

Examensarbete i geografisk informationsteknik nr 26

Uppdatering och visualisering av stadsmodell med stöd av konverterade BIM-modeller

Författare : Leonard B.O. Berge

Civilingenjörsutbildningen i Lantmäteri
Lunds Tekniska Högskola

Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap
Lunds Universitet





LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Uppdatering och visualisering av stadsmodell med stöd av konverterade BIM-modeller

EXTM05 Masteruppsats, 30 hp
Civilingenjörsutbildningen i Lantmäteri

Författare: Leonard B. O. Berge
Handledare: Lars Harrie
Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap

Tolfte December, 2018

Opponent: Gabriella Olsson och Rickard Ingesson

Examinator: Petter Pilesjö

Copyright © Name author, LTH

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

Telefon: 046-222 30 30

Fax: 046-222 03 21

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

Examensarbete i geografisk informationsteknik nr 26

Tryckt av E-tryck, E-huset, 2018

Abstract

Within the process of city planning both 3D visualization and analysis are becoming more important for city building. 3D visualisation with the aid of digital techniques is replacing 2D maps on a growing scale for visualization of the land use. 3D visualization for city planning needs 3D models of cities and their buildings. Architects already create detailed 3D models, but these building information models (BIM) are too detailed to use directly for 3D visualization of cities. 3D visualization for city planning would be better met with a geographical data model than with a BIM. A BIM can be converted into a geodata model that is more suited for 3D visualization of city planning. The purpose of this study was to map how simplified BIMs can be used to support 3D visualization for the process of city planning and to compare how different methods convert different into geo data models.

In this study the technical needs of 3D visualization were mapped, regarding what technical standards and softwares can be used for conversion and visualization. Within a case study BIMs from the municipalities of Lund and Helsingborg were converted to models for graphical visualization. The conversion was made with a script that was adopted to the given material in the case study. After the conversion the converted models were visualized via internet with a visualization program.

The result of the study came from four existing conversion methods and the conversion method that was developed in the case study. The comparison between the conversion methods were hampered by the fact that the BIMs were different. The comparison was made for all parts of the conversion from extracted model to the purpose of the conversion result. Additionally important was the comparison between the different methods by how automatic the method converts and filter the model. In conclusion much is needed to be done to be able to compare different methods of conversion.

Sammanfattning

Inom samhällsbyggnadsprocessen blir 3D-visualisering och -analys allt viktigare för stadsbyggnation. 3D-visualisering med digitala tekniker ersätter allt oftare 2D-kartor för visualisering av markanvändningen. 3D-visualisering för samhällsplanering behöver använda 3D-modeller av städer och städernas ingående byggnader. Arkitekter skapar redan detaljerade 3D-modeller, men dessa byggnadsinformationsmodeller (BIM) är för detaljerade för att direkt kunna användas för 3D-stadsvisualiseringen. 3D-visualisering för samhällsplanering skulle bättre tillgodoses av en geodatamodell än en BIM-modell. En BIM-modell kan konverteras till en geodatamodell som är mer lämplig för 3D-visualisering för samhällsplanering. Syftet med denna studie var att kartlägga hur förenklade BIM-modeller kan tillämpas som visualiseringsstöd i samhällsbyggnadsprocessen och jämföra hur olika metoder konverterar BIM-modeller till geodatamodeller.

I studien kartlades de tekniska behoven av 3D-visualisering, vilka tekniska standarder och programvaror som kan användas för konvertering och visualisering. Inom en fallstudie konverteras BIM-modeller, från Lunds och Helsingborgs kommun till modeller för grafisk visualisering. Konverteringen gjordes via ett skript som var anpassad för datamaterialet i fallstudien. Efter konverteringen visualiserades därefter de konverterade modellerna via internet med ett visualiseringsprogram. Studiens resultat gavs av fyra befintliga metoder för konvertering och det konverteringskript som skrevs inom fallstudien. Jämförelsen mellan konverteringsmetoderna försvårades av att BIM-modellerna skiljde sig mot varandra.

Jämförelsen behövdes göras för all delar av konverteringen från den inlästa modellen till syftet med konverterings resultat. Dessutom är det viktigt att jämföra de olika metoderna utifrån hur automatiskt metoden konverterar och filtrerar modellen. Slutligen är det mycket som behöver göras för att kunna jämföra olika metoder för konvertering.

Lunds universitet
Institutionen för naturgeografi och ekosystemanalys
Sölvegatan 10, Lund

Förord

Denna studie är ett examensarbete för Civilingenjörsprogrammet inom Lantmäteri på Lunds Tekniska Högskola, skrivet och publicerat för Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskaper på Lunds Universitet. Studien är gjord hjälp av datamodeller från Lund och Helsingborgs kommun. I studien användes webbvisualiseringprogram från Agency9 och Complete 3D.

Tack Lars Harrie för din akademiska handledning och våra regelbundna möten genom en lång exjobbprocess.

Tack Per-Ola Olsson för att du delade det skriptet som på många sätt utgjorde fundamentet för den här studien.

Tack Örjan Falk, KTH, för att du genomförde en konvertering som annars varit ogenomförbar inom studien.

Tack Lunds och Helsingborgs kommun för det datamaterial som använts i studien

Tack Agency 9 och Complete 3D för att jag fick tillgång att testa och använda era mjukvaror.

Tack Kikki Nillasdotter för din hjälp i att göra denna studie läslig.

Tack Tiia-Marie för ett år av stöd i den här processen.

Tack familj och vänner för stöd och förståelse om mitt skrivande.

Jag är en dvärg på jättars axlar.

- Leonard B. O. Berge abbrevierat från Bernard De Chartres

Innehåll

Abstract.....	i
Förord	iii
Ordlista.....	v
1 Introduktion.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Problemområde.....	5
1.3 Syfte.....	5
1.4 Metod studie	5
1.5 Begränsningar.....	6
1.6 Studiens upplägg	6
1.7 Rapportdisposition	7
2 Användning av förenklade BIM-modeller inom samhällsbyggnadsområdet.....	7
2.1 Byggnadsinformationsmodeller (BIM).....	7
2.2 Detaljplanering	9
2.3 3D-fastigheter.....	9
2.4 Bygglov	10
3 Teknisk bakgrund	11
3.1 Datastandarder	11
3.1.1 Extensible Markup Language XML.....	11
3.1.2 Geografic Markup Language GML	12
3.1.3 IFC	13
3.1.4 CoClass	14
3.1.5 CityGML.....	14
3.1.6 Svensk geoprocess byggnad	17
3.1.7 Keyhole Markup Language KML	18
3.1.8 COLLADA	19
3.1.9 VRML och X3D	19
3.2 Verktyg för konvertering av BIM till geodata	19
3.2.1 Översikt av FME-skript.....	22
3.2.2 Exempel på konverteringsskript	23
3.2.3 Metod baserat på IFC-delmängd	27
3.2.4 Building information model server	27
3.3 Verktyg för visualisering	27
3.3.1 SketchUp	27
3.3.2 CityPlanner	27
3.3.3 Complete 3D.....	29
3.3.4 Mina Kvarter.....	30
4 Fallstudie	30
4.1 Val av fallstudie	30
4.2 Studieområde och data	31
4.3 Kravspecifikation för fallstudien	33
4.3.1 Krav konvertering BIM-modell till stadsmodell.....	33
4.3.2 Krav på visualisering av stadsmodell.....	34
4.4 Metod fallstudie	34
4.4.1 Val av konverteringsmetoder.....	34
4.4.2 Val av standard för den konverterade byggnadsmodellen	35
4.4.3 Utveckling av eget skript för konvertering av BIM-modeller	36
4.4.4 Val av verktyg för visualisering	39
5 Resultat och diskussion av fallstudie	39

