

3CIM – implementation och etablering

SLUTRAPPORT



3CIM – implementation och etablering, slutrapport

Smart Built Environment projekt 2023 – 2025

Maria Ugglå, Alex Spielhaupter, Lars Harrie, Ola Setterby, Barzan Abdi, Matthew Calvert, Kidega Carlsson, Fredrik Johansson, Axel Loreman, Robin Nilsson, Ulrika Christensen, Åsa Franzén, Daniel Gardevärn, Per-Ola Olsson, Björn Svensson, Kerstin Florén, Eric Jeansson

Med stöd från

VINNOVA
Sveriges innovationsmyndighet

 **Energi**myndigheten

FORMAS 

Strategiska
innovations-
program

Förord

Smart Built Environment är ett strategiskt innovationsprogram för hur samhällsbyggnadssektorn kan bidra till Sveriges resa mot att bli ett globalt föregångsland som realiserar de nya möjligheter som digitaliseringen för med sig. Smart Built Environment är ett av 17 strategiska innovationsprogram som har fått stöd inom ramen för Strategiska innovationsområden, en gemensam satsning mellan Vinnova, Energimyndigheten och Formas. Syftet med satsningen är att skapa förutsättningar för Sveriges internationella konkurrenskraft och bidra till hållbara lösningar på globala samhällsutmaningar.

Samhällsbyggnadssektorn är Sveriges enskilt största sektor som påverkar hela vår bebyggda miljö, men den är fragmenterad med många aktörer och processer. Att förändra samhällsbyggandet med digitaliseringen som drivkraft kräver därför samverkan mellan många olika aktörer. Smart Built Environment tar ett samlat grepp över de möjligheter som digitaliseringen innebär och blir en katalysator för spridningen av nya möjligheter och affärsmodeller.

Programmets mål är att till 2030 uppnå:

- 40 % minskad miljöpåverkan i ett livscykelperspektiv för nybyggnad och renovering
- 33 % minskning av total tid från planering till färdigställande för nybyggnad och renovering
- 33 % minskning av de totala byggkostnaderna
- flera nya värdekedjor och affärsmodeller baserade på livscykelperspektiv, plattformar samt nya konstellationer av aktörer

I programmet samverkar programparter från näringsliv, kommuner, myndigheter, bransch- och intresseorganisationer, institut och akademi. Tillsammans nyttiggör vi den kunskap som tas fram i programmet.

3CIM - implementation och etablering är ett av projekten som har genomförts i programmet. Det har letts av Stockholm, Göteborg, Malmö och Lunds universitet och har genomförts i samverkan med Formas.

Stockholm, 21 oktober 2025

Sammanfattning

Projektet *3CIM – implementation och etablering* har genomförts av projektparterna Göteborgs stad, Lunds universitet, Malmö stad och Stockholms stad som ett fortsättningsprojekt till *3CIM* (projekt inom Smart Built Environment 2020-2022). Projektet har syftat till att utveckla och implementera den informationsmodell som tagits fram i det tidigare projektet samt etablera en stabil förvaltning för informationsmodellen. Informationsmodellen, även den kallad 3CIM, är utformad som en Application Domain Extension (ADE) till den internationella standarden CityGML2.0. En ADE kan beskrivas som en utökning och en specificering av CityGML2.0, där attribut och klasser har lagts till och regler påförts som pekar ut hur elementen i CityGML ska användas. Ambitionen med informationsmodellen är att den ska kunna användas av alla svenska kommuner som en gemensam struktur för grundläggande geodata i 3D.

Projektet har resulterat i utveckling av informationsmodellen, främst i temana Transport, Marktäckte och Byggnad. Den nya modellen benämns 3CIM ver 2.0. Utvecklingen har verifierats i testdata i ett område vardera för de tre städerna och har visat ge högre kvalitet och effektivitet i städernas arbetsflöden. Projektet har också utvecklat en teknisk implementation, baserad på öppen källkod-lösningen 3DCityDB, där det nu finns stöd för att importera, lagra och exportera 3CIM-data.

Implementationen av 3CIM i de tre städernas geodataverksamheter har kommit olika långt och görs tekniskt på lite olika sätt för att passa förutsättningarna som finns i respektive stads IT-miljöer och arbetssätt.

Oavsett teknisk implementation är det en stor fördel att ha en gemensam struktur på geodata mellan kommunerna. Det ger en gemensam begreppsvärld, där vi namnger och definierar de fysiska företeelserna i kommunen på samma sätt, och gemensamma mättningsanvisningar som säkerställer att vi geometriskt representerar dessa företeelser på samma sätt. Detta möjliggör ett mycket förenklat och effektiviserat informationsutbyte.

Ett antal fördjupade praktiska studier har också genomförts och utmynnat i nya rekommendationer kring hur olika objekt bör hanteras i 3CIM.

En organisation för förvaltning har satts upp för att hantera användarstöd och mindre justeringar. Det finns också en styrgrupp som kan besluta om och resurssätta ett projekt om större förändringar behöver göras. Projektparterna för också dialog med Lantmäteriet och andra kommuner om att 3CIM:s informationsmodell kan utgöra grund för kommande nationella specifikationer för storskaliga kommunala geodata. I ett sådant utfall finns en modell för förvaltning som ersätter det som har satts upp i projektet.

Summary

The project *3CIM – implementation och etablering* has been carried out as a continuation of the project *3CIM* (Smart Built Environment, 2020-2022) by the cities of Gothenburg, Malmö and Stockholm together with Lund University. The purpose of the project has been to develop and implement the information model created by the previous project and to establish a robust organisation for the management of the model. The information model, also named 3CIM, has the form of an Application Domain Extension (ADE) of the international standard CityGML2.0. An ADE is an extension and also a specification of CityGML2.0, with added attributes and classes and rules for how the elements of CityGML should be used applied. The ambition of the information model is that it could be used by all Swedish municipalities as a common structure for basic 3D geospatial data.

The project has resulted in a development of the information model, primarily in the Transport, Land Cover and Building themes. The new model is denoted 3CIM 2.0. It has been verified in test data in one area each in the three cities and shows improvement in quality as well as efficiency in the workflows of the cities. The project also has developed a technical implementation, based on the open source database 3DCityDB. There is now support for importing, storing and exporting 3CIM data in 3DCityDB.

The implementation of 3CIM in the geospatial data organisations of the three cities have had different progress and is technically carried out in various ways to accommodate for different preconditions in the cities IT systems and workflows.

Regardless of technical implementation used, it is of great benefit to have a common structure of geospatial data. It provides a common use of terms, where the physical objects in the municipality is named and defined in the same way, and common ways of geometrically representing those objects through mapping guidelines. This enables a much simplified and efficient data exchange.

A number of detailed practical studies have been executed and has resulted in new recommendations of how to handle objects in 3CIM.

An organisation has been set up for managing user support and lesser adjustments of the information model. There is also a steering committee that can decide on a new project if there is need for more substantial changes. There is an ongoing dialogue between the project parties and the National Land Survey (Lantmäteriet) as well as some other municipalities regarding national specifications for geospatial data, where 3CIM could form a base. Should that come to pass there is a management model associated with the national specifications that would replace the organisation set up in this project.

Begrepp

Begrepp	Beskrivning	Andra begrepp som används synonymt eller liknande
2D	Geometri som saknar höjdangivelse (Z-koordinat). Kan vara punkt, linje eller yta	
2,5D	Geometri som har höjdangivelse (Z-koordinat) på sina brytpunkter så att objektet är relaterat till sin omgivning även i höjd, men objektets form representeras inte i 3D. Kan vara punkt, linje eller yta.	
3D	Geometri som återger objektets form i 3D, t ex en byggnad där botten, väggar och tak finns med eller en mur där sidorna, toppen och botten finns med. Kan vara solid (kallas även kropp) eller multi-yta, där ytorna tillsammans utgör formen.	
3CIMverX.X	Den informationsmodell som projektet 3CIM tagit fram. Den för projektet slutliga versionen benämns 3CIMver1.0. Innan dess har arbetsversioner 0.1 och 0.2 förekommit.	3CIM-modellen, informationsmodellen (i denna rapport)
3DCityDB	Databasmiljö för lagring av CityGML-data, open source	
ADE	<i>Application Domain Extension</i> (ADE) är en strukturerad utvidgning av informationsmodellen i CityGML.	
Arbetspaket	Delprojekt bestående av arbetspaketsledare och –deltagare.	AP
Baskarta	Urval av kommunal storskalig geografisk information som används som underlag för t ex planering och förvaltning. Används vanligen i 2D.	Primärkarta
BIM	Building Information Model – strukturerad och objektsorienterad information om en byggnad eller anläggning.	
CIM	City Information Model – strukturerad och objektsorienterad information om en stad eller del av stad.	
CityGML	En internationell standard för 3D stadsmodeller framtagen av Open Geospatial Consortium (OGC).	
Digital tvilling (av stad)	Har många olika definitioner, men som projektet har sett det innehåller en digital tvilling av stadens objekt i 3D som representerar stadens fysiska företeelser,	

	befintliga, historiska och planerade, samt realtidsinformation som beskriver det levande i staden, t ex trafik, temperatur, luftkvalitet.	
Informationsmodell	Beskriver informationsstrukturen och visas i ett schema, t ex UML: vad som omfattas, vilka egenskaper det har och relationer emellan.	Datamodell
Markhöjdmodell	Yta formad av trianglar eller gridpunkter som beskriver markens höjd. Kan inkludera objekt som utgör brytlinjer (t ex vägytor, stödmurar, kajkanter) för förbättrad representation.	Digital Elevation Model (DEM), Digital Terrain Model (DTM), höjdmodell, barmarksmodell
Nationell specifikation	Specifikationer som tas fram för geodatamängder inom ramen för grunddatadomän Fastighets- och Geografisk information under ledning av Lantmäteriet.	NS
Semantisk	Det som krävs för förståelsen av data. Semantiskt rika data innehåller kontexten som krävs för att förstå relevansen av data.	
Svensk Geoprocess	Stort standardiseringsarbete under perioden 2012 till 2016 med uppdrag att bland annat ta fram specifikationer och mättningsanvisningar för geodata. Leddes av Lantmäteriet och hade deltagare från andra statliga myndigheter samt kommuner.	SGP

Innehållsförteckning

1	BAKGRUND, SYFTE OCH MÅL	10
1.1	BAKGRUND	10
1.2	RESULTAT OCH SLUTSATSER FRÅN FÖREGÅENDE PROJEKT 3CIM	11
1.3	SYFTE	13
1.4	MÅLGRUPP	14
2	GENOMFÖRANDE	15
2.1	STYRNING	15
2.2	PROJEKTSAMORDNING	15
2.3	KONSULTSTÖD	15
2.4	REFERENSGRUPP	15
2.5	INFORMATIONSSPRIDNING	16
2.6	LEVERANSER	16
2.7	ARBETSPAKET	16
2.7.1	AP1 – IMPLEMENTERA 3CIM	16
2.7.2	AP2 – UTVECKLA 3CIM	17
2.7.3	AP3 – ETABLERA 3CIM	19
2.8	EKONOMISKT RESULTAT	19
3	OMVÄRLD	21
3.1	CITYGML OCH CITYJSON	21
3.2	3DCITYDB	24
3.3	NATIONELLA SPECIFIKATIONER	24
3.4	ANDRA FORSKNINGS- OCH INNOVATIONSPROJEKT	25
4	RESULTAT	26
4.1	UTVECKLING AV 3CIM:S INFORMATIONSMODELL	26
4.2	UTVECKLING AV TEKNISK MILJÖ FÖR LAGRING AV 3CIM-DATA	27
4.3	IMPLEMENTATION AV 3CIM I STÄDERNA	28
4.3.1	MALMÖ	28
4.3.2	GÖTEBORG	29
4.3.3	STOCKHOLM	30

4.4	PRAKTISKA STUDIER	31
4.4.1	MARKDETALJER (CITY FURNITURE) – PUNKTOBJEKT	31
4.4.2	MARKDETALJER (CITYFURNITURE) – LINJEOBJEKT	33
4.4.3	TRANSPORT	36
4.4.4	MARKTÄCKE OCH HÖJD	38
4.5	TESTDATA OCH VERIFIERING	41
4.5.1	MALMÖ	41
4.5.2	GÖTEBORG	44
4.5.3	STOCKHOLM	47
4.6	PLAN FÖR FÖRVALTNING OCH FORTSATT UTVECKLING	51
4.6.1	FÖRVALTNING AV INFORMATIONSMODELL	51
4.6.2	FÖRVALTNING AV TEKNISK IMPLEMENTATION	52
5	PROJEKTETS SLUTSATSER	53
6	REKOMMENDATION OM FORTSATT ARBETE	54
7	REFERENSER	55

1 Bakgrund, syfte och mål

1.1 Bakgrund

3D-stadsmodeller har använts under ett par decennier. De tidigare modellerna fokuserade främst på visualisering. Idag finns ett allt större behov av att även använda 3D-stadsmodeller för analyser och simuleringar samt även som grund för digitala tvillingar av städer. För att möjliggöra detta krävs en semantisk 3D-stadsmodell som kan vara antingen proprietär eller öppen, dvs. baserad på öppna standarder. De senare är oftast baserade på den öppna internationella standarden CityGML med speciella tillägg (implementerat som en så kallad *Application Domain Extension*, ADE). Exempel finns i Holland [1], Grekland [2] och Österrike [10].

Projektet 3CIM, som bedrevs inom Smart Built Environment 2020–2022, tog fram en gemensam informationsmodell (också kallad 3CIM) med syfte att fungera som grund för en digital tvilling. Informationsmodellen omfattade de fysiska företeelserna i staden (som byggnad, väg, tunnel m.m.) och togs fram iterativt, med skapande av testdata och utvärdering i olika användarfall vars resultat användes för justering och komplettering av informationsmodellen i nästa iteration. Användarfallen fokuserade på analyser som är viktiga i stadsplaneringen (skyfall, buller och dagsljus) samt visualisering för olika ändamål. Informationsmodellen utformades som en utökning av den internationella standarden CityGML 2.0. Projektets resultat och slutsatser beskrivs utförligare i slutrapport som finns publicerad på Smart Built Environments webbplats¹. Övriga projektresultat i form av informationsmodell, FME-skript, kodlistor och mättningsanvisningar finns publicerade på GitHub².

En semantisk stadsmodell kräver mycket information om objekten i modellen, t.ex. information om vägar och byggnader. Denna information kan antingen lagras som en del i databasen (kräver en omfattande ADE) eller länkas in via externa databaser / verksamhetssystem. De första nationella standardiseringarna (t.ex. [3]) baserade sig på stora ADE:er; det har dock visat sig att dessa har varit svåra att skapa och underhålla, samt att verktygsstödet för dessa ADE:er är lågt [4–5]. Därför har intresset ökat med att länka in information till 3D stadsmodeller, och det är också denna ansats som 3CIM främst använder. Resultatet är en tunn modell, där attributen i stort sett beskriver företeelsens utbredning, utseende och typ och där mer verksamhetsspecifik information istället länkas in från de system där den vanligtvis hanteras. Ansatsen att länka in information ställer dock höga krav på att objekten i stadsmodellen har samma struktur som i externa databaser / verksamhetssystem samt att de använder samma ID-nummer. En sådan ansats möjliggör också att man kan använda länkade data (*Resource Description Framework*; RDF-data) i framtiden, vilket rent praktiskt håller på att utvärderas med 3CIM-data i ett annat Smart Built Environment-projekt (*Interoperabilitet – Digital samverkan för den byggda miljön*³).

¹ <https://smartbuilt.se/projekt/informationsinfrastruktur/3cim/>

² <https://github.com/3CIM/Public-files>

³ <https://smartbuilt.se/projekt/informationsinfrastruktur/interoperabilitet-digital-samverkan-for-den-bygga-miljon/>

Det finns idag flera städer som har kommit långt med att utveckla 3D-stadsmodeller / digitala tvillingar som t.ex. Helsingfors [6], Singapore [7] och Zürich [8]. Dessa modeller är visuellt mycket bra, och t.ex. modellen i Helsingfors innehåller även en del semantisk information om byggnader. Det går att lära en hel del från hur dessa modeller är skapade (utifrån t.ex. laserskanning och fotogrammetri / bildbehandling), men man bör vara medveten om att 3CIM är en mer omfattande modell (i termer av hur många teman som behandlas och länkning till externa data).

På sikt är målsättningen att 3D-stadsmodellerna, enligt 3CIM, ska utgöra grunden för kommunala 3D baskartor, och därmed vara det grundläggande kartmaterialet inom samhällsbyggnadssektorn. Detta kommer dock att kräva att man bygger produkter på 3CIM-data som t.ex. 3D-detaljplaner, 3D-nybyggnadskartor, 3D-registerkartor, etc. Detta kommer att studeras vidare i Smart Built Environment-projektet *Ramverk och leveransspecifikationer för utbyte av BIM- och geodata*⁴.

1.2 Resultat och slutsatser från föregående projekt 3CIM

Projektet hade som ett mål att utreda vilka datamängder som behövs i en digital tvilling, generellt och utifrån de användarfall som definierats i projektet. Det konstaterades att det till stor del handlar om fysiska företeelser i staden, vilket grupperades i teman och modellerades. Utöver detta finns också behov av olika administrativa indelningar, som fastigheter, och även sensordata för många analyser och realtidsstyrning utifrån den digitala tvillingen.

Den informationsmodell som projektet levererat hanterar de fysiska företeelser i staden som ansågs som prioriterade i behovsinventeringen. En viktig del är att möjliggöra för länkning till externa datakällor på ett strukturerat sätt eftersom en informationsmodell inte rimligtvis kan innehålla allt som behövs för alla möjliga tillämpningar. Projektet såg att realiseringen av 3CIM-modellen skulle kunna utgöra navet av informationshantering om staden som alla verksamheter skulle kunna koppla sin information till. Som användare skulle man då ha möjlighet att nå all information om en plats och verktyg som hämtar relevanta data kan byggas för olika typer av tillämpningar. För att nå dit krävs en god samordning av informationshanteringen inom hela staden. 3CIM-data kan ses som en utveckling av den kommunala bas- eller primärkartan.

Beslutet att utgå ifrån CityGML2.0 togs tidigt i projektet då version 3.0 av CityGML fortfarande endast var ett förslag. Även om CityGML3.0 nu är en beslutad standard som konceptuell modell saknas till stor del teknisk implementering och att vänta in detta var inte möjligt tidsmässigt för projektet. Dock finns stora fördelar att hämta i CityGML3.0, framför allt när det gäller Transport-temat, versionering och möjligheten till logiska utrymmen (logical space) som komplement till fysiska utrymmen (physical space). Det finns därför all anledning i framtiden att anpassa 3CIM:s ADE till CityGML3.0.

