD (string: windows-1252)	RH2000
REFSPPLAN (string: windows-1252)	SWEREF99 13 30
shapefile_type (string: UTF-8)	shapefile_polygon
[Redacted]	[Redacted]
TYP (string: windows-1252)	Kant

Tabell B5 - Attributdata för en markdetalj (NIVÅ och HUVUDÄMNE skiljer beroende på detalj)

Attributes (23)

[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
HUVUDÄMNE (string: windows-1252)	Teknik- och miljödetalj
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
NIVÅ_1 (string: windows-1252)	Stolpe
NIVÅ_2 (string: windows-1252)	Belysningsstolpe
OBJEKTTYP (string: windows-1252)	Markdetalj
[REDACTED]	[REDACTED]
REFSHÖJD (string: windows-1252)	RH2000
REFSPLAN (string: windows-1252)	SWEREF99 13 30
[REDACTED]	[REDACTED]
shapefile_type (string: UTF-8)	shapefile_point

Tabell B6 - Attributdata för en marklinje (NIVÅ skiljer beroende på typ)

Attributes (25)

[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
NIVÅ_1 (string: windows-1252)	Transportlinje
NIVÅ_2 (string: windows-1252)	Vägområde
NIVÅ_3 (string: windows-1252)	Vägbana
OBJEKTTYP (string: windows-1252)	Marklinje
PLANLÄGE (string: windows-1252)	Kant
REFSHÖJD (string: windows-1252)	RH2000
REFSPLAN (string: windows-1252)	SWEREF99 13 30
shapefile_type (string: UTF-8)	shapefile_line

Bilaga 5

Nedan redovisas den attributdata som är resultatet av undersökningen i arbetet där stadmodellens attributdata omstrukturerades till att följa 3CIMs första version.

Tabell B7 - Attributdata för byggnad efter anpassning

	class	function	usage	type	buildingId	uuid	version
145	Byggnad	Komplementby...	Komplementby...	WallSurface	3190	d39cfc8a-8bb4-...	0
146	Byggnad	Komplementby...	Komplementby...	WallSurface	3190	e5116935-561d-...	0
147	Byggnad	Komplementby...	Komplementby...	GroundSurface	3190	14c277dd-45bc-...	0
148	Byggnad	Komplementby...	Komplementby...	WallSurface	3182	6f486ee6-0528-...	0
149	Byggnad	Komplementby...	Komplementby...	WallSurface	3182	4cf0b83e-08b5-...	0
150	Byggnad	Komplementby...	Komplementby...	WallSurface	3182	c38158db-52fe-...	0
151	Byggnad	Komplementby...	Komplementby...	WallSurface	3182	e650178a-f902-...	0
152	Byggnad	Komplementby...	Komplementby...	GroundSurface	3182	b2f3e397-a116-...	0
153	Byggnad	Bostad	Bostad	RoofSurface	3182	f19d3103-c14e-...	0
154	Byggnad	Bostad	Bostad	RoofSurface	3182	e619876d-e105-...	0
155	Byggnad	Bostad	Bostad	RoofSurface	3182	16f88d65-12ac-...	0

Tabell B8 - Attributdata för byggnadstillbehör efter anpassning

	class	function	usage	type	buildingId	uuid	version
88	Byggnadstillbehör	Altan	Altan	GroundSurface	3183	f7c02d14-9599-...	0
89	Byggnadstillbehör	Altan	Altan	GroundSurface	3184	c722d3f4-470c-...	0
90	Byggnadstillbehör	Altan	Altan	GroundSurface	3186	b668b3b4-0af3-...	0
91	Byggnadstillbehör	Altan	Altan	GroundSurface	3187	5c6f3c96-f843-...	0
92	Byggnadstillbehör	Altan	Altan	GroundSurface	3190	4ed3fc0a-57c1-...	0
93	Byggnadstillbehör	Altan	Altan	GroundSurface	3192	3f286e21-4052-...	0
94	Byggnadstillbehör	Balkong	Balkong	WallSurface	3183	42603b3a-e06b-...	0
95	Byggnadstillbehör	Balkong	Balkong	WallSurface	3183	f3d2a435-083d-...	0
96	Byggnadstillbehör	Balkong	Balkong	WallSurface	3183	597ff5e8-c89d-...	0
97	Byggnadstillbehör	Balkong	Balkong	WallSurface	3186	1bc509b8-6b4e-...	0
98	Byggnadstillbehör	Balkong	Balkong	WallSurface	3186	1005a332-de58-...	0

Tabell B9 - Attributdata för TrafficArea (Vägbana) efter anpassning

	function	class	ID	version
1	Vägbana	TrafficArea	b6f5829f-3951-...	0

Tabell B10 - Attributdata för TrafficArea (gång- och cykelväg) efter anpassning

	function	class	ID	version
1	Gång- och cykelbana	TrafficArea	c0e58e66-5072-...	0
2	Gång- och cykelbana	TrafficArea	51bdbffc-93cb-...	0
3	Gång- och cykelbana	TrafficArea	71d420d7-d195-...	0

Tabell B11 - Attributdata för Markdetalj (Stolpe) efter anpassning

	ID	class	function	width	version	height
1	6d67450e-2a77-...	Stolpe	Belysningsstolpe		0	6.98
2	347ddfdb-16ab-...	Stolpe	Belysningsstolpe		0	6.2
3	4236eb59-d08e-...	Stolpe	Belysningsstolpe		0	6.2
4	877ad6e0-1951-...	Stolpe	Belysningsstolpe		0	6.2
5	2efaf63d-820b-...	Stolpe	Belysningsstolpe		0	4.5

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).

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?