5.1	Resultat konverteringsskripten BIM-data till geodata	39
5.1.1	Enkelt konverteringsskript	39
5.1.2	Utvecklat konverteringsskript.....	41
5.1.3	Olssons konverteringsskript	42
5.1.4	Metod baserat på IFC-del mängd	43
5.1.5	Det egna skriptet	45
5.1.6	Jämförande diskussion av konverteringsmetoderna	47
5.2	Georeferering av stadsmodellen	52
5.3	Visualisering av Byggnaden i Stadmodellen.....	53
5.4	Diskussion.....	54
6	Slutsats.....	55
	Bilaga 1	58
	Bilaga 2	63
	Ogrupperade och grupperade referenser	65

Ordlista

Ord	Beskrivning
BIM	ByggnadsInformationsModell, på engelska Building Information Management eller Building Information Modelling. <i>En datamodell för representation av byggnadsobjekt.</i>
B-reps	Boundary representation. <i>Ett geometriskt format där en volym representeras av en samling polygonala gränser.</i>
CAD	Computer-Aided Design. <i>Samlingsnamn för olika ritningsprogram.</i>
CityGML	City Geographic Markup Language. <i>En öppen geodatastandard för stadsobjekt.</i>
COLLADA	COLLABorative Design Activity. <i>En öppen datastandard för visualisering av grafisk data.</i>
ETL	Extract Transform Load. <i>En metodik för att bearbeta data där datan läses, transformeras och skrivs.</i>
FME	Feature Manipulation Engine. <i>En ETL mjukvara för konvertering mellan olika datastandarder.</i>
GIS	Geografiska InformationSystem. <i>Olika mjukvaror för att hantera geodata.</i>
GML	Geografic Markup Language. <i>En öppen datastandard för representation av geodata.</i>
IFC	Industry Foundation Classes. <i>En öppen datastandard för BIM-data.</i>
KML	Keyhole Markup Language. <i>En öppen datastandard för visualisering av geodata.</i>
LOD	Level Of Detail. <i>På svenska heter det detaljnivå. En nivåuppdelning av detaljeringen för 3D-geodata.</i>
LODt	Level Of Development. <i>Utvecklingsnivå, ett mått för att visa hur långt i byggnadsprocessen en BIM modell är</i>
MVD	Mode View Definition. <i>En ändamålsanpassad delmängd för IFC.</i>

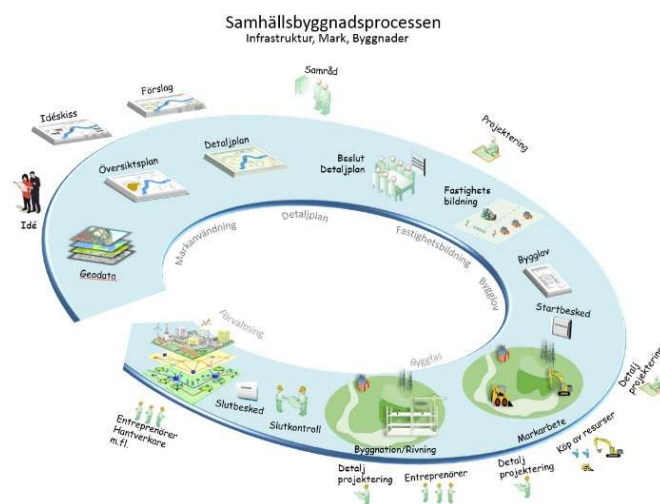
OGC	Open Geospatial Consortium. <i>Ett konsortium som definierar och publicerar öppna geodataspecefikationer.</i>
UML	Unified modelling language. <i>En metod och standard för att beskriva objekts relationer till varandra i en objektsorienterad datamodell.</i>
W3C	World Wide Web Consortium. <i>Ett konsortium som definierar och publicerar öppna webbstandarder .</i>
VRML	Virtual Reality Modeling Language. <i>En datastandard för visualisering av grafisk data.</i>
X3D	eXtensible 3D. <i>En datastandard för visualisering av grafisk data.</i>
XML	eXtensible Markup Language. <i>En datastandard för representation av data. Används för att implementera andra datastandarder.</i>
xQuery	XML Query. <i>Ett frågespråk för att söka igenom data enligt XML-standarderna.</i>
XSD	Xml Schema Definition. <i>En standard för att i detalj definiera hur en XML datastandard ska implementeras.</i>

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Samhällsbyggnadsprocessen är den process som används för att skapa och underhålla den byggda miljön. I Sverige är samhällsbyggnadsprocessen styrd via lagar och praxis. Processen definieras i Schelin et. al 2017 och Lantmäteriet 2018 som en process med tio steg se figur 1.1:

1. Grundläggande samhällsbyggnadsinformation
2. Tidigt skede, idé och förslag
3. Regional planering
4. Översiktsplan och detaljplan
5. Medborgardialog, samråd etc
6. Fastighetsbildning
7. Bygglöv
8. Detaljprojektering
9. Byggande
10. Förvaltning och återanvändning



Figur 1.1 Den svenska samhällsbyggnadsprocessen. Texten motsvaras av den numrerade listan till vänster (Lantmäteriet 2018)

Varje steg i processen för med sig egna

separata möjligheter och utmaningar. Inom stadsbyggnad använd olika former av modeller för att visualisera processen. Sveriges kommuner är ansvariga för planeringen och av den egna stadens utformning via detaljplaner. Detta ansvar är lagstadgat i *Plan- och bygglag (2010:900) 1 kap. 2§* genom det s.k. planmonopolet. Planmonopolet innebär att bara kommunen får fastställa gällande detaljplaner i den egna kommunen. Det finns andra offentliga instanser som gör andra typer av planer som inte ingår i kommunens planmonopol. På grund av att kommunerna själva ansvarar för sin detaljplanering utformar de delar av sin planprocess, vilket kan orsaka problem i flera skeden av samhällsbyggnadsprocessen. De problem som orsakas är inte internt inom kommunen utan extern gentemot andra myndigheter och privata aktörer inom samhällsbyggnadssektorn (Schelin et al. 2017).