⁴ <https://smartbuilt.se/projekt/informationsinfrastruktur/leveransspecifikationer-for-bim-och-geodata/>

Projektet såg det som mycket viktigt att kommunernas geodata, strukturerat enligt 3CIM, på ett enkelt sätt kan utbytas nationellt. I framtiden kan förutsättningar och krav finnas att tillgängliggöra mer geodata öppet via den nationella geodataplattformen. Det har därför varit en bärande tanke att anpassa sig till de grundläggande resursmodellerna i Lantmäteriets informationsarkitekturramverk i projektet. Även den geometriska representationen behöver stämma överens för utbytet och därmed behöver samma mättningsanvisningar användas vid datainsamling. Därför har projektet samverkat med Lantmäteriet med att ta fram nationella mättningsanvisningar för temat byggnad.

Arbetet med att ta fram testdata enligt 3CIM:s informationsmodell såg projektet som mycket givande och har möjliggjort både förbättringar av informationsmodellen och en större förståelse för hur data kan tillämpas och vilka krav det ställer både på datastruktur och insamling. Projektet hade ett utpräglat iterativt arbetssätt med att modellera, skapa testdata och verifiera i användarfall och detta upplevdes som en tydlig framgångsfaktor i projektet.



Fig 1.1 Testdata från Malmö stad, skapat i första 3CIM-projektet.

Lagringen av data enligt 3CIM:s informationsmodell i en 3DCityDB implementerades i projektet med hjälp av både 3DCityDB:s inbyggda Importer/Exporter-verktyg och FME (från Safe Software), där det inbyggda verktyget hanterar det som är ren CityGML2.0 och FME därefter kopplar de 3CIM-specifika attributen och objekten till rätt struktur i ett samlat arbetsflöde. Projektet såg det som en lösning som drar nytta av styrkorna hos båda programvarorna. Skulle bara det inbyggda verktyget användas skulle det kräva att Java-kod tas fram för att hantera de extra attributen, vilken också behöver förvaltas. Skulle bara FME användas skulle det innebära mycket arbete med att återskapa funktionalitet som redan finns i det inbyggda verktyget. Dessutom pågick utveckling med att förbättra 3DCityDB och möjliggöra även CityGML3.0, något som kommunerna som använder verktyget kommer att vilja dra nytta av.

Från början hade projektet bara definierat skyfallssimulering som användarfall, men det stod tidigt klart att det vore värdefullt att bedöma informationsmodellen även

utifrån andra tillämpningar som är vanligt förekommande för kommuner t.ex. visualiseringar. Där ingår även detaljplanering, där frågeställningen är hur 3CIM-data fungerar som underlag i jämförelse med en traditionell grundkarta. Även visualisering som bakgrund för att visa upp analysresultat och realtidsdata samt för planerade exploateringsprojekt är viktiga tillämpningar. För detaljerad redovisning av utfallet i respektive fall hänvisas till slutrapporten, men gemensamt kan nämnas att projektet såg en klar fördel i samtliga tillämpningar att ha en gemensam struktur. Det gör det lättare för användare att förstå de data de ser och dessutom möjliggör det för kommunerna att dela skript och arbetsflöden för analyser och visualiseringar.

3CIM är framtaget som en svensk nationell modell. Den är dock baserad på en internationell standard (CityGML) och 3CIM är ett bidrag till hur utveckling av stadsmodeller principiellt bör göras även internationellt. I samband med projektavslut för första 3CIM-projektet publicerade vi 3CIM modellen i en internationell vetenskapligt granskad tidskrift [9] och i samband med det även fått bra feedback på modellen och hur 3CIM kan utvecklas framåt. 3CIM-modellen har även använts i andra forskningsprojekt [11-14] och i flertalet examensarbeten.

Vid projektslut 2022 såg parterna behov av att fortsätta arbeta med implementering av resultaten i sina verksamheter för att få det till en integrerad del i rutiner och processer. Utöver det fanns också frågor som identifierats men inte fullt ut kunnat lösas. Vissa av dessa lyftes in och arbetades vidare med inom andra initiativ, men andra återstod att hantera. Dessutom behövde en lösning etableras för förvaltning av projektresultatet. Utifrån dessa anledningar startades fortsättningsprojektet 3CIM – implementation och etablering.

1.3 Syfte

Syftet med projektet var att utifrån den informationsmodell och specifikationer som tagits fram i det tidigare projektet 3CIM implementera modellen hos de tre medverkande kommunerna och fylla den med data som används praktiskt i samhällsbyggnadsprocessen, t ex för visualisering, analyser och simuleringar – en stabil grund för den digitala tvillingen av staden och basen för kommunens grundläggande geodata i 3D. Projektet syftade också till att utveckla delar av informationsmodellen samt att etablera en förvaltning av modellen. Detta för att möjliggöra fortsatt utveckling samt stöd till andra som vill tillämpa den.

Projektparterna ser 3CIM:s roll som att vara navet i kommunens informationsstruktur när det gäller fysiska företeelser. En digital tvilling av staden är inte en ren visualisering utan snarare en modellering av alla de samband som gör att staden fungerar som den gör. Kommunernas baskarta/primärkarta har sedan länge utgjort en grund för alla möjliga tillämpningar inom planering, utveckling och förvaltning. Tidigare har sambanden och insikterna dock enbart funnits hos de människor som arbetar med olika områden. I och med digitala tvillingar finns dock möjligheten att lagra även dessa och därmed göra mycket mer långtgående analyser möjliga och tillgängliga för fler. För att stödja det behöver den underliggande informationen om de fysiska företeelserna vara semantiskt rik och, i många fall, utgöras av 3D-objekt. Därför ser projektparterna 3CIM som den utveckling av baskarta/primärkarta som krävs för

att stödja digitala tvillingar av kommunerna och de följdprodukter som behövs för planering och byggande.

1.4 Målgrupp

Målgrupp för projektet har framför allt varit de interna organisationerna i Göteborg, Malmö och Stockholm men även andra kommuner då vi såg ett stort intresse att få guidning och stöd i att strukturera sina geodata för framtiden. Semantiska 3D-stadsmodeller är ett forskningsområde med stor aktivitet så även den akademiska världen är en målgrupp.

2 Genomförande

Projektet har genomförts under perioden juli 2023 till oktober 2025. Projektet organiserades i tre arbetspaket, efter de huvudsakliga leveranserna, och utöver det har en samordningsgrupp med representanter för arbetspaketen och de fyra projektparterna varit aktiv under hela projektets gång.

2.1 Styrning

Projektet har haft en styrgrupp bestående av avdelningscheferna ansvariga för geodata i Göteborg, Malmö och Stockholm. Styrgruppen har haft möten ca 4 gånger per år, då projektledaren har föredragit status och berett de beslut som behövt fattas.

2.2 Projektsamordning

En projektsamordningsgrupp bestående av projektledare och arbetspaketledare har haft möten varannan vecka. Gruppen har ansvarat för projektplaneringen och uppföljningen av arbetet, diskuterat när förändringar har behövt göras samt hållit ihop kommunikation utåt. Gruppen har också arbetat med de upphandlingar av konsultstöd som projektet har haft behov av.

2.3 Konsultstöd

Projektet har haft stöd av två konsultinsatser. Det tyska företaget Virtual City Systems anlätades för att utveckla Importer/exporter-verktyget till 3DCityDB, samt för att säkerställa att 3CIM:s informationsmodell håller sig till CityGML:s regler och rekommendationer. Det svenska företaget Viati anlätades för stöd i informationsmodelleringen och utbildning av projektdeltagare i att utföra förändringar på korrekt sätt i verktyget Enterprise Architect (från Sparx systems).

2.4 Referensgrupp

Projektet har haft en stor och bred referensgrupp. Till stor del är det samma referensgrupp som för det tidigare projektet, 3CIM, men representanter från ytterligare kommuner har tillkommit. Förutom kommuner finns företrädare för statliga myndigheter, systemleverantörer, teknikkonsulter och akademien.

I projektets inledning skickades skriftlig information om inriktningen ut till referensgruppen. Referensgruppsmöten hölls den 30 september 2024 samt den 3 juni 2025. Syftet med det första mötet var främst att stämma av inriktning och fokus med referensgruppen och få deras medskick i det fortsatta arbetet. Diskussionen var centrerad kring koppling till externa datamängder samt kring hur marktäckte bör hanteras i modellen. Det andra referensgruppsmötet hölls i slutet av projektet och var mest inriktat på att redovisa resultat samt i vilken form arbete kan komma att fortsätta. Utöver mötena har ytterligare dialog hållits med engagerade deltagare,

främst från andra kommuner, i specifika frågor. Det här har gett bra medskick till projektet och förståelse för hur resultaten kan utformas för att vara lättare att ta till sig, exempelvis att inkludera en praktisk användarguide.

2.5 Informationsspridning

Ett flertal kommunikationsinsatser har gjorts under projektiden. Dels har presentationer hållits internt hos projektparterna och dels i externa sammanhang, såsom branschkonferensen Kartdagarna där projektet deltagit under 2024 och 2025. Projektet har presenterats i ett lunchseminarium arrangerat av Geoforum. Smart Built Environment har också lyft projektet i sin kommunikation, med intervju och artikel samt en kort film. Dessa tillgängliggörs i toolboxen för Smart Built Environment.

2.6 Leveranser

Projektets huvudsakliga leveranser är:

- En informationsmodell 3CIM ver2.0 i UML, samt XML Schema Definition (XSD-fil)
- Beskrivning av informationsmodellen 3CIM ver2.0
- Uppdaterade kodlistor
- Kartläggning av mättingsanvisningar
- Teknisk implementation i 3DCityDB, med stöd för 3CIM:s ADE i databasschemat och för hantering av 3CIM-filer i Importer/Exporter-verktyg
- Användarguide för implementation av 3CIM
- Guide för hur man uppdaterar 3CIM informationsmodell i UML
- Testdata enligt 3CIM ver 2.0
- Vetenskaplig artikel om hur marktäckte och höjdinformation hanteras i 3CIM ver 2.0 (är under granskning)
- Slutrapport

2.7 Arbetspaket

2.7.1 AP1 – Implementera 3CIM

Arbetspaketets omfattning

Arbetspaket 1, nedan benämnd som AP1, har haft ansvaret att implementera 3CIM informationsmodellen. Implementeringen innehåller framtagning, lagring och export av data enligt 3CIM:s informationsmodell. Vidare testades att skapa kopplingar till andra verksamhetssystem och databaser och användarfall för test och verifiering identifierades. Om utvecklingsbehov identifieras lyftes detta till AP2.

I arbetspaketet har följande personer varit aktiva:

- Matthew Calvert, Stockholms stad
- Kidega Carlsson, Stockholms stad

- Fredrik Johansson, Stockholms stad
- Axel Loreman, Malmö stad
- Robin Nilsson, Göteborgs stad
- Alex Spielhaupter, Göteborgs stad (AP-ledare)

Arbetsformer

Arbetet inleddes med en inläsning av materialet från första 3CIM-projektet. I regelbundna möten där alla tre kommuner deltog gick deltagarna ta del av varandras framsteg och utmaningar i implementeringsprocessen. När konsultstödet var upphandlat för att uppdatera Importer / Exporter databasverktyget med 3CIM ADE:n påbörjades ett intensivt arbete med att ta fram testdata för utvalda teman i CityGML format. Efter konsultens uppdatering sattes det upp 3DCityDB databaser i varje kommun för att kunna importera och exportera 3CIM data från databasen.

I två träningsessioner utbildades alla projektmedlemmar i hanteringen av det uppdaterade Importer/Exporter- verktyget och databasen 3DCityDB. Utbildningen gavs av Virtual City Systems.

Det genomfördes tester att visualisera 3CIM data via QGIS insticksmodulen 3DCityDB tools, KIT Modell Viewer, CityGML doctor, Terria och Cesium.

I slutskedet justerades informationsmodellen med tillägg av attribut som medförde en uppdatering av 3CIM ADE:n (3CIM 2.0) och Importer/Exporter- verktyget. Inom arbetspaketet genomfördes tester av uppdateringarna. I samband med testerna togs det fram en användarguide som beskriver hela installationsprocessen samt hur data behöver modelleras i FME.

Under hela projektet har det funnits en tajt kommunikation mellan AP 1 och AP 2 då det finns en stark koppling mellan implementering och utveckling. Två av arbetsgruppens medlemmar ingick därför även i AP 2,

Externa kontakter

3CIM har presentats för Göteborgsregionens GIS-grupp. Användarguiden skickades till Örebro kommun för extern granskning.

2.7.2 AP2 – Utveckla 3CIM

Arbetspaketets omfattning

Arbetspaket 2, nedan benämnd som AP2, har haft ansvaret att: (1) utveckla informationsmodell till en ny version 3CIM ver. 2.0, (2) att tillsammans med AP1 se till att 3CIM ver. 2.0 implementeras i databasverktyget 3DCityDB, och (3) att utföra tester av 3CIM ver 2.0 både var det gäller informationsmodellen och databasimplementeringen.

I arbetspaketet har följande personer varit aktiva:

- Matthew Calvert, Stockholms stad
- Ulrika Christensen, Malmö stad
- Åsa Franzén, Malmö
- Daniel Gardevärn, Malmö stad
- Lars Harrie, Lunds universitet (AP-ledare)
- Axel Loreman, Malmö stad
- Per-Ola Olsson, Lunds universitet
- Alex Spielhaupter, Göteborgs stad

Konsulten Björn Svensson, Viati, har också bidragit till AP2s arbete.

Arbetsformer

Arbetet inleddes med att ta fram ett dokument om de förändringar i 3CIM som ansågs mest angelägna för projektets parter. Detta dokument antogs sedan av styrgruppen, och det praktiska arbetet inleddes. Detta arbete har dels inneburit jobb med själva informationsmodellen i UML, och dels flertalet tester med att verifiera dessa ändringar i modellen. En del av arbetet gjordes tillsammans med AP1, främst vad det gäller framtagning av testdata och anpassning av 3DCityDB till 3CIM ver. 2.0. Bland annat har vi haft flera gemensamma möten med Virtual City Systems som utvecklar 3DCityDB.

AP2 har även arbetat med kodlistor och mätningssanvisningar kopplade till 3CIM. Dessa delar är inte formellt en del av 3CIM:s informationsmodell, men en förutsättning för att det ska gå att jobba praktiskt med 3CIM-data.

Arbetspaketet har haft interna möten varannan vecka där gruppen samordnade sitt arbete.

Externa kontakter

Tre examensarbeten vid Lunds universitet har genomfört med samverkan med AP2 (Justin Hellsten, Erik Lökhholm och Emma Martinsson), Dessa studier har hjälpt till med att skapa 3CIM data och utvärdera informationsmodellen.

Inom utvecklingsarbetet i AP2 har vi samverkat med andra forsknings- och innovationsprojekt, se kapitel 3. Vi har även haft kontakt med andra aktörer som arbetar internationellt med CityGML (Technical University of Munich, Wien stad, etc.) och med dem som utvecklar urbana digitala tvillingar (Rise, Chalmers, Linköpings universitet, etc.)

2.7.3 AP3 – Etablera 3CIM

Arbetspaketets omfattning

Arbetspaket 3, nedan benämnd som AP3, har haft ansvaret att ta fram ett förvaltningsförslag för 3CIM-resultatet. Frågeställningar har varit vilken organisation eller grupp som efter projektets slut ska ansvara för 3CIM-resultatet, vem som ska svara på inkommande frågeställningar och eventuellt agera vid behov av vidareutveckling eller justeringar. Målet har varit att hitta en nationell organisation som har möjlighet att förvalta 3CIM vidare inom ramen för sitt ordinarie uppdrag för att ge så goda förutsättningar som möjligt för alla kommuner som vill implementera informationsmodellen 3CIM.

I arbetspaketet har följande personer varit aktiva:

- Barzan Abdi, Malmö stad (AP-ledare fr.o.m. sep 2024)
- Kerstin Florén, Malmö stad (AP-ledare t.o.m. sep 2024)
- Eric Jeansson, Göteborgs stad
- Lars Harrie, Lunds universitet
- Ola Setterby, Göteborgs stad
- Maria Ugglå, Stockholms stad

Arbetsformer

Arbetet startade med att identifiera möjliga aktörer för förvaltning och lista för- och nackdelar i ett underlag till projektets styrgrupp. Underlaget innehöll också en beskrivning av vad förvaltningen bör omfatta och att förvaltningen av informationsmodellen 3CIM inte är samma sak som den tekniska implementationen (dvs databas och verktyg). Det är främst förvaltningen av informationsmodellen som behandlats inom AP3. Styrgruppen ansåg att det utifrån underlaget framför allt fanns stora fördelar om Lantmäteriet skulle ha en förvaltande roll för informationsmodellen.

AP3 har därefter haft flera dialoger med Lantmäteriet, vilket ledde till ett samarbete inom Lantmäteriets arbete med nationella specifikationer för storskalig kommunal geodata där projektets förväntan var att bärande delar av 3CIM skulle kunna inkorporeras. Arbetet med Lantmäteriet startade upp under hösten 2024 och flera kommuner, inkluderat 3CIM-parter deltog. Arbetet pågick fram till våren 2025, och därefter beslutade Lantmäteriet att pausa arbetet för att förankra arbetet med fler kommuner och systemleverantörer. Utifrån detta avser Lantmäteriet att ta fram en plan för fortsatt arbete med nationella specifikationer för storskalig kommunal geodata. I skrivande stund har ingen ytterligare information kommit från Lantmäteriet.

Med anledning av att Lantmäteriet pausat arbetet, har projektet istället tagit fram en alternativ förvaltningslösning, att använda i alla fall tillfälligt. Se avsnitt 4.6.1.

2.8 Ekonomiskt resultat

Projektets budget var totalt 2 870 000 kr, där 50% finansierades av Formas genom Smart Built Environment och 50% av projektparternas egenfinansiering. Den absoluta merparten av kostnaderna är för egen personal, men 300 000 kr budgeterades för

konsultkostnader som stöd i informationsmodelleringen och 100 000 kr för övriga kostnader som resor. Projektparternas arbetstid planerades till:

Göteborgs stad: 1030 timmar
Malmö stad: 1030 timmar
Stockholms stad: 1200 timmar
Lunds universitet: 500 timmar

I och med att implementering är en stor del av projektet såg vi dock redan från början det som att städerna kan välja att lägga ner mer tid på sin egen implementering. I det fallet bekostas den tillkommande tiden helt av parten själv genom egenfinansiering.

En bit in i projektet såg vi att det skulle finnas en stor vinning i att kunna ta in ytterligare en konsult för utveckling av den tekniska implementationen. Efter att projektledaren stämt av med Formas kunde styrgruppen besluta att styra om delar av den finansiering vi fått för personalkostnader till ytterligare konsultstöd och istället finansiera egen arbetstid själva i större utsträckning.

Externa kostnader uppgick till: 512 451 kr

Den faktiska arbetstiden uppgick till:

Göteborgs stad: 1284 timmar
Malmö stad: 1084 timmar
Stockholms stad: 1449 timmar
Lunds universitet: 910 timmar

Resekostnader uppgick till ca 30 000 kr

Därmed slutade faktiska kostnader för projektet på ca 2 984 000kr. Det är ca 100 000 kr över budget. Dialog fördes med styrgruppen, som godkände att den ökade kostnaden kunde hanteras med högre egenfinansiering.