Det har blivit allt viktigare att på olika sätt visualisera stadsmodeller som del av samhällsbyggnadsprocessen. Mycket av visualiseringen för myndighetstjänster och medborgardialog inom samhällsbyggnadsprocessen tillhandahålls idag via internet. Utvecklandet av de digitala myndighetstjänsterna och medborgardialogen via internet blir ett led i byggandet av den smarta digitala staden (Shiode 2000; Regeringen 2016). Sverige är ett väldigitaliserat samhälle

där 72 procent av befolkningen skickat in någon form av digitalt e-formulär via internet, jämfört med genomsnittet i Europa på 27 procent (SCB 2017).

Internet skapar ny möjligheter för direkt medborgardialog. Medborgardialogen kan skapas i anslutning till modellen med möjlighet för medborgare att kommentera i realtid på stadsplaneringen. Inom samhällsbyggnad är det ett väldokumenterat faktum att en välgenomförd medborgardialog ger förutsättningarna för en välbyggd stad (Al-Kodmany 1999). Visualiseringen utgör en intuitiv grund för medborgardialog och kan användas för att identifiering av problemområden samt deras lösningar. En digital tredimensionell modell (3D-modell) skapar förutsättningar för att visualisera både det nuvarande användandet av stadsrummet och dess planerade framtida användning.

Hur en stadsmodell ska visualiseras beror på syftet med visualiseringen. Visualiserade stadsmodeller kan användas som verktyg för byggnadsköp, panoraman, webbvisualisering, brottskartläggning, dataspel och förstärkt verklighet (eng. ”augmented reality”) (Biljecki et al. 2015). För enbart samhällsbyggande finns det också flera användningsområden där en välutformad 3D-modell skulle vara behjälplig, som trafikplanering, stadsplanering, bygglov, urbana väderförhållanden och tredimensionella fastigheter (Biljecki et al. 2015; Ljungblom et al. 2017).

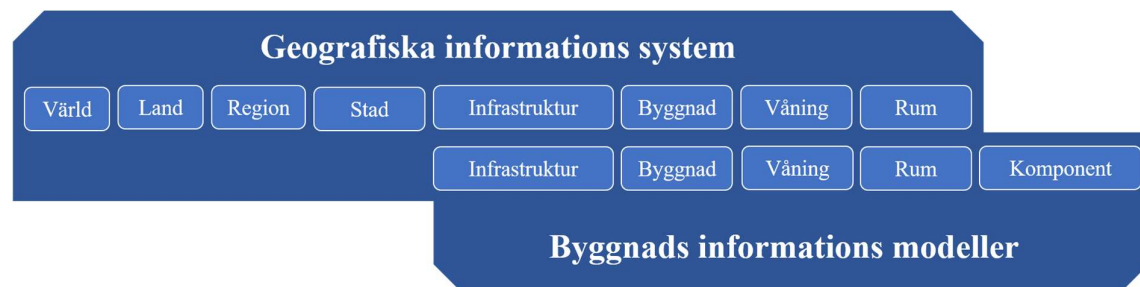
Med den nya digitala 3D-tekniken skapas nya intuitiva och lättillgängliga sätt att visualisera samhällsbyggnadsprocessen, som delvis kan ersätta den traditionella kartan i 2D (Ljungblom et al. 2017). Traditionellt har 2D-kartor använts för att visualisera det planerade markanvändandet (Wu et al. 2010). Än idag är 2D-kartans roll framträdande som informationsbärare inom samhällsplanering. Även bara sett till 2D öppnar den digitala tekniken upp för bättre spridning av 2D-kartor med dataformat lättolkade och enkla att sprida som PDF (Wu et al. 2010; Boverket 2017a). Genom att använda 3D-tekniker för visualisering blir det lättare för lekmannen att förstå planerarens intentioner då 3D-visualisering är utseendemässigt närmare det faktiska stadsrummet än en 2D-karta kan vara. 3D-visualiseringen via internet blir mer lättillgänglig eftersom cirka 85 procent av Sveriges befolkning använder internet dagligen (SCB 2018). Inom kontexten av den svenska samhällsbyggnadsprocessen skulle förbättrad visualisering vara särskilt nyttig för översikts-, och detaljplaner, 3D-fastighetsbildning samt bygglov.

Samhällsbyggnadsprocessen är mer datadriven idag, både för visualisering och analys (Biljecki et al. 2015; Ljungblom et al. 2017). För att visualisera och analysera finns olika datastandarder som oftast är implementerade med det ena ändamålet som utgångspunkt för en specifik teknisk tillämpning. Hur väl de olika datastandarderna för samhällsdata är integrerade med varandra beror på hur olika deras utgångspunkter är. Att utveckla metoder för hur datastandarder integreras med varandra underlättar skapandet av digitala myndighetstjänster (Byggtjänst 2016; Schelin et al. 2017; SGP 2018). För visualisering behöver det vara välformulerat hur data ska lagras för att sedan kunna ligga till grund för visualisering. Analys av den byggda miljön försvåras om kvalitén och utformningen av data är dåligt strukturerad. Nationellt försvåras analysen också av att de gemensamma svenska standarderna är dåligt applicerade (Johansson et al. 2016).

Situationen med standarder försvårar idag utbytet av samhällsdata över administrativa gränser och mellan olika aktörer. Det finns brister i informationsutbytet av samhällsdata mellan kommuner och byggföretag både för BIM-data och geodata (Ekholm et al. 2013; Johansson et al. 2016). I informationsutbytet mellan olika aktörer intresserade av samhällsbyggnad uppstår datafriktion. Aktörerna kan vara både offentliga, exempelvis kommuner, myndigheter eller privata aktörer, exempelvis arkitektfirmor och byggherrar. Datafriktionen mellan de olika aktörerna försvårar sammanfogandet av deras respektive 3D-modeller (Larsson 2015; Johansson et al. 2016). De offentliga aktörerna använder ofta geodataformat för 3D- eller 2,5D- medan byggnadsaktören använder 3DBIM-data. Varje aktör, både offentliga och privata, bestämmer själv vilken datastandard de ska använda. Att de själva bestämmer vilka datastandarder som ska användas har lett till att de alla använder olika. För att förenkla utbyte av byggnadsinformation över administrativa gränser har Svensk Geoprocess tagit fram en särskild standard för representation av georefererad byggnadsdata för att skapa modeller av den byggda miljön (SGP 2018).

Mellan informationsteknikerna BIM och GIS finns en informationsöverlappning och ett informationsglapp, se figur 1.2. Informationsteknikerna är båda anpassade för att beskriva och analysera liknande objekt, exempelvis byggnader. Informationsteknikens användningsområden bestämmer hur objektet beskrivs, modelleras och analyseras. BIM och GIS har olika perspektiv på vilken data som är relevant för att beskriva samma objekt och därmed skiljer sig även detaljeringsnivån på data dem emellan (Ljungblom et al. 2017), se figur 1.2. Hur de båda informationsteknikerna genererar information har sitt ursprung i det traditionella användandet av kartan respektive ritningen (Almqvist et al. 2016). I en karta är ofta en byggnad en liten del men i

en ritning är den enskilda bygganden hela syftet. Byggnader i GIS beskrivs därför mer generellt, anpassat för att visualisera och analysera stora datamängder. Byggnader i BIM beskrivs däremot specifik, anpassad för att visualisera och analysera den enskilda byggnadsmodellen. BIMen behöver innehålla all information för att uppföra en byggnad, ibland beskriven ner på minsta muttern (Isikdag och Zlatanova 2009). BIM har, utöver att ge information uppförandeskedet, alltmer utvecklats för att ge och uppdateras med information genom en byggnads hela livscykel (Byggtjänst 2016). Idag genomgår BIM dessutom en förändring där ett ”Big Data”-perspektiv inkluderas, där en BIM-modells data används för andra tillämpningar än byggnadens modellering (Zlatanova och Isikdag 2016).



Figur 1.2 Överlappning av perspektiven mellan BIM och GIS efter Liu et al. 2017

För att konvertera mellan BIM och GIS behöver man överbrygga informationsglappet mellan informationsteknikerna. För att genomföra en konvertering behöver dessutom tillvägagångssättet för överbyggandet av informationsglappet klargöras inom dessa områden:

- Detaljeringsnivå: Vilken data som behövs inom vilket de olika informationsteknikerna skiljer sig åt. Då BIM-data generellt har en högre detaljeringsnivå behöver ofta data filtreras bort (Isikdag och Zlatanova 2009).
- Semantik: Det är inte säkert att samma ord betyder samma sak i det andra fältet. De använder olika hierarkiska strukturer för att organisera data i (El-Mekawy et al. 2012).
- Geometri: Geometriernas data representeras olika mellan de båda fälten. Den geometriska datan representeras olika inom olika standarder (Donkers et al. 2016).
- Koordinatsystem- eller skal- förändring: Om BIM data har tillräckligt stor geometriskt spridning uppstår förvriddningar pga. projektionsfel (Uggla och Horemuz 2018).

1.2 Problemområde

Inom samhällsbyggnadssektorn pågår just nu ett omfattande arbete för att digitalisera samhällsbyggnadsprocessen. Att digitalisera samhällsbyggnadsprocess skulle göra den lättare att analysera och visualisera. För att genomföra en sådan digitalisering behövs standarder för 3D-representation, datalagring och visualisering samt väldefinierade metoder för konvertering och integrering mellan standarderna.

Modeller över hela städer kräver stora och komplexa datamängder. Om visualiseringen av modellen ska vara till nytta för medborgardialog och förenkla planarbetet behövs en mjukvara som är lämpad för den typen av visualisering. Mjukvaran ska implementeras med hjälp av lämpliga datastandarder för att kunna upprätthållas på ett enkelt sätt. Dessutom behöver mjukvaran vara intuitiv och användarvänlig för de som ska upprätthålla den.

Vid visualisering av framtida bebyggelse behöver det finnas metoder för att konvertera från modeller för konstruktion till modeller för visualisering. Konverteringsmetoden behöver vara väldefinierad mellan modellerna med avseende på semantik, geometri och koordinatsystem.

1.3 Syfte

I denna studie undersöks informationsglappet mellan informationsteknikerna BIM och GIS. Utöver detta undersöks hur en förenklad BIM-modell kan användas som visualiseringsstöd i samhällsbyggnadsprocessen. Studiens syftar också till att visa hur man kan använda konverteringsmetoder från BIM-modeller till geodatamodeller för att överbygga informationsglappet. Vidare ska en konverteringsmetod utvecklas och jämföras med existerande metoder.

1.4 Metod studie

För att uppnå syftet görs studien i två principiella steg, ett kartläggande steg och ett tillämpande steg. Först kartläggs informationsglappet och var behoven finns i samhällsbyggnads processen. Kartläggningen av informationsglappet görs över fyra aspekter:

1. användningsområden där det finns behov av visualisering som kan understödjas av BIM-modeller
2. befintliga standarder för 3D-data både för BIM-data och geodata samt hur formaten passar för visualiseringsstöd

3. befintliga konverteringsmetoder från BIM-data till geodataformat som är lämpligare för visualiseringsverktyg och mjukvaror som kan användas för att visualisera samhällsbyggnadsprocessens data

Efter kartläggningen av informationsglappet appliceras informationen i en fallstudie. Det andra principiella steget är tillämpning ska informationsglappet mellan informationsteknikerna överbyggas med en konverteringsmetod. Konkret väljs ett format för BIM-modeller och stadsmodellen att konvertera mellan. Baserat på befintliga konverteringsmetoder implementeras en ny metod för konvertering från en BIM-modell till en modell för visualisering. Inom fallstudien kommer dessutom en stadsmodell georefereras och visualiseras. Avslutningsvis jämförs sedan den för studien implementerade konverteringsmetoden med befintliga metoder.

1.5 Begränsningar

Litteraturstudien är sammanställd utifrån ett perspektiv av kommuners roll i samhällsbyggnadsprocessen. Därmed lyfts inte den enskilde medborgarens, byggnadsföretagarens, det nationella eller regionala myndigheternas perspektiv. Perspektivet är avgränsat till detta för att matcha den data som finns från fallstudien. Fallstudien är begränsad till Lund och Helsingborg. Från Lund används en BIM-modell av Nyåkerskolan och en stadsmodell över delar av Lunds tätort. Från Helsingborg används två BIM-modeller över en kontorsbyggnad. Det resultat som diskuteras blir därmed direkt beroende av välanpassade data som använts, och hur väl datan uppfyller nationella och internationella standarder och riktlinjer.

1.6 Studiens upplägg

Denna studie granskar informationsglappet mellan BIM och GIS. Informationsglappet granskas genom att kartlägga de tekniska förutsättningarna för datakonvertering mellan BIM-modeller och geodatamodeller samt 3D-stadsmodellering. De tekniska förutsättningar för datakonvertering som finns i dagsläget granskas genom att kartlägga användningsområden för 3D-stadsmodellering. Kartläggningen av dagsläget görs i studien både utifrån var de tekniska tillämpningarna har sina användningsområden och vilka standardformat som kan användas för att implementera tillämpningarna. Inom studien studeras befintliga metoder för konvertering av BIM-modeller. Behoven av tekniska tillämpningar appliceras sedan på en fallstudie med modeller från Lunds och Helsingborgs kommun. I fallstudien implementera en egen metod för konvertering från BIM-data till geodata. Den egna konverteringsmetoden jämförs sedan och diskuteras relativt de befintliga metoderna. Från jämförelsen mellan konverteringsmetoderna görs

en slutsats kring tekniska förutsättningarna 3D-stadsmodellering med hjälp av förenklade BIM-modeller. I fallstudien visualiseras och georefereras en stadsmodell som sen diskuteras.