3 Omvärld

3.1 CityGML och CityJSON

Den vanligaste internationella öppna standarden för stadsmodeller är CityGML, framtagen av Open Geospatial Consortium (OGC). För närvarande används främst CityGML ver. 2.0 [15], men en konceptuell version av CityGML ver. 3.0 släpptes under 2021 [16], och sedan dess har även en XML-implementation av standarden publicerats. 3CIM ver. 1.0 liksom 3CIM ver. 2.0 baseras på CityGML version 2.0

Flera studier har påvisat ett behov av nationell harmonisering och flera länder har föreslagit/skapat nationella standarder för 3D-byggnad eller 3D-stadsmodeller baserade på CityGML som exempelvis Holland [17–19], Tyskland [20], Grekland [21], Finland [22], Sverige [23] och Turkiet [24]. Sett från ett implementeringsperspektiv finns, så vitt vi vet, den mest omfattande CityGML-modellen i Japan, skapad i projektet Plateau⁵ där flera hundra städer blivit karterade i en gemensam modell.

CityGML 2.0 inbegriper följande tematiska modeller [15]: *Core* (som innehåller gemensamma strukturer för alla teman), *Digital Terrain Model*, *Building*, *Tunnel*, *Bridge*, *Water bodies*, *Transportation*, *Vegetation*, *City Furniture* ("övriga markobjekt") och *Land use* (som är en blandning av marktäckning och markanvändning). Dessutom finns teman som beskriver hur man kan addera textur (*Appearance*) och specifika moduler för att utöka innehållet i CityGML.

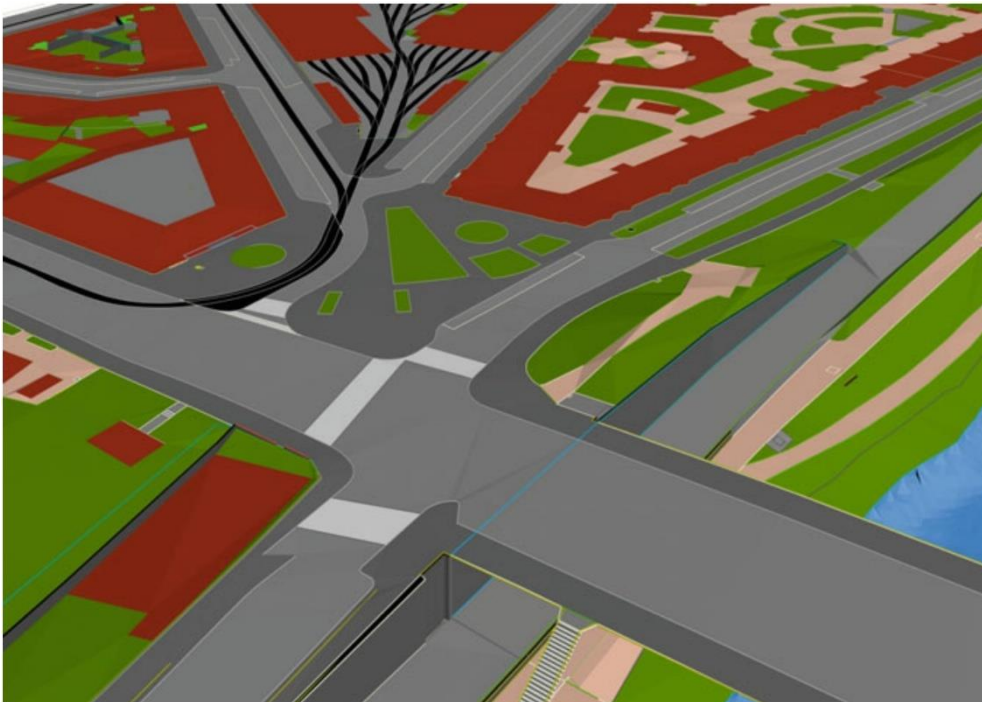
CityGML stöder modellering med flera upplösningar genom att inkludera olika detaljnivåer (*Level of Details*, LOD) där geometri, topologi och semantik beskrivs med varierande komplexitet. CityGML 2.0 definierar fyra LODs, som för en byggnad sträcker sig från fotavtryck/takavtryck (LOD0) till detaljerad representation inklusive takkonstruktion och fönster och dörrar (LOD3) och slutligen läggs även inomhusinformation till i LOD4. Studier har utökat denna LOD-modell med undertyper för att mer i detalj specificera hur en byggnad ska representeras. Specifikationerna i 3CIM (liksom i något modifierad form även de Nationella specifikationerna) följer i huvudsak LOD definitionen i Biljecki et al. (2016) (Figur 3.1).

Informationsmodellen CityGML kan utökas till att stödja olika applikationer [5]. I tekniska termer görs detta genom att införa en *Application Domain Extension* (ADE) [16]. Det bör dock noteras att de flesta mjukvarupaket som stöder CityGML inte stöder någon ADE alls [5]. När en UML-modell skapas för en ADE skapas är det viktigt att man följer OGC rekommendationer (eng. *best practice*) för hur detta ska utföras [27–28].

Vid uppdatering av 3CIM från ver. 1.0 till 2.0 har vi särskilt fokus på marktäckedata och vägdata, och till viss del höjdinformation. Det finns ingen specifik modul för endast marktäckedata. Istället lagras marktäckedata oftast i flera moduler t.ex. *Vegetation*, *Transport*, *Waterbody*, *Building* och *LandUse* (figur 3.1). Det finns flera utmaningar med denna ansats. En utmaning är att marktäckning ska vara en partition, dvs marktäckningarna ska täcka hela området och de får inte överlappa varandra. En annan utmaning är att

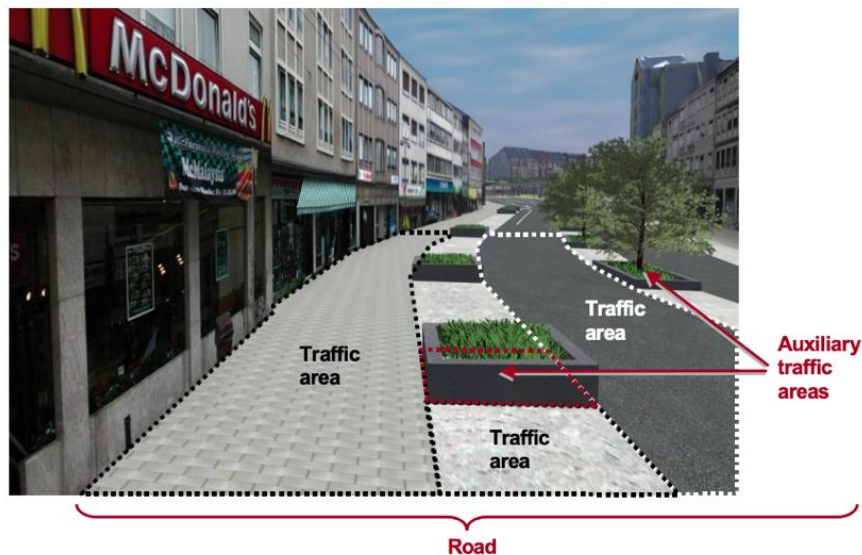
⁵ https://www.mlit.go.jp/en/toshi/daisei/content/Leaflet_en.pdf

3D objekt, som t.ex. byggnader, ska ersättas med en 2Dyta. Vanligen används här byggnadens fotavtryck som modelleras som en förslutningsyta (eng. *closure surface*).



Figur 3.1 Visualisering av marktäckobjekt i CityGML-teman LandUse, Transportation och WaterBody; de röda föremålen är förslutningsytor som representerar byggnadens fotavtryck. Källa: Lehner et al. [29, p. 529]

Temat *Transportation* i CityGML 2.0 fokuserar på att representera trafikinfrastruktur både geometriskt och semantiskt. *TransportationComplex* som beskriver hela vägrummet, alltså utrymmet mellan exempelvis husväggar eller vägrenar. Detta utrymme kan sedan kategoriseras som antingen *TrafficArea* eller *AuxilliaryTrafficArea*. *TrafficArea* är allt utrymme som utnyttjas för transport oavsett transportmedel som exempelvis körbanan, trottoaren eller cykelvägar. *AuxilliaryTrafficArea* är den resterande yta som inte utnyttjas, som exempelvis grönytor mellan körbanor (figur 3.2). I CityGML 3.0 utökas *Transportation* med klasserna *Section* och *Intersection* som förbättrar modellering av vägar [16], vilket bland annat studerats av Beil et al [30–31].



Figur 3.2. Visualisering av ett *TransportationComplex* (här representerat som sub-klassen *Road*) som är indelat i *TrafficArea* och *AuxilliaryTrafficArea* [15].

CityGML har ett höjdtema *Relief* (figur 3.10) som stödjer lagring av GRID, *Triangulated Irregular Network* (TIN), brytlinjer och höjdpunkter/punktmoln [15–16]. Det finns få exempel på praktiska tillämpningar där höjdinformation är lagrat i temat *Relief*. En av anledningarna är att höjddata lagras som *Geography Markup Language* (GML)-geometrier, vilket är utrymmeskrävande (textbaserat och med en hierarkisk filstruktur). Det finns betydligt mer effektiva lagringsmodeller som t.ex. LAS-filer (för punktmoln) och GeoTIFF (för raster/GRID). Dock erbjuder även CityGML möjlighet att lagra höjdinformation i andra teman genom att använda 2,5D- och 3D-ytor. På så vis kan t.ex. vägområden (i temat *Transport*), gröna ytor (i temat *Vegetation*), vattenytor (i temat *WaterBody*), etc. få höjdvärden, vilket utnyttjas inom detta projekt.

CityGML är en komplex standard och det finns vissa interoperabilitetsproblem [32]. För att kringgå några av svårigheterna, och den hierarkiska strukturen för XML, etablerades CityJSON [33]. CityJSON är ett JSON-baserat format för hantering och lagring av 3D-stadsmodeller enligt CityGML:s datamodell. CityJSON har utvecklats som ett mer kompakt och användarvänligt alternativ till CityGML:s XML-baserade format. Genom att utnyttja JSON, som är ett vanligt datautbytesformat på webben, blir CityJSON både mer lättläst och enklare att hantera i programmeringsutveckling. JSON:s enkla struktur möjliggör effektivare datahantering jämfört med XML, vilket är en av de stora fördelarna med CityJSON [33].

En av de centrala innovationerna i CityJSON är att den djupa hierarkin i CityGML har förenklats genom att använda en plattare struktur. I CityGML kan ett objekt som en byggnad bestå av flera delar, där varje del har egna underliggande komponenter som tak och väggar. CityJSON behåller dessa relationer men organiserar informationen på ett sätt som gör det enklare att snabbt komma åt data [33]. Dessutom erbjuder CityJSON en inbyggd mekanism för att komprimera filer genom att lagra koordinater

separat och referera till dem genom index, vilket leder till en betydande minskning av filstorleken [33].

Även om 3CIM är byggt som en ADE ovanpå CityGML 2.0 är det möjligt att få in funktionaliteten att t.ex. en 3DCityDB databas innehållande 3CIM data kan exporteras direkt till CityJSON. Vidare pågår diskussion/arbete att göra CityJSON till en formell JSON-implementation av CityGML 3.0. CityJSON har troligen en roll för 3CIM i framtiden, även om det idag inte går att säga hur denna relation blir; eventuellt kommer CityJSON att bli standardkodning för 3CIM i framtiden.

3.2 3DCityDB

3D-stadsmodeller kan lagras i filer eller databaser, där det senare är att rekommendera för stora datamängder. En databas som utvecklats för CityGML data är 3DCityDB, som finns både som en öppen källkodsvariant och som en kommersiell variant. 3DCityDB är byggt ovanpå en objektrelationell databas, antingen PostGIS eller Oracle Spatial.

På så vis implementerar 3DCityDB den konceptuella modellen i CityGML i form av ett databasschema [34]. Det går att utöka detta schema så att det även kan hantera en utökning (ADE) av CityGML, vilket möjliggör import och export av t.ex. 3CIM-data från 3DCityDB. 3DCityDB används globalt av städer såsom Haag, Zürich, Singapore och Tokyo [35].

Utvecklingen av 3DCityDB fortsätter med fokus på förbättrad ADE-hantering och stöd för framtida versioner av CityGML. Eftersom standarder och teknologier för 3D-stadsmodeller utvecklas, anpassas 3DCityDB kontinuerligt för att möta nya behov inom stadsplanering, miljömodellering och digital tvilling-teknologier. På grund av sin öppna källkodsstruktur och aktiva utvecklare har 3DCityDB blivit en central plattform för hantering av komplexa 3D-stadsmodeller. Dess fortsatta uppdateringar och engagemang säkerställer användare att applikationen kommer att ajourhållas och fortsätta att utvecklas (3DCityDB, u.å.).

3.3 Nationella specifikationer

Lantmäteriet i samarbete med Boverket, andra statliga myndigheter och regioner/kommuner arbetar med att standardisera geodata på nationell nivå för att underlätta datautbyte av geodata mellan olika aktörer. Detta arbete inbegriper att ta fram ett övergripande ramverk för informationsarkitekturen (t.ex. vilka geometrier som ska tillåtas och hur man beskriver metadata) och att skapa nationella specifikationer för olika geodatamän (t.ex. byggnader). Arbetet med att ta fram nationella specifikationer utförs till stor del inom projektet Smartare Samhällsbyggnadsprocess.

Flera teman i dessa nationella specifikationer (NS) är av intresse för en 3D-stadsmodell. Arbetet med de nationella specifikationerna är dock i ett tidigt skede och endast ett tema med beröring till stadsmodeller har färdiga specifikationer: byggnader. Byggnadstemat i den nationella specifikationen är inte baserat på CityGML. Ett skäl är att de nationella specifikationerna ska stödja ett brett spektrum av tillämpningar för många aktörer (Lantmäteriet, Boverket, Skattemyndigheten, kommuner/regionala,

etc.) alla med specifika krav på det semantiska innehållet i byggnadsspecifikationerna. Att införliva en sådan komplex modell i CityGML skulle innebära en omfattande ADE. Vidare är de nationella specifikationerna skrivna på svenska, vilket medför problem för t.ex. de obligatoriska attributen i CityGML. Det finns dock en ambition att de nationella specifikationerna ska harmoniseras med CityGML i den meningen att det ska vara enkelt att konvertera mellan de olika informationsmodellerna. I praktiken innebär detta att objektstrukturen, attributvalen och geometridefinitionerna i de nationella specifikationerna måste synkroniseras med CityGML, samt att både NS och 3CIM baseras på samma mättningsanvisningar.

Under tiden detta projekt har pågått har personer från flera av projektets parter varit inblandade i arbetet med att ta fram nationella specifikationer för dels marktäckte & markanvändning och dels för höjdrelaterade specifikationer (*GRID, Punktmoln* och *Brytgeometrier*). Dessa specifikationer har ett intresse för den praktiska tillämpningen av 3CIM, t.ex. bör 3CIM:s kodlistor för marktäckte och markanvändning vara baserade på NS.

3.4 Andra forsknings- och innovationsprojekt

3CIM-projektet har samverkat med flera andra forsknings- och innovationsprojekt.

Interoperabilitet – Digital samverkan för den byggda miljön (finansierat av Smart Built Environment). Detta projekt har använt 3CIM-data (i Kista) för att bygga upp sin kunskapsgraf.

Öka potentialen för solenergi- och bullersimuleringar vid planering av stadsförtätningar (finansierat av Formas). Projektet har delat studieområdet i Bellevue i Malmö med 3CIM, och har samverkat med uppbyggnad av testdata. Simuleringsprojektet har bl.a. skapat de marktäckedata som senare utvärderats inom 3CIM-projektet.

Nationella specifikationer för storskaliga geodata (finansierat av Smart Built Environment). Detta projekt syftade till att ta fram nationella specifikationer för höjdatemat. Det har använt samma testområde i Malmö som 3CIM-projektet. De höjddata som använts inom detta 3CIM-projekt har tagits fram inom NS höjddataprojektet.

Ramverk och leveransspecifikationer för utbyte av BIM- och geodata mellan plan- och byggprocesserna (finansierat av Smart Built Environment). Detta projekt kommer att starta upp när 3CIM – implementation och etablering avslutas. Projektet syftar till att ta fram specifikationer för utbyte av BIM- och geodata inom samhällsbyggandet, där 3CIM-modellen kommer att användas för geodata.

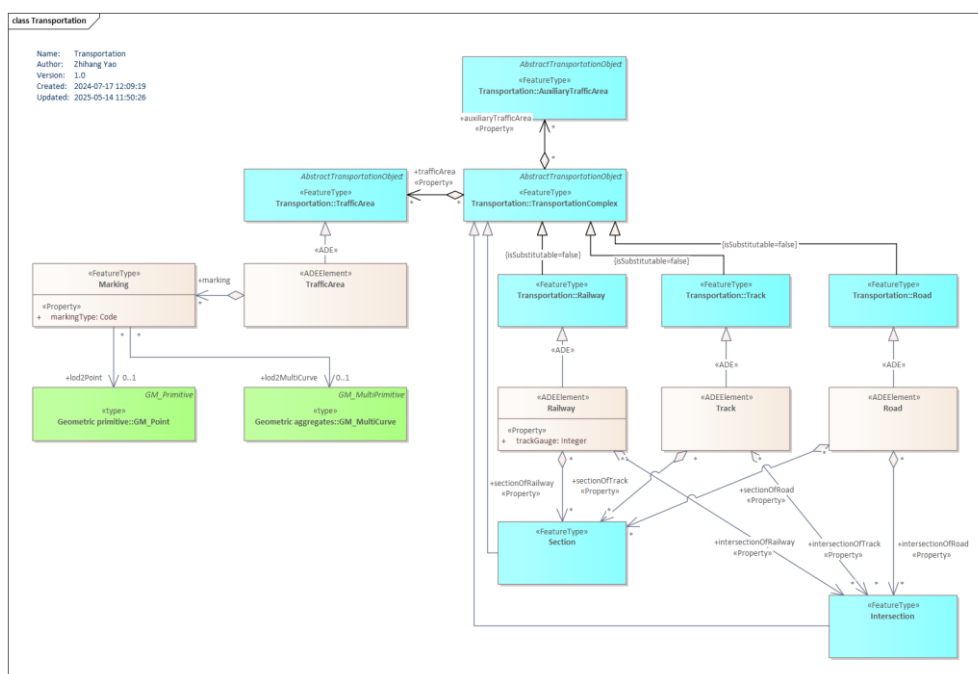
4 Resultat

4.1 Utveckling av 3CIM:s informationsmodell

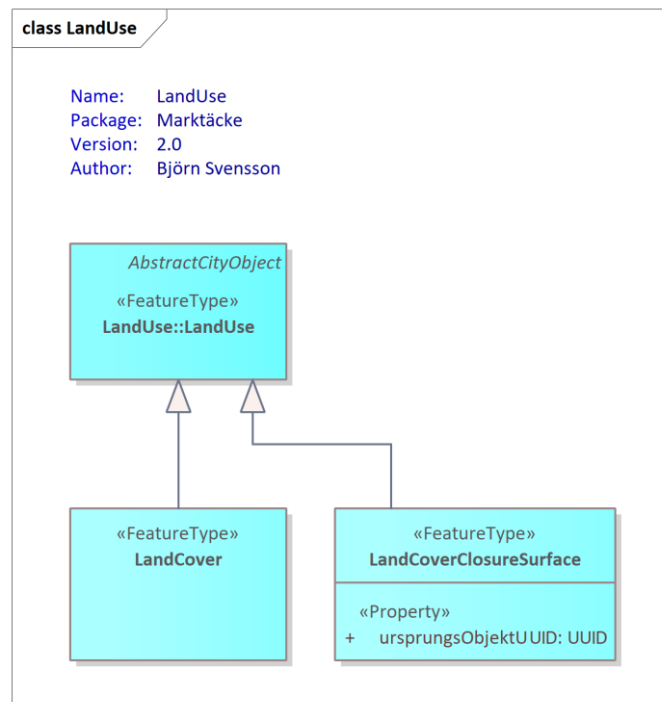
I projektet har vi utvecklat en informationsmodell 3CIM 2.0, som en utvidgning (ADE) av CityGML 2.0. De moduler som ingår i ADE:n är den övergripande modulen *Core* samt de tematiska modulerna *Bro*, *Byggnad*, *Markanvändning*, *Markdetaljer*, *Transport*, *Tunnel*, *Vatten* och *Vegetation*. Vidare introducerar 3CIM en ny modul som inte ingår i CityGML: *Ledningsnät*.