1.7 Rapportdisposition

Rapporten inleds med 2 *Användning av förenklade BIM-modeller inom samhällsbyggnadsområdet* i kapitel 2. Tillämpningarna utgör därefter basen för rapportens frågeställning. I kapitel 3 *Teknisk bakgrund* kartläggs befintliga standarder för olika typer av data standardformat för datarepresentation, stadsmodeller, visualisering och byggnadsmodeller. Kapitlet kartlägger också verktyg för konvertering från BIM till GIS och verktyg för att visualisera 3D-modeller. Den mer tillämpade delen börjar med kapitel 4 *Fallstudie* som anger vilka data som funnits att tillgå, en kravspecifikation på vad data ska vara anpassat för och ett val av de standarder och verktyg som bäst kan uppfylla kraven utifrån rapportens syfte. I kapitel 5 *Resultat och diskussion* presenteras och diskuteras de framtagna resultaten. Slutligen utgör kapitel 6 *Slutsatser* de slutsatser som kan dras utifrån rapportens syfte.

2 Användning av förenklade BIM-modeller inom samhällsbyggnadsområdet

2.1 Byggnadsinformationsmodeller (BIM)

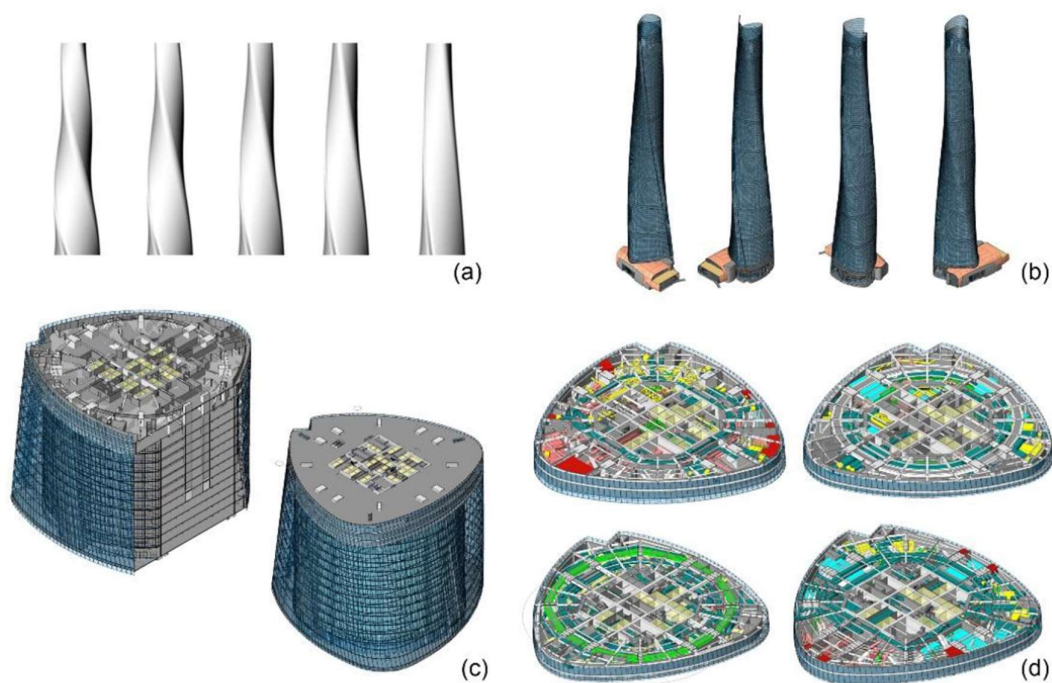
BIM som system utvecklades för att täcka behov som uppstår med den digitala CADen. Penttilä (2006) beskriver BIM som en metodologi för att handskas med den essentiella byggnadsdesignen och projekteringsdatan genom en byggnads livscykel. CAD är, till skillnad från BIM, endast till för att skapa och hantera en byggnads geometriska data (Penttilä 2006). En BIM-modell innehåller information kring en byggnads topologi, geometri och semantik kring alla byggnadens byggnadsdelar (Nagel et al. 2009). Därmed är CAD alltså en sorts digital arkitektonisk ritning och BIM blir en ritning med ett informationslager. Informationslagret bär abstraktare information snarare än direkt ritningskopplad fysisk information. Exempel på abstrakt information kan vara användningsutrymme och processinformation. (Tolmer et al. 2013). När CAD och BIM är välintegrerade med varandra kan detta leda till stora besparingar för byggnadsföretag. Bland annat kan vinster ske i bättre och mer ändamålsenliga produkter, effektivare byggnadsprocesser, högre kvalitet i processer och produkter, kortare (BAS 2018)

Inom BIM finns ett väletablerat begrepp, utvecklingsnivå (eng. "level of development"), som anger hur välutvecklad en BIM-modell är. Utvecklingsnivå saknar en universell definition, istället

definieras utvecklingsnivå inom fältet eller företaget där byggnadsmodellen produceras.

Huvudpoängen med olika utvecklingsnivåerna är inte visualisering utan att specificera och peka ut specifika kvaliteter under byggnadsprocessen (Tolmer et al. 2013). BIMForum (2018) specificerar utvecklingsnivåer LOD100-LOD500 principiellt representerade i figur 2.1:

- LOD100 En approximativ modell, elementen är inte geometriska representationer. Inget är exakt där det ska vara.
- LOD200 En approximativ modell, elementen fungerar som platshållare. Det kan gå att se vilken komponent elementet representerar eller så representerar det bara en rymd.
- LOD300 Kvantiteten, storleken, formen, lokaliseringen och orienteringen av elementet kan utläsas direkt från modellen utan att slå upp det i andra källor. Projektet är georefererat med en ursprungspunkt och kan lokaliseras utifrån det.
- LOD350 Utöver LOD 300 kan också delar som är nödvändiga för att koordinera element med närliggande eller ihopsatta element modelleras. Delarna kan vara objekt som stöd eller koppling.
- LOD400 Utöver LOD 350 kan elementen vara modellerade med tillräcklig noggrannhet och detaljeringsgrad för att kunna fabricera elementet som en komponent.
- LOD500 Är kopplat till fältstandarder.



Figur 2.1 Principiell bild av utvecklingsnivåerna (a) LOD100 (b) LOD200 (c) LOD300 (d) LOD400 från Lin et al. 2017

2.2 Detaljplanering

En detaljplan i tre dimensioner skapar flera möjligheter för att visualisera stadsplanerna för medborgarna, vilket i förlängningen skapar förutsättningar för ett förenklat bygglovsförfarande (Ljungblom et al. 2017). En 3D-modell skulle också i utredningsfasen kunna vara en förutsättning för automatiskt återkommande analys inför exploatering, t.ex. översvämningskartering, bulleranalys och trafikanalys (Batty et al. 2000). En väl inkorporerad 3D-modell skapar möjlighet att visualisera framtida bebyggelse, se figur 2.2 (Ljungblom et al. 2017).



Figur 2.2 principiell jämförelse mellan 2D- detaljplan och 3D-detaljplan. Bearbetad från bilder ur Ljungblom et al. (2017). Texten i den vänstra bilden är detaljplanebestämmelser och beskrivning av byggnaderna i 3D. Den högre bilden är av ett annat område men med detaljplanebestämmelser i en 3D-modell.

2.3 3D-fastigheter

Traditionellt sett är fastigheter begränsade 2D-markområden. Ny informationsteknik och tätare städer har dock lett till att man idag även kan definiera en fastighet som en avgränsad 3D-volymer Jordabalken (1970:994)1 kap. 1§. Historiskt sett skapades servitut och ledningsrätter för att ianspråkta 3D-utrymmen. Det ställs flera krav på 3D-fastigheter för att få bildas än vad det gör på en traditionell fastighet. Primärt skapas nyttan med 3D-fastigheter i täta större städer. Då registerkartan i dag är gjord i 2D blir det svårt att uttolka var 3D-fastigheter finns (Andrée et al. 2017).

För samhällsbyggnadsaktören som ska ansöka om förrättning finns det fyra problem. Problemen kan variera beroende på vem det är som ansöker om förrättningen (Andrée et al. 2017). Det första problemet för den sökande är att det är svårt att veta vad som behövs för att illustrera de framtida önskade gränserna, nyttjanderättigheterna och gemensamhetsanläggningarna för den tänkta fastigheten. Det andra problemet är att även om det är tillåtet att göra digitala ansökningar

(FBL 2016), är formatet fortfarande i 2D vilket gör det svårt att uttyda hur den ansökta 3D-fastigheten kommer passa in i fastighetsbeståndet. Ett problem att uttyda ansökan gör ansökningstiden för en 3D-fastighet utdragen jämför med en motsvarande 2D-fastighet. Det tredje problemet handlar om att det finns få riktlinjer för den ansökande med hänseende på precision på det material som ska ligga till grund för förrättningen. Därmed är det svårt att veta exakt vad som ska lämnas in med förrättningsansökan för att förrättningen ska kunna genomföras så funktionellt och effektivt som möjligt. Det fjärde problemet är att det ofta är svårt och dyrt att framställa bra 3D-modeller för den ansökande. Problemet går idag bara att kringgå med tekniskt och juridiskt kunnande samt kapital.

Idag skapar Lantmäteriet en registerkarta över alla fastigheter. Kartan är dåligt lämpad för att visualisera ägandeförhållanden bland 3D-fastigheter. Därför diskuteras det hur man bäst skapar en registermodell i 3D. Ett problem som redan existerar med registerkartan är att många redan nu övervärderar dess noggrannhet, trots det faktum att noggrannheten i registerkartan kan variera mycket mellan punkter. Det enda sättet idag att få en garanterat korrekt återgivning av fastighetsindelningen är att gå till de faktiska förrättningshandlingarna. En 3D-registermodell skulle göra visualiseringen av 3D-fastigheten tydligare. 3D-registermodellen skulle kunna skapa samma problem som hos registerkartan om den blev misstagen för den faktiska fastighetsindelningen (Andrée et al. 2017).

En 3D-registermodell behöver finnas i åtanke under hela fastighetsbildningsprocessen från den inlämnade modellen av byggnaden till 3D-modellregistret. I modellen av byggnaden ska informationen som är intressant för 3D-indelningen finnas angiven alternativt ska ansökaren kunna få hjälp med att skapa en modell för ändamålet. När 3D-fastigheten har laddats upp behöver den kombineras med gamla fastigheter för att kunna visualiseras inom sin kontext. Bara angränsande fastigheter som påverkas av fastighetsbildningen torde behöva visualiseras i 3D för att ge kontext till den nybildade fastigheten (Andrée et al. 2018).

2.4 Bygglov

Bygglov är den del av samhällsbyggnadsprocessen där en sökande ansöker om lov av kommunen att bygga någon form av anläggning. För att kommunen ska ge bygglov behöver bygget vara i enlighet med detaljplanen och andra regleringskrav. Om kommunens bygglovshandläggare bedömer att den enskildas byggnadsförslag uppfyller de ställda kraven ges ett bygglov för att få uppföra byggnaden (Boverket 2017b). Bygglov skulle tjäna på att en modell fanns i tre

dimensioner för att skapa mer intuitiv förståelse av vad som enligt gällande bestämmelser kan tillåtas att byggas. Om detaljplanen är digital, blir ett tänkbart framtida scenario att ett bygglov automatiskt kan analyseras inom kontexten av en digital analyslåda som utgör den fysiska begränsningen av byggrätten. I lådan skulle sedan en BIM-modell automatiskt analyseras utifrån, i detaljplanen satta, kriterier som exploateringsgrad, våningar, volym etc. (PBL 2010; Ljungblom et al. 2017). För att få bygglov behöver vissa kriterier hos byggnaden uppfyllas. Kriterierna kan kategoriseras som kvalitativa, kvantitativa och visuella. Analysen av de kvantitativa och visuella kriterierna kan med fördel automatiseras (Olsson et al. 2018).

I Danmark har arbete mot en digitalisering av bygglovet påbörjats med att bygglovsansökningarna görs via en hemsida som är nationell istället för kommunspecifik (Almqvist et al. 2016; Bygogmiljoe.dk 2017). I Sverige pågår ”Får jag Lov”, ett liknande bygglovsprojekt hos Boverket för att utveckla digitala e-tjänster för bygglovshantering (Boverket 2016).

3 Teknisk bakgrund

3.1 Datastandarder

Standardisering är viktigt ett förenklat utbyte av information mellan olika användare inom ett fält och mellan användare inom olika fält. Enligt Schelin et al. (2017) är ett obrutet standardiserat dataflöde ett krav för att skapa en digital samhällsbyggnadsprocess. Avsnittet kring datastandarder är uppbyggd kring 4 grupperingar av standard format:

1. Standarder för datarepresentation: XML och GML
2. Standarder för BIM: IFC och CoClass
3. Standarder för representation av stadsmodeller: CityGML och SGPByggnad
4. Standarder för visualisering: KML, COLLADA, VRML och X3d

Standarder för grafisk representation som t.ex. Colladas, X3M är ofta mer grundligt testade och utvecklade än de för geografisk data som GML3 och CityGML (Zlatanova et al. 2012).