En detaljerad beskrivning av informationsmodellen 3CIM ver. 2.0 finns i ett separat dokument *3CIM ver. 2.0 – Beskrivning* som finns tillgängligt på projektets GitHub, se länk nedan. Informationsmodellen är definierad som UML-modeller (se exempel i figur 4.1 och 4.2) för respektive tema. Hur denna modellering praktiskt är utförd finns beskrivet i dokumentet *Instruktioner UML modellering och ShapeChange* som också finns på GitHub. Som komplement till informationsmodellen finns även kodlistor framtagna.

Informationsmodellen och kodlistor finns tillgängliga på projektets GitHub-sida (<https://github.com/3CIM/3CIM2.0/>) under en CC0-licens.



Figur 4.1 UML-modell för 3CIM ver. 2.0 för modulen *Transport*.



Figur 4.2 UML-modell för 3CIM ver. 2.0 för modulen *Marktäcke* (*LandUse*).

4.2 Utveckling av teknisk miljö för lagring av 3CIM-data

För att implementera den nya 3CIM 2.0 informationsmodellen i verksamheterna krävs en bra miljö för att lagra 3CIM-data. Vi valde att använda den objektrelationella databasen 3DCityDB⁶ [34] som är en påbyggnad på de spatiala databaserna PostGIS och Oracle Spatial. 3DCityDB är en internationellt sett en vanlig lagringsmiljö för CityGML-data och finns både som öppen källkod och som en kommersiell produkt.

Inom projektet har Virtual City Systems⁷ utvecklat 3DCityDB för att hantera 3CIM 2.0. Denna utveckling möjliggör lagring samt import och export av 3CIM-data i formaten CityGML2.0, CityJSON1.0, KML, COLLADA, glTF och CSV. En detaljerad användarguide för hantering av 3CIM-data i 3DCityDB som leder användaren genom alla steg från installation till visualisering finns separat tillgängligt på projektets GitHub-sida.

⁶ <https://www.3DCityDB.org/3DCityDB/>

⁷ <https://vc.systems/en/>

4.3 Implementation av 3CIM i städerna

4.3.1 Malmö

Implementation av informationsmodellen

Malmö har sen första 3CIM-projektet arbetat med dataförsörjningsprojekt för kommunens geodata. Genom interna projekt har man identifierat områden för förbättring, och möjligheter att anpassa Malmös grunddata till att mer efterlikna 3CIM-struktur eller de nationella specifikationerna. Malmö ser stor nytta av 3CIM och dess informationsmodell, och har ambition att implementera en stor del av informationsmodellen på längre sikt.

Databasmodellering för NS-byggnad

Under hösten 2024 anlidade Malmö en konsult som skulle ge rådgivning om vägval, samt bygga en databas anpassad för NS-byggnad. Konsulter från företaget Sweco gjorde ett tidigt vägval att inte följa 3CIM med anledning av att det ansågs vara ett för stort teknikskifte att gå från en SDE-databas till 3DCityDB som verktyg för kommunen i dagsläget. Det ska också tilläggas att utvecklingen av 3DCityDB-verktyg för 3CIM påbörjades först efter att Sweco hade levererat sitt arbete. Då 3CIM följer NS-byggnad till stor del, så ska det inte vara för stor skillnad mellan de två informationsmodellerna.

Av olika anledningar så har arbetet stannat upp, och det har inte funnits möjligheter att arbeta vidare med den under första halvåret 2025. Däremot finns det en plan för verksamheten att starta upp arbetet igen när kapaciteten tillåter det.

Ajourhållning

Installation av ett flertal instanser av 3DCityDB har gjorts på en internt tillgänglig POSTGIS databas med alla tillhörande rekommenderade tillägg. Dessa uppdaterades under våren 2025 för att inkludera uppdateringar till Importer/Exporter verktyget (5.5.1) och ADE Manager Plugin (2.3.2) som krävs för att stödja den senaste versionen av 3CIM ADE.

Möjligheten till ett smidigt arbetsflöde för ajourhållning och delning data är nödvändigt för att använda 3DCityDB i praktiken. Därav undersöktes både automatiseringsmöjligheterna och integration mot stadens interna kartor för att tillgängliggöra data för slutanvändaren.

I det automatiserade flödet, via CLI, är det möjligt att utföra alla operationer som 3DCityDB erbjuder. Detta effektiviserar arbetsflödet avsevärt, särskilt där uppdateringar eller batch-hantering av data behövs (Lökholt, 2025). Se avsnitt 4.3.1.1 för mer detaljer om studien.

I ovanstående nämnt flöde inkluderades även ytterligare parametrar för att, möjligtvis i framtiden, kunna integrera detta i Malmö Stads kartverktyg. I karttjänsten kan valfri geometri ritas över området som önskas exporteras. Implementationen av detta har inte utförts praktiskt men då liknande flöden redan existerar anses implementationen inte vara ett problem.

4.3.1.1 Examensarbete: Integration av 3DCityDB

Malmö hade en examensarbetare under våren 2025 (Lökhholm, [38]) som tittade på integrationen 3DCityDB, och arbetsflödet för att uppdatera testdata med hjälp av 3DCityDB. Lökhholm lyfter komplexiteten i implementationen av CityGML 2.0 i jämförelse till CityGML 3.0, där implementationen av CityGML 3.0 lyfts fram som en mer lämplig datamodell att använda sig av för kommuner. Det lyfts också fram att CityGML 3.0 inte är helt färdig, och kommer möjligtvis ta lång tid att bli det.

Observationer gjordes att Malmö redan har systematik för att jobba med 3D-data för byggnader, men inte genom att använda sig av filformat CityGML. Däremot ser Lökhholm en nytta med användningen av 3DCityDB för vissa specifika arbetsflöden i framtiden för Malmö.

Lökhholm lyfter fram bristen på användarvänlighet och svårigheten att implementera en så komplex struktur, som 3DCityDB består av, i Malmös dagliga verksamhet för geodata. Det poängteras däremot att det kan vara relevant att använda som en leveransdatabas, för att möjliggöra för andra verksamheter, och externa aktörer att hämta ut data.

I nuläget anser Malmö att andra format än CityGML är mer användbara för nuvarande behov. 3CIM-modellen, som är baserad på CityGML-informationsmodell, är något som Malmö jobbar med att implementera på olika sätt, men kommer ta tid. För att undvika missförstånd om 3CIM är det viktigt att särskilja på CityGML som filformat och som informationsmodell.

4.3.2 Göteborg

I Göteborg installerades tidigt i projektet en lokal 3DCityDB instans för att kunna göra tester med 3CIM 1.0 data. Testernas resultat och eventuella fel dokumenterades och diskuterades i arbetsgruppen med de andra kommunerna.

I senare skede sattes det upp en 3DCityDB instans på en av kommunens servrar. Denna instans användes vidare för att göra tester med import och export av data. Efter att 3CIM 2.0 informationsmodellen var klar uppdaterades Importer/Exporter verktyget av Virtual City Systems. I samband med detta kompletterades den befintliga 3DCityDB instansen med ett nytt schema för 3CIM 2.0 där testerna fortsatte.

Detaljerade tester genomfördes med stort fokus på temana Building och Transportation. Temat Building är av särskilt intresse då det används för tester i processen för framtagning av stadens digitala tvilling. Kopplad till detta inkluderades ett antal byggnadsattribut i 3CIM 2.0 informationsmodellen som tillsammans med LOD 0.1 footprints och LOD 2.3 takpolygoner används i digitala tvillingen. Detta gör det möjligt att använda 3CIM-data också för parametrisk modellering av byggnader, som komplement till att använda lagrade 3D-geometrier.

För utvärdering av testresultat (resultat från dataexporter i CityGML format) användes olika verktyg såsom KITModelViewer och CityGML doctor som är open sourceprogram speciellt utvecklade för CityGML data.

4.3.3 Stockholm

Stockholm har under projekts gång installerat flera versioner av 3DCityDB och Importer/Exporter för att testa både 3CIM:s ADE och att inrapporterade buggar som har lösts fungerar.

Implementation i Stockholm har inkluderat installation av 3DCityDB och 3CIM ADE i två omgångar, en för en tidigare version och en för senaste version av PostgreSQL och PostGIS. Övriga moduler som rekommenderas i 3DCityDB dokumentation installerades också.

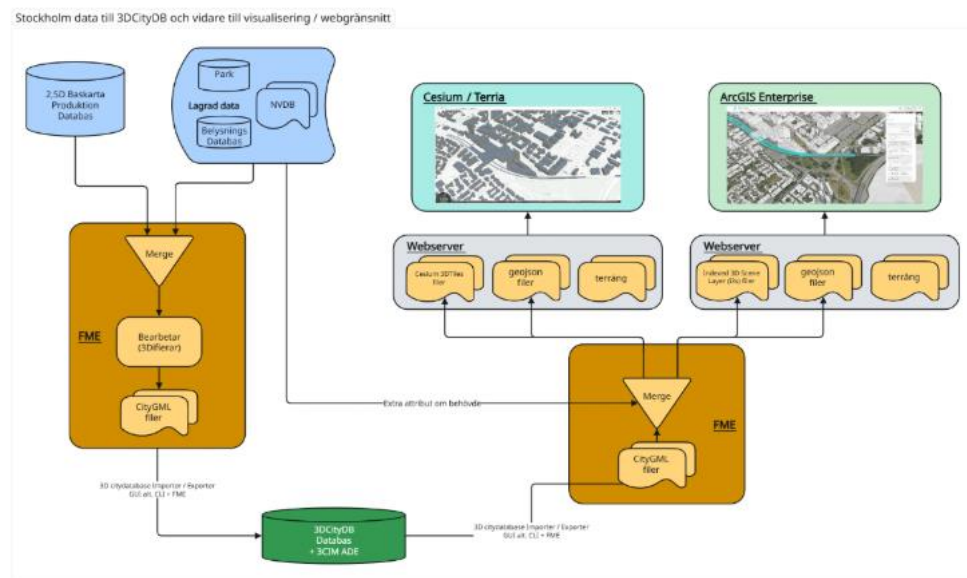
I projektets slutfas har Stockholm uppgraderat till den senaste versionen av 3DCityDB-suite, v2024.0.2 som finns på 3DCityDB projekt Github sida⁸. Denna version inkluderar följande komponenter 3DCityDB version 4.4.2, Importer/Exporter version 5.5.1 (stödjer 3CIM:s ADE) med ADE Manager Plugin version 2.3.2. Dessa versioner är ett krav för att 3CIM:s ADE kan installeras i 3DCityDB samt att importer/exporter har stöd för 3CIM2.0 ADE.

Utöver detta har Stockholm installerat den QGIS plugin *3DCityDB Tools* som utvecklats av TU Delft, detta för att kunna läsa geometri och attribut direkt från databasen. Detta kräver att PostgreSQL databasadministratören installerar den "serverside" delen av plugin så att QGIS har behörighet att läsa ifrån databasen. 3DCityDB Tools är utvecklat att läsa 3D City Database relationsdatabasschema - 3DCityDB. QGIS kan läsa enskilda tabeller i PostGIS databasen, men 3DCityDB Tools gör anrop till de många olika tabeller som finns, så att alla geometrier och attribut laddas in i QGIS vyn för valt tema, featureklass och LOD. Stockholm har inte i lagt alltför mycket tid på att utvärderat detta verktyg och möjliga funktioner som finns, det ska finnas möjlighet för attributredigering, men inget stöd för att hantera ADE:er.

Stockholm har succesivt fyllt på 3DCityDB med data från olika moduler samt exporterat data ut till 3CIM CityGML filer, som i tur har konverterats till GeoJSON eller 3DTiles format för testvisualisering i Cesium och Terria plattformar. Konvertering har också skett till Esri SceneLayer (I3S) och File Geodatabase format för testning i ArcGIS Enterprise.

FME har använts till skrivning av alla format, både 3DTiles och I3S har använts för 3CIM ytor och solid objekt, GeoJSON och Geodatabase har använts för punkt- och linjeobjekt, alla format stödjer attribut.

⁸ <https://github.com/3dcitydb/3dcitydb-suite/releases/tag/v2024.0.2>



Figur 4.3 Visualisering av dataflöde för 3CIM-data i Stockholm

Då Stockholm har ett pågående projekt för att införa en ArcGIS Enterprise-plattform som stadsövergripande geodataplattform är planen på något års sikt att skapa en databas där utifrån 3CIM:s informationsmodell och använda den som grunden för gemensam geodata i staden. Ett möjligt alternativ är att lagra data i 3DCityDB men konsumera den i ArcGIS-plattformen. Ajourhållningen kommer fortsatt, under överskådlig tid, att ske separat och data därifrån kommer kontinuerligt att flyttas över och struktureras enligt 3CIM-modellen i den gemensamma miljön.

4.4 Praktiska studier

4.4.1 Markdetaljer (City Furniture) – punktojekt

En studie genomfördes där två representationer av markdetaljer utvärderades: *LOD3 - ImplicitGeometry* och *LOD1 - punkter med attribut som beskriver utbredning (width & relativeHeight)*.

LOD3 - ImplicitGeometry

ImplicitGeometry kan kort sägas vara att man bäddar in en 3D-objektmodell i CityGML-filen som i sin tur blir nedlagrad i 3DCityDB. Då de distribueras till en annan plattform eller användare får de desamma 3D-objektmodeller som producent har använt.

Vid testning med belysningsstolpar läses i FME en objektmodell in i *Sketchup* format som anses vara i ett lokalt koordinatsystem med mittpunkten av objektet (på underkant av modellen) som $N=0$, $E=0$ och $H=0$. I FME sätts denna geometri till en

SharedItemAdder och slås samman (eng. *merge*) med punktdata som från Stockholms Trafikkontor belysningsmontage databas. Sedan skalas och placeras dessa objektmodell i en 4x4 transformationsmatrix

```
1 0.0 0.0 @Value(_x)
0.0 1 0.0 @Value(_y)
0.0 0.0 @Value(Höjd över marken) @Value(_z)
0.0 0.0 0.0 1
```

Figur 4.4 4x4 transformationmatrix uppbyggnad i FME - @Value (Höjd över marken) är relativhöjd värden av stolpen (källa: Stockholms stad).

I exemplet med belysningsstolpar vill man inte att Sketchup-stolpmodellen ska skalas i x- och y-led, därav siffran 1 i dessa rader. Sketchup-stolpmodellen ska bara skalas i z-led. Sista raden hanterar rotationen av objektet, i detta exempel har ingen rotation beräknats eftersom Sketchup-stolpmodellen var en enkel rak (multikant) stolpe.

Resultatet blir att insättningskoordinat skrivs i en transformationsmatrix i 3CIM CityGML- filer, och en geometriinstans (alla koordinater till ingående polygoner av stolpen) skrivs i filen bara en gång.

```
<core:cityObjectMember>
  <gen:GenericCityObject gml:id="STHLM_TK_BRLYS_13185471_13386772_1_LOD3">
    <gml:description>Belysningsstolpe</gml:description>
    <core:externalReference>
      <core:informationSystem>Stockholm belysningmontage Montage_ID</core:informationSystem>
      <core:externalObject>
        <core:name>R015:174</core:name>
      </core:externalObject>
      <core:externalReference>
        <core:informationSystem>Stockholm belysningmontage Montage_ID</core:informationSystem>
        <core:externalObject>
          <core:name>R015:174</core:name>
        </core:externalObject>
      </core:externalReference>
      <trcim:metodIdHojdTyp>Okänd</trcim:metodIdHojdTyp>
      <trcim:metodIdPlanTyp>Okänd</trcim:metodIdPlanTyp>
      <trcim:tidpunktFotKontrollGeometri>2017-05-11T01:29:00</trcim:tidpunktFotKontrollGeometri>
      <trcim:tidpunktFotLageBestanning>2017-05-09T00:00:00</trcim:tidpunktFotLageBestanning>
      <gen:class codeSpace="https://github.com/3CIM/Public-files/blob/main/kodlistor/CityFurniture/CityFurniture_class.xml">50000</gen:class>
      <gen:function codeSpace="https://github.com/3CIM/Public-files/blob/main/kodlistor/CityFurniture/CityFurniture_function.xml">51601</gen:function>
      <gml:ImplicitGeometry>
        <core:ImplicitGeometry>
          <core:transformationMatrix>1 0.0 0.0 145893.19550633
          0.0 1 0.0 6588070.99538267
          0.0 0.0 0 45.49946350823621
          0.0 0.0 0.0 1
        </core:transformationMatrix>
      </gml:ImplicitGeometry>
      <core:relativeGMLGeometry>
        <gml:MultiGeometry gml:id="FME_GeometryInstance0" srsName="EPSG:3011" srsDimension="3">
          <gml:geometryMember>
            <gml:MultiGeometry>
              <gml:Polygon gml:id="fme-gen-f142e8c1-b7a7-4fa5-8d3f-e100df19367">
                <gml:exterior>
                  <gml:LinearRing>
                    <gml:posList>0 -0.05 0 0.017 -0.047 0 0.017 -0.047 1 0 -0.05 1 0 -0.05 0</gml:posList>
                  </gml:LinearRing>
                </gml:exterior>
              </gml:Polygon>
              <gml:Polygon gml:id="fme-gen-88d95733-d434-4699-a423-0fbcb4490b7">
                <gml:exterior>
                  <gml:LinearRing>
                    <gml:posList>-0.017 -0.047 0 0 -0.05 0 0 -0.05 1 -0.017 -0.047 1 -0.017 -0.047 0</gml:posList>
                  </gml:LinearRing>
                </gml:exterior>
              </gml:Polygon>
            </gml:MultiGeometry>
          </gml:geometryMember>
        </gml:MultiGeometry>
      </core:relativeGMLGeometry>
    </gen:GenericCityObject>
  </core:cityObjectMember>
```

Figur 4.5 Import av ImplicitGeometry CityGML filer till databasen, då lagras dessa LOD3-objekt i sin egen tabell – Implicit Geometry.