3.1.1 Extensible Markup Language XML

XML är ett format för att lagra och transportera data. Det används för att beskriva innehållet och strukturen hos data. Filer bildade i XML-format får därigenom sin semantik och struktur definierade. XML-filer är därmed läsliga både för människor och maskiner (W3Schools 2018b). Dessa egenskaper hos XML byggs upp av ett flertal validerbara strukturkrav, exempel på XML ges i figur 3.1.

```

<?xml version="1.0" encoding="iso-8859-1"?> <!--Deklarations raden talar om version och tecken
XML filen läser -->
<Rot> <!--Det första elementet -->
  <Över_Element attribut="Över Element">
    <Under_Element1 attribut ="Barn till Över Element"> Element_Värde_1
  </Under_Element1>
    <Under_Element2 attribut ="LöV"> Element_Värde_2 </Under_Element2>
  </Över_Element>
</Rot>

```

Figur 3.1 Exempelskrift av ett XML-filformat. Figuren är skapad i studien för att visualisera en valid XML-fils struktur.

En XML-fil är uppbyggd i fyra graderingar: XML-deklarationen, rotelement, mellanelement och lövelement. Filen börjar med att deklarerar att det är en XML-fil. I deklarationen anges vilken XML-version och teckenkodning som används. Direkt efter deklarationen står rotelementet som är det översta elementet och överelement till alla andra element. De element som kommer under rotelementet är mellanelement eftersom de både är underelement till roten men också kan vara överelement till andra element. Slutligen kallas de element som inte har några underelement för löv. Den beskrivna elementstrukturen är en hierarkisk trädstruktur (W3Schools 2018b).

Varje element behöver följa ett mönster. Ett elementvärde behöver omslutas av elementets taggar. Överelement ges ett värde av dess underelement. Elementens attribut ges ett attributvärde i den öppnande elementtaggen, attributvärdet måste vara en sträng och anges inom citationstecken. Till sist måste ett XML-dokument vara korrekt innästlat, alltså ett underelements taggar får inte vara runt dess överelements elementtaggar se figur 3.1 (W3Schools 2018b).

Med ett XML-schema kan ytterligare validerbara krav definieras för data. Kraven som schemat definierar kan handla om struktur, semantik och innehåll för att XML-filen ska vara valid. De flesta fälteigna tillämpningarna av XML definieras genom att de har ett eget schema (W3Schools 2018a). Flera fält har en eller flera egna tillämpningar av XML såsom dataformaten GML, CityGML, KML, Collada, X3D och IFC.

3.1.2 Geografic Markup Language GML

Geografic Markup Language (GML) är en standard från Open Geospatial Consortium (OGC) för utbyte av geospatial information och är implementerad som ett XML-schema. GML är inte en semantisk standard, då den anger objektens geometrier och georeferering inte vad objekten är.

GML3 tillåter s.k. profiler som kan implementera en delmängd av GML:s schema för ett specifikt ändamål. Reglerna för en profil är följande (OGC 2007):

- En profil ska vara en logisk restriktion av en delmängd till GML3.
- Profilen ska inte ändra på namn, definition eller typ av data för obligatoriska GML-element eller GML-attribut.
- Schemat profilen använder ska använda kärnan av GML:s namnrymd.
- En applikation får utöka och använda typer från profilen, men ska göra det i sin egna namnrymd och inte bara använda GML:s namnrymd.

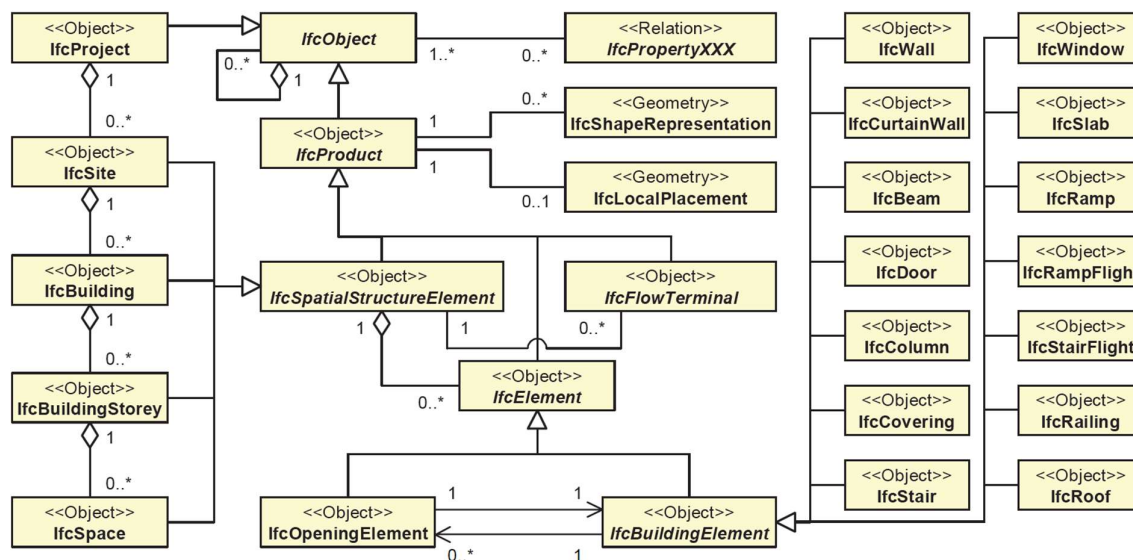
En GML-profil implementerar profilen också XML. Inom en svensk kontext har svensk geoprocess tagit fram en egen GML profil ”Registerkarta GML” för utbyte av geodata mellan svenska aktörer (Lantmäteriet 2017).

3.1.3 IFC

IFC står för ”Industry Foundation Classes”. IFC är en standard för byggnadsmodeller som används inom arkitektur, klimatteknologi, projekteringsförvaltning och tillgångsförvaltning (Tolmer et al. 2013). Standarden uppdateras och upprätthålls som en öppen standard från det internationella branschorganet BuildingSMART och har till syfte att förenkla datautbyte av byggnadsinformationsmodeller (BIM). Standarden har ISO numret 16739. Formatet har som syfte att ge bra data genom en byggnads hela livscykel, från planeringen till förvaltningen. I en byggnadsmodell kan inte bara fysiska aspekter sparas som dörrar och väggar, utan också mer abstrakta som utrymme, organisation och process (Tolmer et al. 2013). I figur 3.2 presenteras ett ”unified modelings language”-schema (UML-Schema) över formatet och i bilaga 1 beskrivs de olika IFC-entiteterna utförligt. Geometrierna för en IFC-entitet kan byggas upp enligt tre geometriska modeller (Donkers et al. 2016) :

- CSG – Det geometriska objektet skapas genom en booleansk sammansättning (snitt, union och differans) av enklare geometrier. Det kan sägas att geometrin skulpteras fram ur en grund form (Abdul-Rahman och Pilouk 2008).
- Sweep volume – 3D-geometrier definierade av en primitivare geometri som rör sig ut med en stig i 3D-rymden. Objektets 3D-geometri definieras därmed genom att använda fyra rumsliga dimensioner: X,Y,Z och stig (Wang och Wang 1986).
- B-rep –3D-geometrin skapas genom en samling av ytor och gränser. Samlingen implicerar geometrin genom att visa vad som utgör dess gränser mot vad som inte är del av den (Abdul-Rahman och Pilouk 2008).