LOD1 - punktgeometri

Ett alternativ till *ImplicitGeometry* är att använda LOD1 punktgeometri och då hantera den 3D-objektmodell i en slutvy/visualiseringsprodukt. Dessa plattformar har utvecklats att hantera implicit geometri modeller på ett eget specifikt sätt, som är optimerat för just denna plattform.

FME skript är då lättare att skapa och kräver ingen översättning mellan olika mätsystem (meter/tum) eller kontroll av 3D-objektmodellinsättningspunkt eller beräkning av rotationen av 3D-modellen gentemot aktuella rotation av objektet i verkligheten.

Dessa punktobjekt kan då skrivas i samma 3CIM CityGML fil som övriga objekt och då landa i samma tabell som övriga linje- och ytoobjekt.

```

10 <<core:cityObjectMember>
11 <fzn:CityFurniture gml:id="ID_ab25d9ae-5658-50e4-96a8-be63626275fe_LOD1">
12 <gml:description>Belysningsstolpe</gml:description>
13 <core:creationDate>2025-09-05</core:creationDate>
14 <core:externalReferences>
15 <core:informationSystem>Stockholm_belysningmontage_Montage_ID</core:informationSystem>
16 <core:externalObject>
17 <core:name>B011:109</core:name>
18 </core:externalObject>
19 </core:externalReferences>
20 <core:relativeToTerrain>substantiallyAboveAndBelowTerrain</core:relativeToTerrain>
21 <trcim:methodIDType>Okänd</trcim:methodIDType>
22 <trcim:methodIDPlanType>Okänd</trcim:methodIDPlanType>
23 <trcim:objectUID>ab25d9ae-5658-50e4-96a8-be63626275fe</trcim:objectUID>
24 <trcim:versionID></trcim:versionID>
25 <fzn:class codeSpace="https://github.com/3CIM/3CIM2.0/blob/main/kodlistor/CityFurniture/CityFurniture_class.xml">50000</fzn:class>
26 <fzn:function codeSpace="https://github.com/3CIM/3CIM2.0/blob/main/kodlistor/CityFurniture/CityFurniture_function.xml">51601</fzn:function>
27 </core:externalObject>
28 <trcim:lodGeometry>
29 <gml:Point srsName="EPSG:31466" srsDimension="3">
30 <gml:pos>45956.4174 6388210.9061 41.6091</gml:pos>
31 </gml:Point>
32 </trcim:lodGeometry>
33 <trcim:cityFurnitureRelativeHeight>4</trcim:cityFurnitureRelativeHeight>
34 </fzn:CityFurniture>
35 </core:cityObjectMember>

```

Figur 4.6 Import av 3D-punktobjekten med attribut till databasen.

Rekommendationen är att om rotationen av det verkliga objektet är känd eller kan beräknas så lagras det som en GenericAttribut "cityFurnitureRotation".

Rekommendation

Projektet rekommenderar användning av LOD1 – punktgeometri för markdetaljer, istället för lagring av implicit geometry-modeller.

4.4.2 Markdetaljer (CityFurniture) – linjeobjekt

En studie genomfördes där olika representationer av markdetaljer utvärderades: LOD1 – 3D-linje, LOD2 – Yta och LOD2 – Volym för att utvärdera vilken variant eller varianter som är mest lämpat att ta fram och lagra.

3CIM markdetaljer kan lagras i fyra olika LOD-nivåer enligt tabellen nedan.

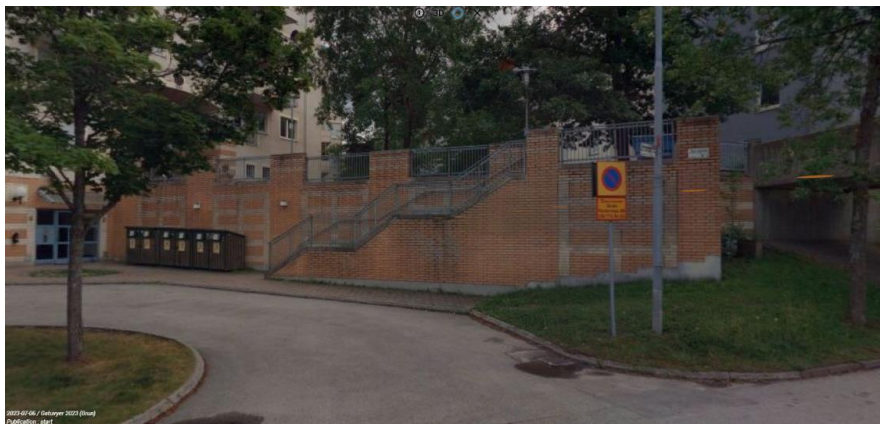
LOD0	LOD1	LOD2	LOD3
3D-punkt	3D-punkt med attribut som beskriver utbredning (width & relativeHeight)	Yta	ImplicitGeometry
3D-linje	3D-linje med attribut som beskriver utbredning (width & relativeHeight)	Volym	

Tabell 4.1 Tillåtna representationer av markdetaljer i olika LOD-nivåer i 3CIM.

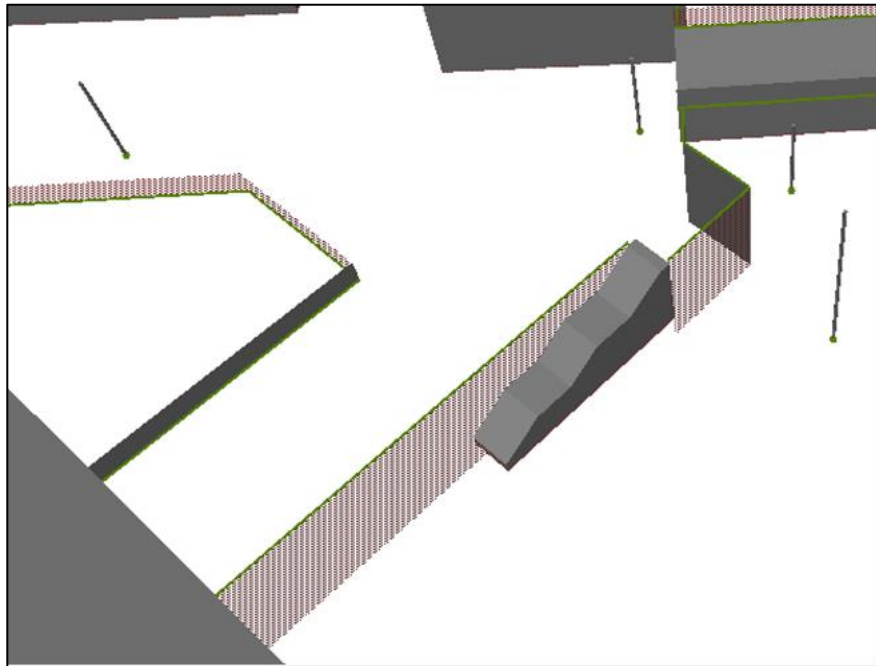
CityGML formatet och 3CIM tillåter att samma fysiska-objektet kan tas fram och lagras i flera LOD-nivå för olika tillämpning. Det kan anses från ovan tabell att en stödmur eller staket kan lagras då som LOD1 eller LOD1 3D-linje som är anpassat för den klassisk "top-down-vy" karta, och en variant av LOD2 för bruk i 3D-yver och olika analys, t ex skyfall- eller avrinningsanalys.

Enligt Svensk Geoprocess (SGP) Mätanvisningar ska stödmur/staket karteras i objektets överkant, Stockholm lagrar i befintlig baskarta stödmur i överkant och det är dessa företeelser som har använts för testning.

Stödmur i Stockholms datamängd anges då som LOD1 i 3CIM, eftersom det är ett 3D-linjeobjekt. Stockholms datamodell stödda lagring av utbredning (width) men det finns sällan värde angett. FME användes till att skapa både LOD2 Yta (en vertikal yta) och LOD2 Volym objekt baserat på fiktiva width och relativhöjd för stödmur, innan utskrift till 3CIM CityGML. För terrängtrappa har FME använts att skapa LOD2 Volym innan utskrift till 3CIM CityGML.



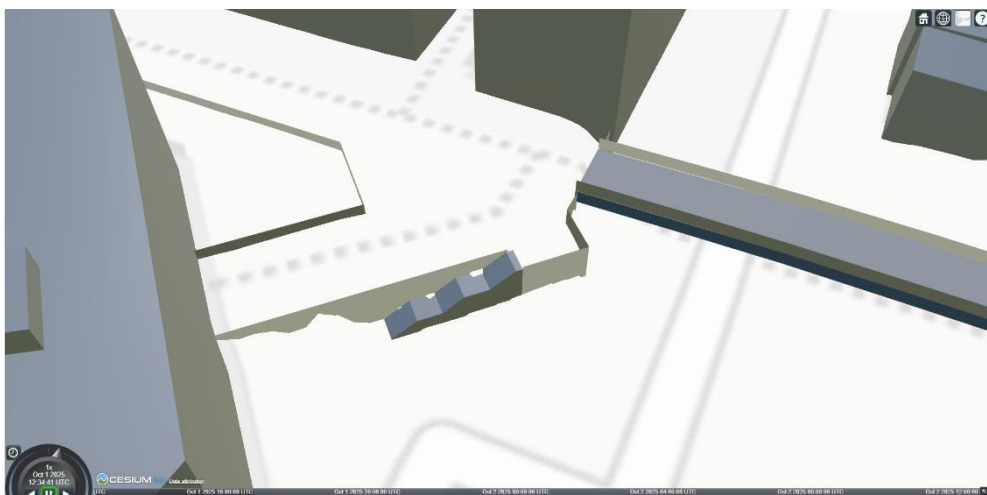
Figur 4.7. Stödmur, trappor och staket i verkligheten i stadsdelen Kista. Källa: Stockholms stad



Figur 4.8. Bild sett i FME Inspector av LOD1 geometri i tema CityFurniture i grön, finns båda LOD1 3D-punkt och 3D-linje. LOD2 Yta – rödstreckade ytor är staket (med grönlinje på botten) eller stödmur (med grönlinje på toppkant). I bilden syns en trappa representerat som en LOD2 Volym. Källa: Stockholms stad

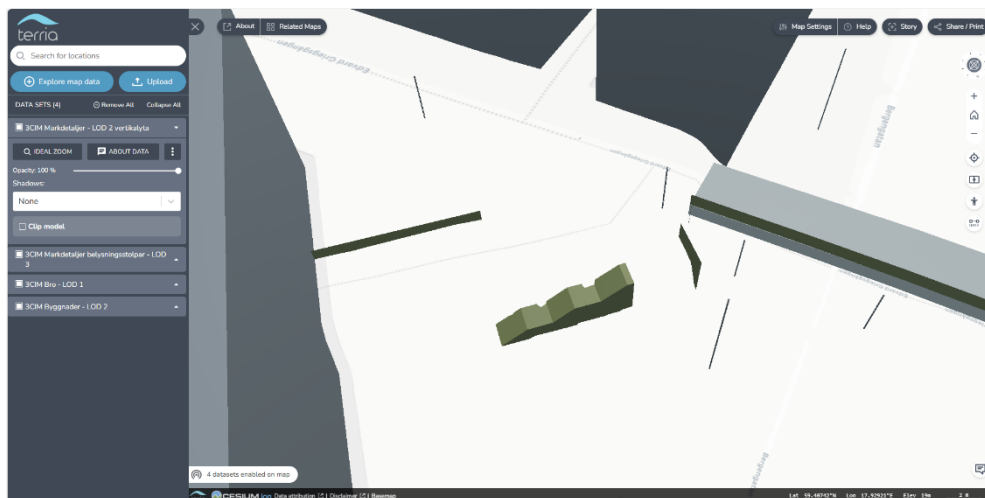
Vilken variant av LOD2 geometri som tas fram och lagras i sin databas beror på vilken visualiserings plattform data till slut ska visas i.

Vid testvisualisering i en ren Cesium-viewer kunde man koda att styra att ignorera den negativ normalsida av den vertikala yta som syns som rödstreckad i figur 4.8 ovan. Då var båda sidor av den vertikala ytan grå.



Figur 4.9. Tema CityFurniture LOD2 Ytor visualiserad i en ren Cesium webapplikation.

Vid testvisualisering i Terria (som använder Cesium som motor) kunde samma teknik inte användas att styra normal-inställningar som i vanlig Cesium och då syntes inte vertikala ytor när vyn roterats till baksidan (negativ normal) av dessa ytor.



Figur 4.10. Tema CityFurniture LOD2 Ytor visualiserad i Terria webapplikation.

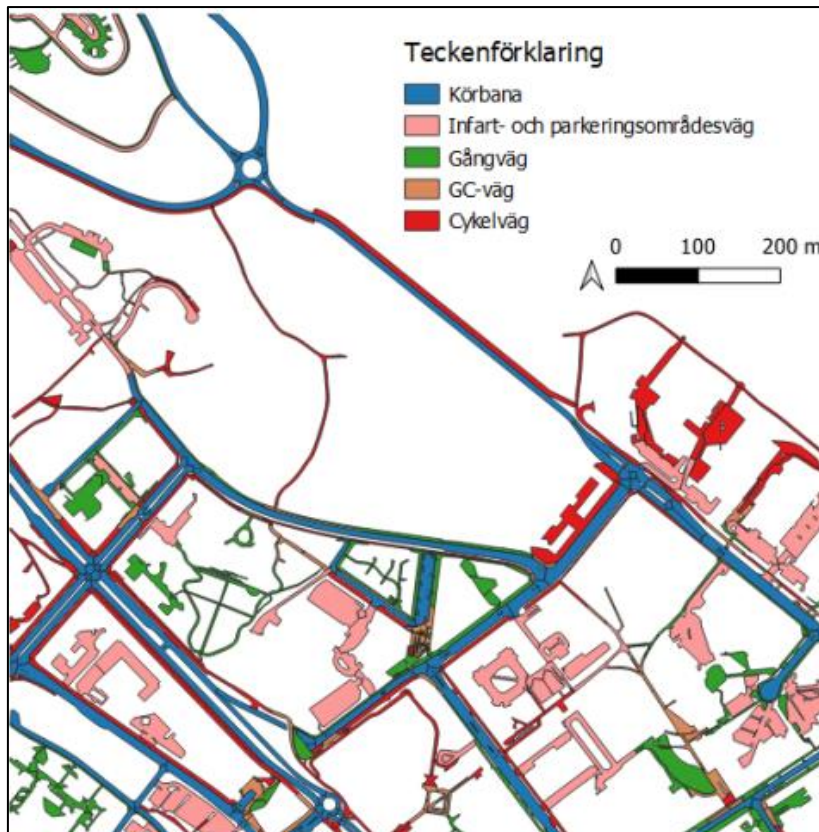
Rekommendation

Projektet rekommenderar användning av LOD2 geometri utefter vad visualiseringsplattformen bäst kan hantera. Om plattformen är en top-down viewer så rekommenderas att LOD1 3D-linje med attribut lagras, för plattform som hanterar vektornormaler så rekommenderas LOD2 Ytor. Lagring av LOD2 Volym resulterar i större filer och databaser och då ska dessa lagras i mån av behov och om plattformen inte kan hantera vektornormaler.

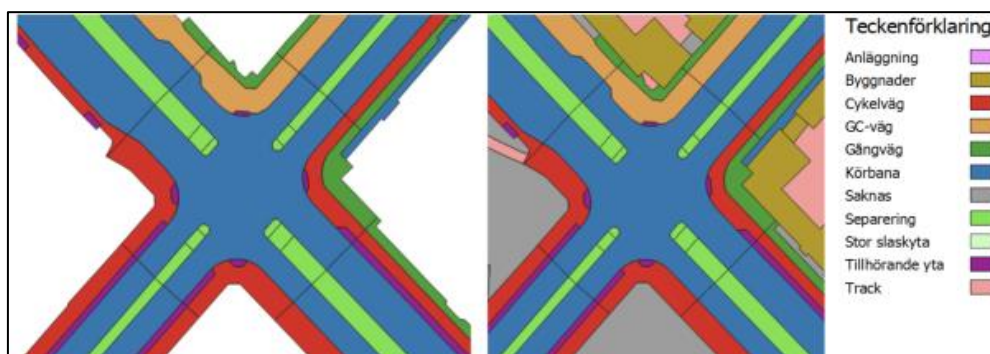
4.4.3 Transport

Tematiska modulen *Transport* har varit en av de mer avancerade modulerna att hantera inom 3CIM CityGML. Ett skäl till detta har varit att det ska gå att göra en koppling mellan 3CIM Transport och vägdata-baser (t.ex. NVDB) på objektnivå. Det gör i sin tur att objektstrukturen i Transport måste anpassas till hur länkar och noder är definierade i vägdata-baser. För att underlätta denna koppling har 3CIM ver 2.0 fått en del koncept tillagda från CityGML 3.0, främst gäller det objektklasserna *Intersersection* och *Section* och skrivning av den korrekta filstrukturen från FME.

I Stockholms fall finns det inget underlag av heltäckande ajourhållna transporttytor och Lunds universitets examensarbetare Justin Hellsten har därför skapat en serie av FME skript att ta fram vägytor i LOD2 utifrån geometri från Stockholms Baskarta och NVDB. Vidare information om denna process finns beskrivet i [37].



Figur 4.11. Sammanlagd bild för samtliga ytor över testområdet. Källa: Hellsten [37]



Figur 4.12 Producerade korsning- och sektionsgeometrier för en korsning i träningsområdet. Källa: Hellsten [37]

Göteborg har utgått från LOD3-indelade geometrier och utvecklat en FME-process att skapa korsningar (*Intersections*) och vägvavsavsnitt (*Sections*).

Vidare har Göteborg och Stockholm samverkat med den konceptuella processen att skriva LOD1 och LOD2 / LOD 3 geometri enligt 3CIM 2.0 från FME.

Mer detaljerad information finns i Användarguide - Implementering och utveckling av 3CIM2.0, del 3.5.5.

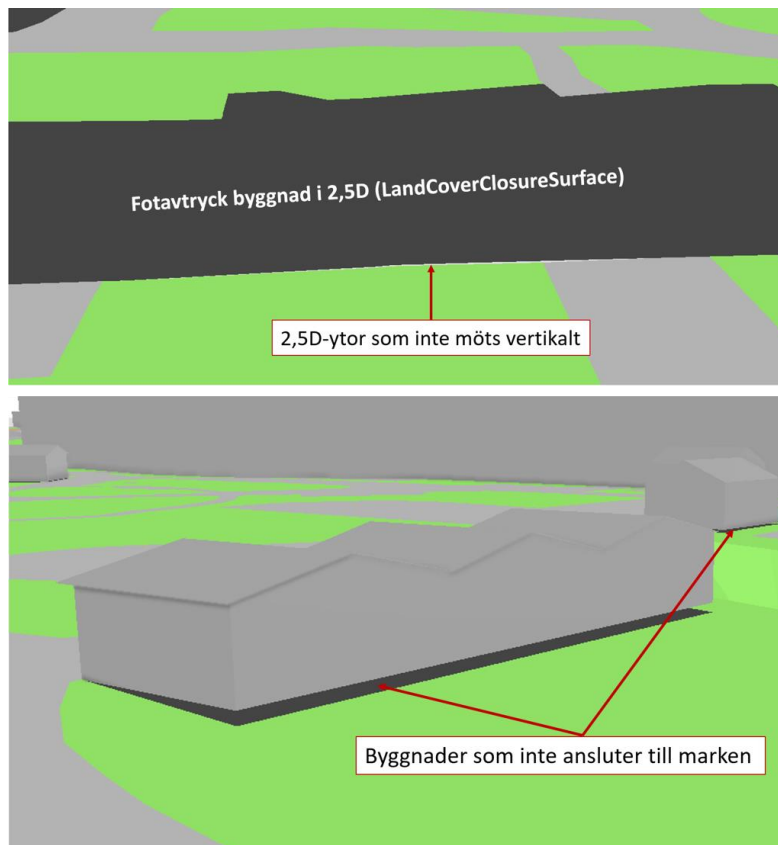
Rekommendation

Den generella rekommendationen baserade på denna studie är att ett skikt *Intersections* finnas som en del av kommunens grunddata, geometriskt bestämda efter egna verksamhetsregler för vad ingår i i korsning, t.ex. om övergångstället i en flervägs korsning är en del av vägsegmentet eller korsningen

4.4.4 Marktäcke och höjd

Marktäckedata beskriver materialet på markytan (t.ex. gräs eller asfalt) och ska inte förväxlas med markanvändningsdata, som beskriver hur en markyta utnyttjas (t.ex. park eller fotbollsplan). Marktäckedata ska vara en partition, vilket innebär att dess ytor ska täcka hela området och att det inte får finnas någon överlappning mellan ytorna. CityGML innehåller ingen specifik modul för enbart marktäckedata; det finns en modul *LandUse* för både marktäcke- och markanvändningsdata men om en partition av marktäcke lagras i *LandUse* modulen innebär det redundans eftersom marktäcke även lagras i flera andra moduler som *Transport* och *Vegetation*. Ett alternativ är att lagra marktäckedata i flera moduler och kombinera data från dessa moduler för att skapa en partition. Till exempel kan gräsbevuxna områden sparas i modulen *Vegetation*, vägytor i modulen *Transport* (som *surfaceMaterial*) och vattenytor i modulen *Vatten*. De marktäcketyper som inte passar in i någon av de andra CityGML modulerna kan modelleras i modulen *LandUse* (som marktäckedata). Denna metod har testats inom 3CIM-projektet där man även identifierat vilka marktäcketyper som bör modelleras i modulen *LandUse*.

Inom CityGML kan höjddata lagras i *Relief*-modulen representerad som GRID, *Triangulated Irregular Network* (TIN), brytlinjer och punktmoln. Denna modul används dock sällan i praktiska implementeringar. En anledning är att höjddata i *Relief*-modulen lagras som *Geography Markup Language* (GML)-geometrier, vilket är platskrävande; det finns betydligt effektivare lagringsmodeller som LAS-filer för punktmoln och GeoTIFF för GRID. Dessutom har TIN-representationen i *Relief*-modulen vissa begränsningar [26]. Effektivare TIN-strukturer föreslogs bland annat av Kumar et al. [36] vilka tekniskt sett skulle kunna implementeras som en CityGML ADE. Höjd kan också lagras i andra CityGML-moduler med hjälp av 2,5D- och 3D-tytor genom att lägga till höjdvärden till t.ex. vägytor (i modulen *Transport*), vegetationsområden (i modulen *Vegetation*) och vattendrag (i modulen *Vatten*). Dessutom lagras höjden som 3D-objekt i modulerna *Byggnad*, *Bro* och *Markdetaljer*. Utmaningarna här ligger i att uppnå en konsekvent och topologiskt korrekt beskrivning av markhöjden och 3D-objekt, där det inte får finnas: (a) hål eller överlappningar mellan (2.5D) ytor, (b) 2.5D-tytor som inte möts vertikalt, och (c) 3D-objekt som inte ansluter till 2.5D-tytor, t.ex. byggnader som inte ansluter till marken.



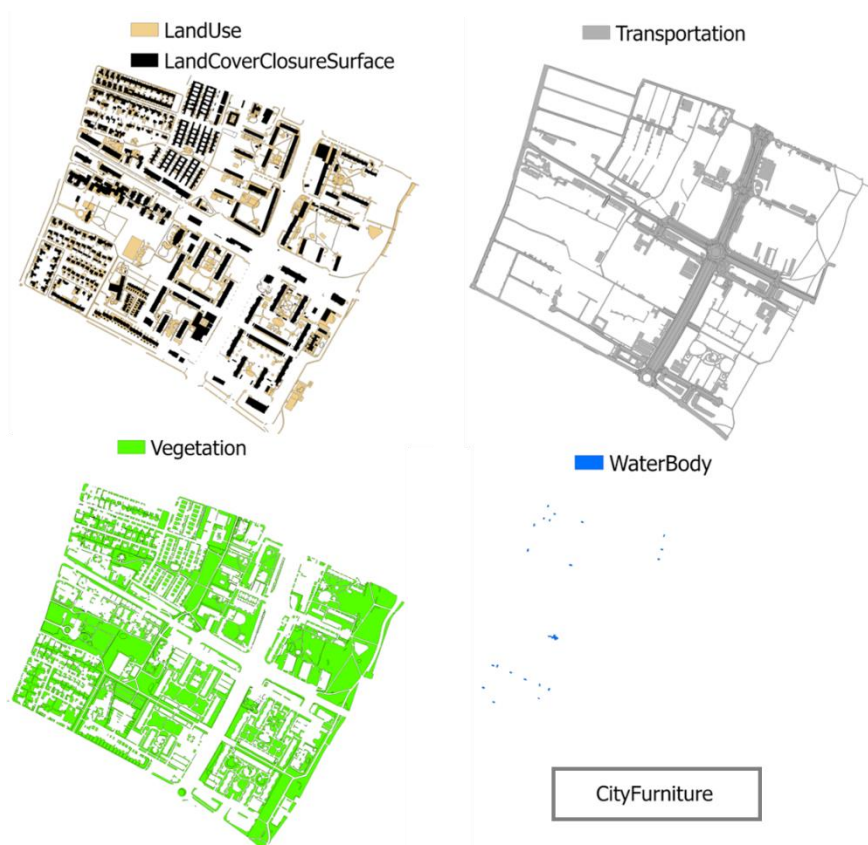
Figur 4.13 Visualisering av topologiska fel som kan uppstå.

I detta projekt har vi utvärderat en metodik för hur marktäckedata och höjddata ska representeras i 3CIM 2.0. I studien ingår framförallt hur marktäckedata ska fördelas mellan CityGML modulerna. Det praktiska testet är utfört med data från studieområdet i Malmö, där marktäckedata var klassificerat enligt en preliminär version av Nationella Specifikationer för Marktäcke (nedan benämnt NS), vilken hade utökats med en nivå 4 för vissa klasser inom 3CIM. Studien genomfördes, något förenklat, i följande steg:

- 1) Tillägg till 3CIM:s informationsmodell. Det som gjordes här var främst att addera klasserna *LandCover* och *LandCoverClosureSurface* till modulen Marktäcke (*LandUse*, Figur 4.14).
- 2) 2,5D marktäckeytor skapades genom att drapera 2D marktäckedata på ett TIN (baserat på ett uttunnat punktmoln). Vertikala objekt, såsom stödmurar, som inte kunde modelleras genom att drapera polygoner på TIN, digitaliserades manuellt och lades till i modulen *Markdetaljer* i 3CIM.
- 3) Dela upp marktäckeytorna i CityGML-modulerna *Transport*, *Vegetation*, *Vatten och LandUse*. Följande gjordes: (a) NS-klasserna asfalt, gatsten och kullersten mappades till modulen *Transport*. (b) NS-klasserna gräs och buskar mappades till modulen *Vegetation* som *PlantCover*. (3) NS-klasserna pool och damm mappades till modulen *Vatten* (4) De återstående NS-klasserna i testdata

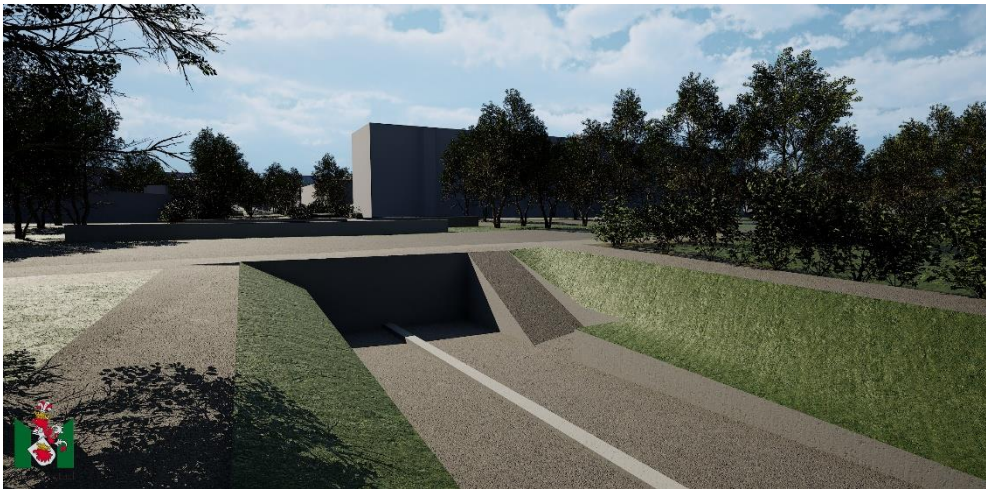
mappades till *LandCover* klassen i modulen *LandUse* (se figur 4.2): betong, natursten, grusbädd, schaktad mark, konstgräs, gummiyta och marksten. Flera av ytorna mappades felaktigt till modulen *Transport*; dessa var huvudsakligen asfaltytor, t.ex. på skolgårdar eller innergårdar, och ändrades manuellt till modulen *LandCover*. Dessutom gjordes en rumslig koppling för att länka byggnadernas fotavtryck i 2,5D (klassen *LandCoverClosureSurface*) till de ursprungliga 3D-byggnaderna via objekt-UUID-attributet (betecknat *ursprungsObjektUUID* i figur 4.2). Illustration över hur marktäckedata fördelas mellan modulerna i 3CIM finns i figur 4.14.

- 4) Lagring av alla data i 3DCityDB
- 5) För att möjliggöra en realistisk visualisering lades ytterligare objekt till i 3DCityDB-databasen: 3D-byggnader (i modulen *Byggnad*), träd (i klassen *SolitaryVegetationObject* i modulen *Vegetation*) och murar (i modulen *Markdetaljer*).



Figur 4.14. Marktäckedata fördelat på olika moduler i 3CIM. Notera att de vertikala stödmurarna i modulen *Markdetaljer* (*CityFurniture*) inte är synliga i 2D.

För att verifiera kvaliteten på 3CIM marktäckedata utfördes ett par visualiseringar med Unreal Engine (UE) version 5.2.2⁹, se figur 4,15 samt + figur 4.17 i Malmö testdataavsnitt nedan.



Figur 4.15. Visualisering av en gång-/cykelbana med vertikala stödmurar. Den branta asfalterade gångbanan upp till den högre nivån består av trappsteg men dessa är inte modellerade i studien.

Rekommendation

Den generella rekommendationen baserad på denna studie är att dela upp marktäckedata på flera moduler i 3CIM samt att beskriva marktäckeytorna som 2,5D-tytor som tillsammans bildar en partition. För att möjliggöra detta behöver objekt med vertikala ytor från temat Markdetaljer (*CityFurniture*) adderas som t.ex. stödmurar, och virtuella ytor som representerar fotavtryck av 3D objekt, som byggnader, behöver läggas till. Lämpligen bör man använda en standardiserad marktäckeklassificering och då helst enligt Nationella Specifikationer för Geodata.

4.5 Testdata och verifiering

4.5.1 Malmö

Malmö stad har valt att använda samma testområde över stadsdelarna Lorensborg och Bellevue som användes för första 3CIM-projektet med en utökning åt väster (Figur 5.x). Området består främst av flerfamiljshus med en del grönområden och två större gator som passerar genom området. Området valdes bland annat med anledning av ett pågående planprogram att förtäta med runt 30 byggnader. Detta gör det möjligt att

⁹ <https://www.unrealengine.com/en-US>

simulera effekterna av förtätningen och att ha testdata där både befintliga och planerade byggnader inkluderas.

Testdata innehåller data från de tematiska modulerna: Byggnad, Markanvändning och marktäckte, Markdetaljer, Transport, Vatten och Vegetation (Figur 4.17). Det finns inga höjddata lagrade i modulen relief, med däremot består marktäckedata i flera moduler av 2,5D- och 3D-ytor. Data skapades genom att uppdatera testdata från första 3CIM projektet i kombination med marktäckedata som skapats inom projektet *Öka potentialen för solenergi- och bullersimuleringar vid planering av stadsförtätningar* [12].

Marktäckedata delades upp i 3CIM teman baserat på marktäckte med ett FME skript där ytor med marktäckteklasserna asfalt, gatsten eller kullersten mappades till transport, klasserna gräsmark och buskmark mappades till modulen vegetation, klasserna bassäng och damm mappades till vatten och övriga klasser mappades till markanvändning & marktäckte. Ett flertal ytor hamnade i fel tema, främst ytor med asfalt eller gatsten som skulle tillhöra temat markanvändning & marktäckte istället för transport; dessa hanterades genom att manuellt ändra till korrekt tema. Även en del ytor med gräs mappades fel; detta var ytor som skulle tillhöra transport (AuxilliaryTrafficArea) men som mappades till vegetation.

3D byggnader från testdata och Malmö stads CityGML-data importerades till marktäckedata och attributet originalObjektUUID för byggnadernas fotavtryck (LandCoverClosureSurface) sattes genom en spatial join mellan 3D Byggnader och LandCoverClosureSurface ytorna.

Träd och murar importerades från testdata från förra 3CIM projektet.



Figur 4.16: Testområdet Lorensborg/Bellevue som används för projektet, framtaget genom mMap.

Visualisering

En 3D visualisering gjordes i Unreal Engine (UE) (version 5.2.2) med data exporterad från 3DCityDB som CityGML för att verifiera arbetsflödet. För att möjliggöra visualiseringen har FME använts för att hantera och konvertera data för kompatibilitet. Sammanfattningsvis har följande utförts:

- Konvertering från .gml till .obj format
- Export av attributinformation som .csv filer
- Positioner för punktojekt (t.ex. Träd) exporterade som .csv för användning som Implicit Geometrier
- Offset från geografiskt koordinatsystem (SWEREF99 13–30) till lokalt koordinatsystem (0,0,0)

De huvudsakliga målen med visualiseringen var att skapa en representativ avbildning av marktäcket, utnyttja utbytes geometrier samt koppla och visa tillhörande

attributinformation. Hanteringen av data som .csv sker genom funktionalitet byggd i UE för det specifika ändamålet.



Figur 4.17: Visualisering av testdata för Lorensborg och Bellevue med samtliga CityGML-teman inkluderade. Visualiseringen är genomförd i Unreal Engine. Träd och murar i tagna från testdata i 3CIM1. I det övre högra hörnet visas attributvärdena för den valda vägen (markerad med orange kant)

4.5.2 Göteborg

För detta projekt valdes ett nytt testområde med syftet att täcka in så många 3CIM-teman som möjlig och att testa i ett område med större höjdskillnader (se figur 4.18).



Figur 4.18 Testområde Göteborg (källa: Göteborgs stad).

För det valda området skapades CityGML-filer för ett antal teman (byggnader, vatten, markdetaljer, bro, transport) via FME-arbetsytor. I första 3CIM-projektet löstes hela import-och exportprocessen från 3DCityDB med hjälp av FME som ledde till en ökad komplexitet i dataflödet.

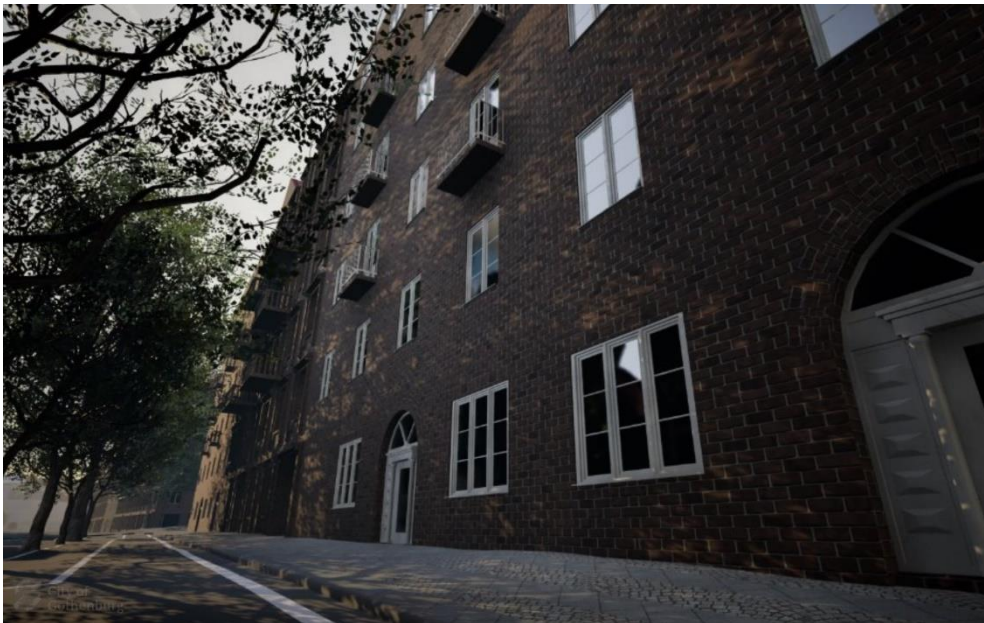
Utvecklingen av 3CIM importer/exporter i 3DCityDB (se avsnitt 4.2) förenklar import – och exportprocessen enormt.

Efter uppsättning av en ny databasmiljö genomfördes tester att importera och exportera data från 3DCityDB. I samband med detta uppdaterades modulen *Byggnader* i 3CIM – modellen med ett antal attribut som används i Göteborgs stads digitala tvilling. Attributen är följande:

- architecturalStyle
- facadeAppearanceColor
- facadeAppearanceMaterial

- facadeBaseAppearanceColor
- facadeBaseAppearanceMaterial
- parametricModuleSequenceType
- roofAppearanceColor
- roofAppearanceMaterial
- windowFrameAppearanceColor

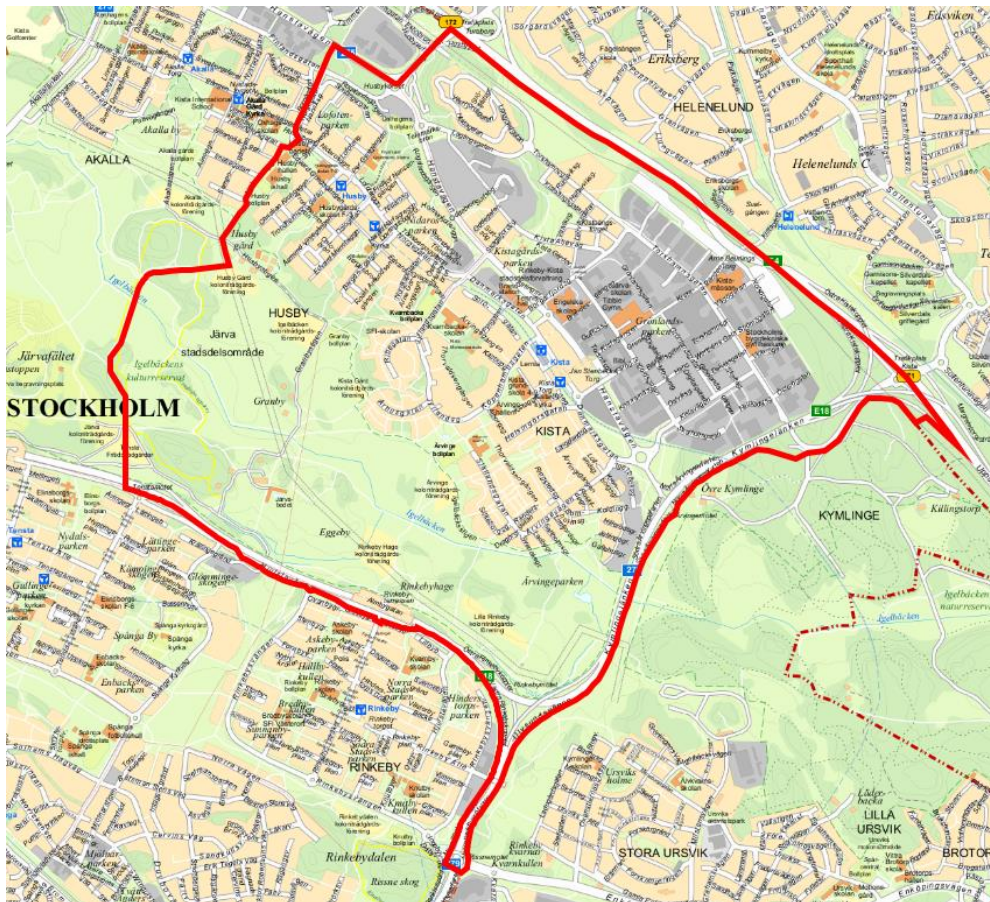
Syftet för detta var att möjliggöra implementeringen av 3CIM-data i Göteborgs digitala tvillings datapipeline. De nya attributen såväl som byggnadernas (lod 0.1) fotavtryck och takhöjd kan nu laddas in i digitala tvillingen från 3DCityDB (se bild nedan).



Figur 4.19: Lod3-hus genererat med 3CIM attribut i digitala tvillingen (källa: Göteborgs stad).

```
<trc:in:architecturalStyle codeSpace="3CIM/kodlistor/goteborg/building/3CIPvers2_Arkitekturstil_kodlista_v1.xml">klassicism/</trc:in:architecturalStyle>
<trc:in:facadeAppearanceColor>0.647 0.165 0.165/</trc:in:facadeAppearanceColor>
<trc:in:facadeAppearanceMaterial codeSpace="3CIM/kodlistor/goteborg/building/3CIPvers2_Fasadmaterial_kodlista_v1.xml">tegel/</trc:in:facadeAppearanceMaterial>
<trc:in:facadeBaseAppearanceColor>0.647 0.165 0.165/</trc:in:facadeBaseAppearanceColor>
<trc:in:facadeBaseAppearanceMaterial codeSpace="3CIM/kodlistor/goteborg/building/3CIPvers2_Sockelvåningsfasadmaterial_kodlista_v1.xml">tegel/</trc:in:facadeBaseAppearanceMaterial>
<trc:in:parametricModuleSequenceType codeSpace="3CIM/kodlistor/goteborg/building/3CIPvers2_fenestration_kodlista_v1.xml">Bostäder utan skyttfönster/</trc:in:parametricModuleSequenceType>
<trc:in:roofAppearanceColor>0.686 0.933 0.933/</trc:in:roofAppearanceColor>
<trc:in:roofAppearanceMaterial codeSpace="3CIM/kodlistor/goteborg/building/3CIPvers2_Takmaterial_kodlista_v1.xml">plåt/</trc:in:roofAppearanceMaterial>
<trc:in>windowFrameAppearanceColor>0.98 0.98 0.98/</trc:in>windowFrameAppearanceColor>
```

Figur 4.20: De nya 3CIM attribut som används i digitala tvillingen (källa: Göteborgs stad).



Figur 4.22 Testområde Stockholm (källa: Stockholms stad).

För det valda området skapades 3CIM CityGML-filer för ett antal teman (byggnader, bro, tunnel, markdetaljer, vatten, vegetation och transport) via FME-arbetsytor.

Arbetet inleddes med inventering av vilka datamängder som finns på Stadsbyggnadskontoret och Trafikkontoret och som var av intresse för konvertering till 3CIM, dessa antecknades i en Excel fil med en flik per tema (modul).

Objekt	Objekttyp	ObjektID	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo	ObjektCom
1	CityFurniture	BAGGIS	16	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
2	CityFurniture	BAGGIS	17	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
3	CityFurniture	BAGGIS	18	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
4	CityFurniture	BAGGIS	19	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
5	CityFurniture	BAGGIS	20	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
6	CityFurniture	BAGGIS	21	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
7	CityFurniture	BAGGIS	22	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
8	CityFurniture	BAGGIS	23	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
9	CityFurniture	BAGGIS	24	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
10	CityFurniture	BAGGIS	25	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
11	CityFurniture	BAGGIS	26	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
12	CityFurniture	BAGGIS	27	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
13	CityFurniture	BAGGIS	28	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
14	CityFurniture	BAGGIS	29	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
15	CityFurniture	BAGGIS	30	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
16	CityFurniture	BAGGIS	31	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
17	CityFurniture	BAGGIS	32	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
18	CityFurniture	BAGGIS	33	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
19	CityFurniture	BAGGIS	34	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
20	CityFurniture	BAGGIS	35	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
21	CityFurniture	BAGGIS	36	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
22	CityFurniture	BAGGIS	37	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
23	CityFurniture	BAGGIS	38	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
24	CityFurniture	BAGGIS	39	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
25	CityFurniture	BAGGIS	40	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
26	CityFurniture	BAGGIS	41	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
27	CityFurniture	BAGGIS	42	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
28	CityFurniture	BAGGIS	43	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
29	CityFurniture	BAGGIS	44	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
30	CityFurniture	BAGGIS	45	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
31	CityFurniture	BAGGIS	46	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
32	CityFurniture	BAGGIS	47	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
33	CityFurniture	BAGGIS	48	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
34	CityFurniture	BAGGIS	49	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
35	CityFurniture	BAGGIS	50	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
36	CityFurniture	BAGGIS	51	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
37	CityFurniture	BAGGIS	52	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
38	CityFurniture	BAGGIS	53	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
39	CityFurniture	BAGGIS	54	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo
40	CityFurniture	BAGGIS	55	ObjektNamn	ObjektKategori	ObjektStatus	ObjektFunkt	ObjektMater	ObjektGeom	ObjektAttr	ObjektData	ObjektInfo

Figur 4.23 Inventering för data som vara använt som underlag till Stockholm markdetaljer (CityFurniture) (källa: Stockholms stad).

Därefter togs fram ett FME-skript att läsa ut Stockholms baskarta med attribut, som lagras i FME interna filformat FFS. Detta så att tema (modul) skript läser från samma "snapshot" av baskartan.

FME-skript har tagits fram per tematisk modul av 3CIM, ibland flera för samma modul, eftersom det t ex finns olika typer av geometri som exporteras i 3CIM CityGML-filer. Markdetaljer LOD2 kan representeras av 3D-linjer med attribut (bredd, relativ höjd) eller som ytor eller som volym, och för utvärderings skull har två olika skript tagits fram – en som exporterar ytor och en som exporterar volym. Även Byggnader – LOD1 och LOD2, hanteras i olika skript för enkelhetens skull. FME-skript utvecklade att stöda 3CIM1.0 har justerats för att hantera 3CIM2.0.

Verifiering av CityGML-struktur har ansetts som ett av de svårare momenten i arbetet, särskilt avseende transport-, tunnel- och brotemana. Detta för att det finns få exempel av CityGML filer att referera till för dessa moduler. Gällande 3CIM transportstruktur, har det krävts en vidare fundering för att få korrekt 3CIM CityGML struktur skrivet av FME, eftersom 3CIM också tillämpar konceptet från CityGML 3.0

```
<core:cityObjectMember>
  <trn:CityFurniture gml:id="STHLM_SEK_BAGGIS_450610_83427628_1_LOD2">
    <gml:description>Stödmar</gml:description>
    <core:creationDate>2025-05-27</core:creationDate>
    <core:externalReference>
      <core:informationSystem>Stockholm_SEK_BAGGIS_DP_OTYPE-DP_OID</core:informationSystem>
      <core:externalObject>
        <core:name>450610-83427628</core:name>
      </core:externalObject>
    </core:externalReference>
    <core:relativeToTerrain>substantiallyAboveAndBelowTerrain</core:relativeToTerrain>
    <trcim:absolutLagesosakerhetHojd>0.20</trcim:absolutLagesosakerhetHojd>
    <trcim:absolutLagesosakerhetPlan>0.15</trcim:absolutLagesosakerhetPlan>
    <trcim:metodHojdTyp>Fotogrammetrisk detaljmätning</trcim:metodHojdTyp>
    <trcim:metodIPlanTyp>Fotogrammetrisk detaljmätning</trcim:metodIPlanTyp>
    <trcim:tidpunktForKontrollAvGeometri>2022-01-04T14:47:26.137308</trcim:tidpunktForKontrollAvGeometri>
    <trcim:tidpunktForLagesbestamning>2022-01-04T14:47:26.137308</trcim:tidpunktForLagesbestamning>
    <trn:codeSpace>https://github.com/3CIM/Public-files/blob/main/kodlistor/CityFurniture/CityFurniture_class.x
    <trn:function codeSpace="https://github.com/3CIM/Public-files/blob/main/kodlistor/CityFurniture/CityFurniture_funct
    <trn:lodGeometry>
      <gml:MultiSolid srsName="EPSG:3011" srsDimension="3">
        <gml:solidMember>
          <gml:solid gml:id="fme-gen-948477b3-d5f4-4168-869a-ea7a19545220">
            <gml:exterior>
              <gml:CompositeSurface>
                <gml:surfaceMember>
                  <gml:Polygon>
                    <gml:exterior>
                      <gml:LinearRing>
                        <gml:posList>145782.849 6588735.25 39.552 145782.849 6588735.25 34.552 145
                      </gml:LinearRing>
                    </gml:exterior>
                  </gml:Polygon>
                </gml:surfaceMember>
              </gml:CompositeSurface>
            </gml:exterior>
          </gml:solid>
        </gml:solidMember>
      </gml:MultiSolid>
    </trn:lodGeometry>
  </trn:CityFurniture>
</core:cityObjectMember>
```

Figur 4.24 Extrakt från 3CIM CityGML-fil för modul markdetaljer (CityFurniture) (källa: Stockholms stad).

```
<core:cityObjectMember>
  <trn:Road gml:id="Section_b6dc0152-02c9-4849-b613-85d30b0b9ca9_Road">
    <gml:name>Snöfjällsgränd</gml:name>
    <core:relativeToTerrain>substantiallyAboveAndBelowTerrain</core:relativeToTerri
    <trn:class>10000</trn:class>
    <trn:function>10100</trn:function>
    <trcim:sectionOfRoad>
      <trcim:Section gml:id="Section_b6dc0152-02c9-4849-b613-85d30b0b9ca9">
        <gml:name>Snöfjällsgränd</gml:name>
        <core:relativeToTerrain>substantiallyAboveAndBelowTerrain</core:relati
        <trn:class>10000</trn:class>
        <trn:function>10100</trn:function>
        <trn:trafficArea>
          <trn:TrafficArea gml:id="id_e301baa0-9bec-46de-9725-ed6c4edf961d">
            <gml:name>Snöfjällsgränd</gml:name>
            <core:externalReference>
              <core:informationSystem>Nationella vagdatabasen_RLID</core
              <core:externalObject>
                <core:name>19191:13231257</core:name>
              </core:externalObject>
            </core:externalReference>
            <core:relativeToTerrain>substantiallyAboveAndBelowTerrain</coo
            <trn:class>10000</trn:class>
            <trn:function>10100</trn:function>
            <trn:surfaceMaterial>10000</trn:surfaceMaterial>
            <trn:lod2MultiSurface>
              <gml:MultiSurface srsName="EPSG:3011" srsDimension="3">
                <gml:surfaceMember>
                  <gml:Polygon gml:id="fme-gen-ceb9e067-91a6-47b5-bf
                    <gml:exterior>
                      <gml:LinearRing>
                        <gml:posList>146436.9305 6588735.5862
                      </gml:LinearRing>
                    </gml:exterior>
                  </gml:Polygon>
                </gml:surfaceMember>
              </gml:MultiSurface>
            </trn:lod2MultiSurface>
          </trn:TrafficArea>
        </trn:trafficArea>
      </trcim:Section>
    </trn:sectionOfRoad>
  </trn:Road>
  <trn:TrafficArea gml:id="id_c1b3190c-d4df-494f-b0a6-0008d912ec48">
    <gml:name>Snöfjällsgränd</gml:name>
    <core:externalReference>
      <core:informationSystem>Nationella vagdatabasen_RLID</core
      <core:externalObject>
        <core:name>19191:13231257</core:name>
      </core:externalObject>
    </core:externalReference>
    <core:relativeToTerrain>substantiallyAboveAndBelowTerrain</coo
    <trn:class>10000</trn:class>
    <trn:function>10100</trn:function>
    <trn:surfaceMaterial>10000</trn:surfaceMaterial>
    <trn:lod2MultiSurface>
      <gml:MultiSurface srsName="EPSG:3011" srsDimension="3">
        <gml:surfaceMember>
          <gml:Polygon gml:id="fme-gen-ceb9e067-91a6-47b5-bf
            <gml:exterior>
              <gml:LinearRing>
                <gml:posList>146436.9305 6588735.5862
              </gml:LinearRing>
            </gml:exterior>
          </gml:Polygon>
        </gml:surfaceMember>
      </gml:MultiSurface>
    </trn:lod2MultiSurface>
  </trn:TrafficArea>
</core:cityObjectMember>
```

Figur 4.25 Extrakt från 3CIM CityGML-fil för modul transport (Transportation) (källa: Stockholms stad).

Stockholms använda grunddata (baskarta och parkkarta) inkluderar i vissa fall inte alla möjliga attribut som stöds av CityGML och som 3CIM rekommenderar ska användas. T.ex. har Stockholms baskartas byggnadsmodell möjligheten att lagra antal våningar och nybyggnadsår, men detta är något som aldrig har lagrats i baskartan. FME har då använts att matcha information från FB-databasen¹⁰ via det nationella byggnads-UUID, som lagras kopplat till baskartans byggnadspolygoner för att på så sätt få fram antal våningar och nybyggnadsår för de byggnader som har dessa värden i FB.

Vid framtagning av 3CIM CityGML-filer har dessa i första hand kollats i FME Inspector, Notepad++ och KITModelViewer programvara för att kontrollera att filstrukturen, samt geometri- och attribututskrivning från FME är korrekt. KITModelViewer har bättre stöd för CityGML-formatet och dess struktur. Se vidare information i Användarguiden gällande KITModelViewer.

4.6 Plan för förvaltning och fortsatt utveckling

Projektets resultat består dels av informationsmodellen, med tillhörande dokumentation, och dels av den tekniska implementationen. Informationsmodellen skulle gynnas av en nationellt samordnad förvaltning, där fler kommuner skulle kunna få stöd i implementeringen och där utveckling av modellen efter förändringar i omvärlden kan säkerställas. Den skulle då utgöra en nationell profil för 3D-stadsmodeller som helt överensstämmer med den öppna internationella standarden CityGML.

4.6.1 Förvaltning av informationsmodell

3CIM-projektets parter ser stor nytta i om informationsmodellen på sikt kan vidareutvecklas inom arbetet med de nationella specifikationerna som leds av Lantmäteriet. Det har varit god respons från andra kommuner om förslaget. Dock har Lantmäteriet flera intressen och aspekter att ta hänsyn till och det är därför inte säkert att de väljer en sådan lösning även om de har uttryckt sig försiktigt positivt, i alla fall till en början.

Då Lantmäteriet i skrivande stund inte har återupptagit arbetet med nationella specifikationer för storskalig kommunal geodata, har 3CIM-projektet planerat för en annan förvaltningslösning, i alla fall tillfälligt, inom ramen för de tre städernas befintliga samverkan. Det finns en tradition av samverkan mellan städerna i projekt, dock är det nytt att ta en förvaltande roll gemensamt. På samma sätt som i projektet kommer avdelningscheferna från respektive stads geodataavdelningar att utgöra styrgruppen. Stockholm kommer att ansvara för samordningen och vara kontaktyta utåt, och övriga två kommuner kommer att ha en kontaktperson var. Göteborg kommer också att ansvara för att 3CIM:s GitHub-sida hålls uppdaterad och Malmö ansvarar för den Teams-yta som används för samordning och kommunikation. Genom denna förvaltningsorganisation kan eventuella frågor som berör 3CIM fångas upp och

¹⁰ <https://sokigo.com/produkter/fastighet-och-befolkning/>

hanteras. Om behov av större förändringar eller uppdateringar identifieras och prioriteras ansvarar styrgruppen för att starta upp ett projekt för att hantera behoven.

4.6.2 Förvaltning av teknisk implementation

Den tekniska implementationen av 3CIM består dels av utveckling av 3DCityDB och dess Importer/exporter-verktyg, dels av själva databaserna och filerna med städernas data och dels av FME-skript.

Den utveckling som har utförts av Virtual City Systems för projektet finns i de programversioner de tillhandahåller öppet och som vidareutvecklas och förvaltas av företaget. Så länge 3CIM:s ADE inte förändras finns inte behov av att göra något utöver det. Om ADE:n uppdateras finns möjligheten att anlita Virtual City Systems att också justera Importer/exporter-verktyget eller att göra en egen uppdaterad version av koden. I det senare fallet behöver den förvaltande organisationen själva se till att verktyget fortsätter att uppdateras för att fungera med nya versioner av 3DCityDB.

Städernas egna databaser och eventuella filer är en del av deras IT-miljöer och förvaltas vidare av städerna själva enligt egna respektive rutiner. Detta gäller även framtagna FME-skript, som ofta är anpassade till respektive stads befintliga lagrade geodata. När det gäller FME-skript som används av fler än en part adresseras behov av uppdatering till samordningsfunktionen i Stockholm för vidare hantering.

5 Projektets slutsatser

Projektet hade tre huvudsakliga syften – implementation av 3CIM:s informationsmodell i de tre städerna, utveckling av 3CIM:s informationsmodell och tekniska implementation samt etablering av en förvaltning av projektresultatet.

När det gäller implementation har målen inte helt gått att nå inom projektet. 3CIM:s informationsmodell används ännu inte skarpt i alla de tre städernas geodataverksamhet. Var mandatat att besluta om en ny struktur för stadens geodata finns är en organisatorisk fråga som skiljer sig åt mellan städerna. Längst har arbetet med implementation kommit i Göteborg, där 3CIM är en integrerad del av arbetsflödet med den digitala tvillingen. Även i Malmö och Stockholm har flera viktiga steg tagits på vägen där projektet har gett goda möjligheter till dialog inom städerna om hur dess grundläggande geodata behöver vara strukturerat för att stödja en flexibel användning. I Stockholm finns en samsyn att använda 3CIM:s informationsmodell i den nya geodataplattform som håller på att införas. Alla tre städer ser utmaningar med att använda 3CIM i sin produktion och ajourhållning av grundläggande geodata. 3CIM är avsiktligt utvecklad ur ett användarperspektiv och har inte optimerats för ajourhållning. Exempelvis är det svårt att på ett effektivt sätt ajourhålla vägar som 3D-tytor med de verktyg som finns till buds idag. 3CIM kan därför ses som ett nav i stadens geodataanvändning och -leverans, dit befintliga produktionsmiljöer kan knytas med schemalagda överföringar av information.

Det är också viktigt att inte se implementation av 3CIM som synonymt med 3DCityDB. Projektet har gjort en teknisk implementation i 3DCityDB och med arbete av Virtual City Systems finns nu stöd för att importera, lagra och exportera 3CIM-data där, färdigt att använda för den kommun som så önskar. Men 3CIM:s informationsmodell är teknikoberoende, den kan implementeras i valfri databas och användas i valfri plattform även om det kräver inledningsvis mer arbete. Det är heller inget krav att använda CityGML som format även om man utgår ifrån informationsmodellen CityGML. Det finns ett stort intresse bland städer internationellt att använda CityGML:s informationsmodell, och flera utvecklar också egna ADE:er. Utifrån det är det sannolikt att fler systemleverantörer utvecklar stöd både för CityGML och för ADE-hantering i sina egna plattformar framåt, något som troligen skulle öka spridningen ytterligare.

Att använda 3DCityDB kräver hantering av data i filformatet CityGML. Projektets erfarenheter är att det är komplext att göra detta och det finns många sätt att göra fel. Det kräver därför en relativt djup förståelse för CityGML för att ha ett effektivt flöde, något som kanske inte är en vitt utbredd kompetens i svenska kommuner. Dock finns mycket god dokumentation tillgänglig, främst från Virtual City Systems, så det är inte på något sätt omöjligt att tillskansa sig. Som med många tekniska implementationer i geodatavärlden är även FME något som krävs kompetens inom. Projektparternas bild är att detta finns i stor utsträckning i svenska kommuner.

Oavsett teknisk implementation är det en stor fördel att ha en gemensam struktur på geodata mellan kommunerna. Det ger en gemensam begreppsvärld, där vi namnger och definierar de fysiska företeelserna i kommunen på samma sätt, och gemensamma mättingsanvisningar som säkerställer att vi geometriskt representerar dessa

företeelser på samma sätt. Detta möjliggör ett mycket förenklat och effektiviserat informationsutbyte.

När det gäller utvecklingen av 3CIM:s informationsmodell har projektmålen med råge nåtts. Arbetet med marktäckte och höjd, som utpekats som viktigt efter första 3CIM-projektet, har varit framgångsrikt och modellen stödjer nu på ett effektivt sätt lagring av de marktäckteytor som behövs i modulen *LandUse* kombinerat med andra teman i 3CIM-modellen. Dessa data har stor potentiell användning i analyser och visualisering. Även arbetet med Transport och införandet av koncept från CityGML 3.0 har visat sig lyckat och det har också visats i ett examensarbete i Stockholm att resultatet möjliggör ett effektivt arbetsflöde där befintliga baskarte-data för vägkanter kan användas för att skapa 3CIM:s 3D-vägytor och koppla dessa till länkarna i nationella vägdatan (NVDB).

Ett mer grundläggande arbete med informationsmodellen som har utförts under projektet är att ”rätta upp” UML-modellerna och säkerställa att de är korrekt utförda enligt CityGML:s regler. I det första 3CIM-projektet låg fokus på att skapa modellerna i ADE:n från början utifrån de identifierade behoven och även om sättet det gjordes på fyllde syftet i det projektet visade det sig att UML-modellerna inte automatiskt kunde generera de scheman (XSD-filer) som krävdes för att skapa en databas ifrån. Med konsultstödet från Virtual City Systems och Viati har projektet nu säkerställt att UML-modellerna för 3CIMver2.0 är helt korrekt utförda och det har också tagits fram dokumentation för att stödja att även framtida utveckling görs på så sätt.

När det gäller förvaltning av projektresultatet har en organisation beslutats och satts upp av de tre städerna. Denna bedöms kunna hantera användarstöd och mindre justeringar om behov uppstår. Skulle det finnas anledning att göra större förändringar behöver dock ett nytt projekt formuleras och mer resurser tillsättas. Detta hanteras av styrgruppen, som utgörs av avdelningschefer från de tre städerna. Projektparterna ser fortfarande stora likheter i ambition och vilja mellan det som har skapats här och det som arbetas med i grunddatadomänen Fastighets- och Geografisk information. Det finns en aktiv dialog med Lantmäteriet och andra kommuner där det under hösten 2025 ska tas fram en plan för nationella specifikationer för storskaliga kommunala geodata. Projektparternas bild är att 3CIM:s informationsmodell bör kunna utgöra en grund för dessa kommande nationella specifikationer, även om det förstås behöver finnas en förankring att det fungerar även nationellt. I ett sådant utfall skulle förvaltningen av 3CIM:s informationsmodell uppgå i förvaltningen av de nationella specifikationerna och behovet av en separat förvaltningsorganisation skulle upphöra.

6 Rekommendation om fortsatt arbete

Projektet ser potential för fortsatt utveckling av resultaten. Dels finns det teman som vi har arbetat med i liten eller ingen utsträckning, som markdetaljer och markanvändning, där det kan finnas fog för ytterligare utveckling när användningen av data har kommit längre. Projektparterna ser 3CIM som en naturlig utveckling av

kommunernas uppdrag att tillhandahålla grundläggande geodata – där man än så länge arbetar med baskarta/primärkarta kommer man i framtiden att använda objektorienterade och semantiska 3D-data för detta. Krävs det då något ytterligare av 3CIM för att fungera fullt ut? Dessa tankar kan förhoppningsvis tas vidare i arbetet med nationella specifikationer för storskaliga kommunala geodata. De kommer också att tas vidare och testas praktiskt i det strategiska Smart Built Environment-projektet *Ramverk och leveransspecifikationer för utbyte av BIM- och geodata i plan- och byggprocesserna*. I detta projekt används 3CIM-data som grund för en Geodatamodell för nybyggnad, vilket kan ses som den framtida varianten av nybyggnadskarta. Projektet kommer att utforska vilken information som behövs och hur den behöver vara strukturerad för att dels stödja byggaktören i sin projektering och dels stödja bygglovshandläggaren i sin bedömning av det sökta bygglovets i förhållande till den befintliga miljön.

Även kopplingen mot verksamhetssystem, som är en bärande tanke i 3CIM:s informationsmodell, bör arbetas vidare med för att hitta metoder för att implementera detta så effektivt som möjligt. Ett intressant sätt testas i Smart Built Environment-projektet *Interoperabilitet – Digital Samverkan för den byggda miljön*, där 3CIM-data uttryckt som en kunskapsgraf och kopplas med länkade data-teknik till t ex detaljplanedata och anläggningsdata. Kunskapsgrafer skulle potentiellt kunna användas generellt för att länka 3CIM-objekten till data om motsvarande företeelse i andra verksamhetssystem och skulle då ersätta den metod för koppling som vi nu använder i Core-modulen i CityGML2.0.

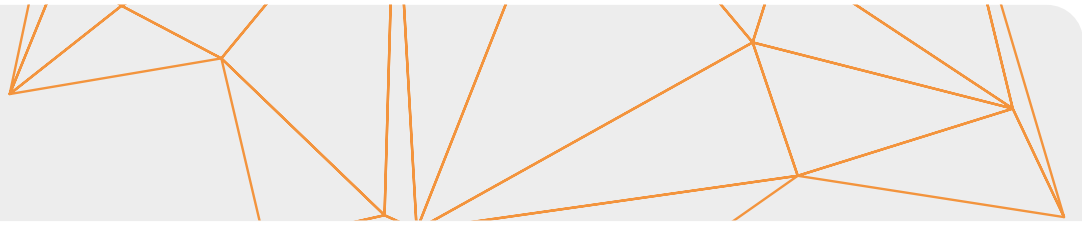
7 Referenser

1. Stoter JE, Ledoux H, Penninga F, van den Brink L, Reuvers M, Vermeij M, et al. Towards a generic 3D standardisation approach for the Netherlands supporting different applications and encodings. *Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci*. 2019; XLII-4/W15:89–96.
2. Ates Aydar S, Yomralioglu T, Demir Ozbek E. Modeling Turkey National 2D GeoData Model as a CityGML Application Domain Extension in UML. *Int J Environ Geoinformatics*. 2016;3(3):1–10.
3. Stoter J, van den Brink L, Beetz J, Ledoux H, Reuvers M, Janssen P, et al. Three-dimensional modeling with national coverage: case of The Netherlands. *Geospatial Inf Sci*. 2013;16(4):267–76.
4. Noardo F, Arroyo Ohori K, Biljecki F, Ellul C, Harrie L, Krijnen T, et al. Reference study of CityGML software support: The GeoBIM benchmark 2019—Part II. *Trans GIS*. 2021;25:842–68. doi:10.1111/tgis.12710
5. Biljecki F, Kumar K, Nagel C. CityGML Application Domain Extension (ADE): overview of developments. *Open Geospat Data Softw Stand*. 2018;3(13).
6. City of Helsinki. The Kalasatama digital twins project: Final report of the KIRAdigi pilot project [Internet]. 2019 [cited 2022 Jun 6]. Available from:

- [https://www.hel.fi/static/liitteet-2019/Kaupunginkanslia/Helsinki3D Kalasadama Digital Twins.pdf](https://www.hel.fi/static/liitteet-2019/Kaupunginkanslia/Helsinki3D_Kalasadama_Digital_Twins.pdf)
7. Government of Singapore. Virtual Singapore [Internet]. 2021 [cited 2022 Jun 6]. Available from: <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>
 8. Schrotter G, Hürzeler C. The digital twin of the City of Zurich for urban planning. *PFG J Photogramm Remote Sens Geoinf Sci.* 2020;88:99–112. doi:10.1007/s41064-020-00092-2
 9. Ugglå M, Olsson P, Abdi B, Axelsson B, Calvert M, Christensen U, et al. Future Swedish 3D City Models—Specifications, Test Data, and Evaluation. *ISPRS Int J Geo-Inf.* 2023;12(2):47. doi:10.3390/ijgi12020047
 10. Lehner H, Kordasch SL, Glatz C, Agugiaro G. Digital geoTwin: A CityGML-Based Data Model for the Virtual Replica of the City of Vienna. In: *3D GeoInfo Conference; 2023.* p. 517–41. Cham: Springer Nature Switzerland.
 11. Pantazatou K, Kanters J, Olsson PO, Nyborg JL, Harrie L. Input data requirements for daylight simulations in urban densifications. *Urban Inform.* 2023;2(2). doi:10.1007/s44212-023-00024-6
 12. Pantazatou K, Mattisson K, Olsson P, Telldén E, Kettisen A, Hosseinvash Azari S, et al. Influence of land cover on noise simulation output – A case study in Malmö, Sweden. *Noise Mapp.* 2025;12(1):20250016. doi:10.1515/noise-2025-0016
 13. Olsson PO, Pantazatou K, Harrie L. Land cover data in CityGML. In: *Smart Data & Smart Cities 2024; 4–7 June 2024; Athens, Greece.*
 14. Pantazatou K, Kanters J, Mattisson K, Olsson PO, Harrie L. Recommendation for vegetation information in semantic 3D city models used in urban planning applications. In: Kolbe TH, Donaubaauer A, Beil C, editors. *Recent Advances in 3D Geoinformation Science. 3DGeoInfo 2023.* Cham: Springer; 2024. doi:10.1007/978-3-031-43699-4_1
 15. Gröger G, Kolbe TH, Nagel C, Häfele KH, editors. *OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, ver. 2.0* [Internet]. 2012 [cited YYYY MM DD]. Available from: <http://www.opengeospatial.org/standards/CityGML>
 16. Kolbe TH, Kutzner T, Smyth CS, Nagel C, Roensdorf C, Heazel C, editors. *OGC City Geography Markup Language (CityGML) Part 1: Conceptual Model Standard, ver. 3.0.0* [Internet]. 2021 [cited YYYY MM DD]. Available from: <http://www.opengeospatial.org/standards/CityGML>
 17. Stoter J, Ledoux H, Reuvers M, Klooster LaR, Janssen P, Beetz J, et al. Establishing and implementing a national 3D standard in The Netherlands. *Photogramm Fernerkund Geoinf.* 2013;6:381–92. doi:10.1127/1432-8364/2013/0184
 18. van den Brink L, Stoter J, Zlatanova S. Establishing a national standard for 3D topographic data compliant to CityGML. *Int J Geogr Inf Sci.* 2013;27(1):92–113. doi:10.1080/13658816.2012.667105

19. Stoter JE, Ledoux H, Penninga F, van den Brink L, Reuvers M, Vermeij M, et al. Towards a generic 3D standardisation approach for the Netherlands supporting different applications and encodings. *Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci.* 2019;XLII-4/W15:89–96.
20. Gruber U, Riecken J, Seifert M. Germany on the way to 3D-Cadastre. In: *FIG Congress; 2014 Jun 16–21; Kuala Lumpur, Malaysia.*
21. Liamis T, Mimis A. Establishing semantic 3D city models by GReXtADE: the case of Greece. *J Geovis Spat Anal.* 2022;6:15. doi:10.1007/s41651-022-00114-0
22. Julin A, Jaalama K, Virtanen JP, Pouke M, Ylipulli J, Vaaja M, et al. Characterizing 3D city modeling projects: towards a harmonized interoperable system. *ISPRS Int J Geo-Inf.* 2018;7:55.
23. Eriksson H, Johansson T, Olsson PO, Andersson M, Engvall J, Hast I, et al. Requirements, development and evaluation of a national building standard – a Swedish case study. *ISPRS Int J Geo-Inf.* 2020;9:78–106. doi:10.3390/ijgi9020078
24. Ates Aydar S, Yomralioglu T, Demir Ozbek E. Modeling Turkey National 2D Geo-Data Model as a CityGML Application Domain Extension in UML. *Int J Environ Geoinformatics.* 2016;3(3):1–10.
25. Biljecki F, Ledoux H, Stoter J. An improved LOD specification for 3D building models. *Comput Environ Urban Syst.* 2016;59:25–37.
26. Kumar, K.; Ledoux, H.; Stoter, J. A CityGML extension for handling very large TINs. 11th 3D Geoinfo Conference. ISPRS, 2016.
27. van den Brink L, Stoter J, Zlatanova S. Modeling an application domain extension of CityGML in UML. *Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci.* 2012;38:11–4.
28. van den Brink L, Stoter J, Zlatanova S. Modeling an application domain extension of CityGML in UML (OGC Best Practice) [Internet]. OGC; 2014. Doc Ref No: 12-066.
29. Lehner H, Kordasch SL, Glatz C, Agugiaro G. Digital geoTwin: A CityGML-Based Data Model for the Virtual Replica of the City of Vienna. In: *3D GeoInfo Conference; 2023 Sep; Cham: Springer Nature Switzerland.* p. 517–41.
30. Beil C, Ruhdorfer R, Coduro T, Kolbe TH. Detailed streetspace modelling for multiple applications: discussions on the proposed CityGML 3.0 transportation model. *ISPRS Int J Geo-Inf.* 2020a;9(10). doi:10.3390/ijgi9100603
31. Beil C, Ruhdorfer R, Coduro T, Kolbe TH. Detailed streetspace modelling for multiple applications: discussions on the proposed CityGML 3.0 transportation model. *ISPRS Int J Geo-Inf.* 2020b;9(10). doi:10.3390/ijgi9100603

32. Noardo F, Arroyo Ohori K, Biljecki F, Ellul C, Harrie L, Krijnen T, et al. Reference study of CityGML software support: The GeoBIM benchmark 2019—Part II. *Trans GIS*. 2021;25:842–68. doi:10.1111/tgis.12710
33. Ledoux H, Arroyo Ohori K, Kumar K, Dukai B, Labetski A, Vitalis S. CityJSON: A compact and easy-to-use encoding of the CityGML data model. *Open Geospat Data Softw Stand*. 2019;4:4.
34. Yao Z et al. “3DCityDB - a 3D geodatabase solution for the management, analysis, and visualization of semantic 3D city models based on CityGML.” I: *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 3(1). (2018). url: <https://doi.org/10.1186/s40965-018-0046-7>.
35. Nagel, C. 3DCityDB Training Part 1. Presentation vid 3CIM ADE Project. Virtual City Systems, 2024-10-18.
36. Kumar, K.; Labetski, A.; Ledoux, H.; Stoter, J. An improved LOD framework for the terrains in 3D city models. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2019, 4.4/W8, 75-82. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-4-W8-75-2019>
37. Hellsten, J. Automatisk generering av transportytor för 3D-stadsmodeller enligt 3CIM-specifikationen. Examensarbete, Inst. Naturgeografi och ekosystemvetenskap, Lunds universitet, 2025. <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/9204884>.
38. Lökhölm, E. 3DCityDB som leveransdatabas - En fallstudie för Malmö stad och 3CIM. Examensarbete, Inst. Naturgeografi och ekosystemvetenskap, Lunds universitet, 2025. <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/9196235>.



Eventuell logotext

"Dubbelklicka för att infoga logga"



←
**SMART BUILT
ENVIRONMENT**
→

Med stöd från

VINNOVA
Sveriges innovationsmyndighet

 **Energimyndigheten**

FORMAS 

**Strategiska
innovations-
program**