En IFC-fil är antingen en binärfil som kallas .IFC eller en XML-fil som då kallas .IFCXML. IFC:s dataobjekt kan delas upp i ett flertal ändamålsanpassade delmängder så kallade MVD:er. En MVD används för att koppla en delmängd av IFC dataobjekt till ett visst ändamål. Användbara ändamål för MVD:er är exempelvis konvertering till geodata eller för representation av 3D-fastigheter (Isikdag och Zlatanova 2009; Andrée et al. 2017).



Figur 3.2 UML-schema över IFC:s entiteter från Nagel et. Al 2007 baserat på ISO 16739 dvs IFC

3.1.4 CoClass

Är en svensk klassificeringsstandard för BIM (Byggtjänst 2016). Standarden är objektorienterad och kan representera objekt som är användbara för den bebyggda miljön. CoClass följer ISO 12006:2 vilket är en internationell standard för hur en standarder för byggnader ska utformas (ISO 2015). Standarden anger inte geometrier för byggnaden utan standardiserade utföranden av olika byggnadsdelar som väggelement. CoClass byggdelsobjekt går att använda länkat till IFCs olika entiteter, för att göra CoClass användbar i ett internationellt perspektiv. En utvald delmängd av datamodellens objekt kan också vara lämplig som grund för fastighetsbildning (Andrée et al. 2017).

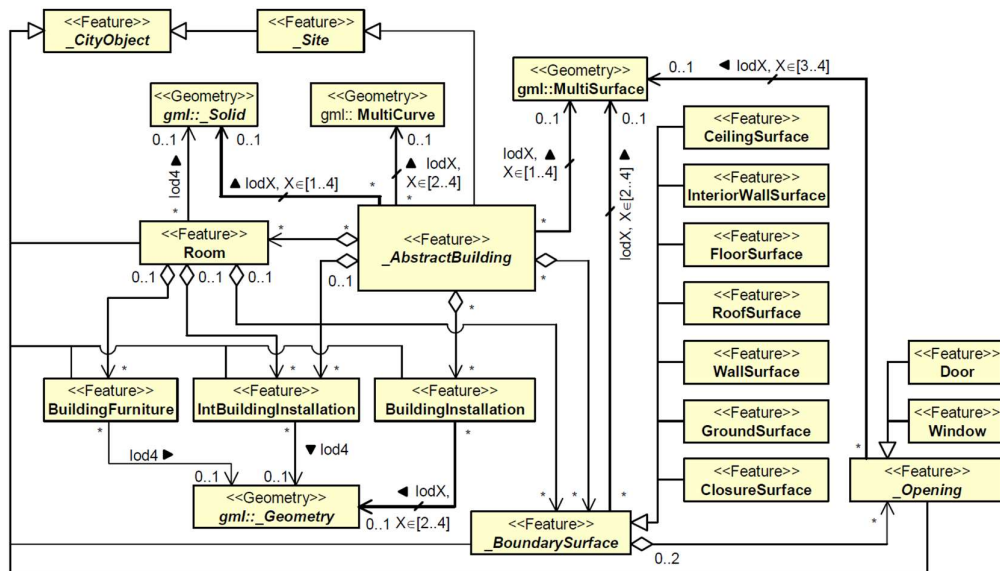
3.1.5 CityGML

CityGML är en standard från OGC som används för representation av 3D-stadsbyggnadsmodeller (OGC 2012). Standarden är implementerad med ett XML-schema och

skapades för att vara en gemensam modell för informationsutbyte mellan olika användare. CityGML används därför främst för datautbyten mellan olika aktörer (Zlatanova et al. 2012).

CityGML-standarden är uppbyggd i två informationslager, ett lager med information om byggnadens geometri och ett lager med information om byggnadens semantik. För geometrisk information använder CityGML en delmängd av GML3. Geometrier i CityGML representeras enbart som B-reps (se avsnitt 3.1.3) där objektets volym definieras av sina gränssytor (Donkers et al. 2016). Informationslagret för semantisk representation är definierad inom formatet och har till syfte att ge 3D-stadsmodellen mening kopplad till verkligheten (OGC 2012). Den semantiska delen av standarden möjliggör datautbyte mellan olika användare där samma objektstyp semantiskt beskrivs och kategoriseras på samma sätt.

CityGML är uppdelad i en kärna, som innehåller de viktigaste objekten för byggnadssemantik och geometri, och förlängningar, som innehåller mer tillämpnings specifik semantik och geometri. Endast kärnan behöver vara implementerad för att CityGML-filen ska vara validerbar enligt den egna schemaspecifikationen. I figur 3.3 visas CityGML:s UML-schema.



Figur 3.3 UML schema över CityGML -objekt. Nagel et. Al 2007 baserat på ISO 19107 och ISO 19109 dvs CityGML och GML3

Detaljnivå (eng. "level of detail" förkortat LOD) är ett normaliserat mått på hur detaljrik en 3D-modell är i CityGML. Vilken detaljnivå som är lämplig att använda beror på syftet med 3D-modellen. Detaljnivåerna i CityGML utgör de facto standarden för hur detaljnivåer i 3D-

GISmodellering ska användas och byggas upp (Biljecki et al. 2014b). Detaljnivådefinitionen i CityGML är ofta direkt kopierad i andra standarder för semantiska 3D-stadsmodeller.

De olika detaljnivåerna är inte utformade för att optimera dataproessen för visualisering av objektet, utan anger nivån på detaljerna och precisionen hos objektet (Zlatanova et al. 2012). De olika detaljnivåerna anger precisionen hos 3D-koordinaterna hos modellen, där precisionen ökar med en högre nivå och är visualiserat med exempel i figur 3.4. De lägre nivåerna LOD0 och LOD1 ger väldigt enkla modeller. LOD0 är en 2,5D-digital terrängmodell, dvs. avbildad som en yta (Johansson et al. 2016). LOD1 är en enkel 3D-modell där alla byggnader representeras som kubistiska block utan snedtak se figur 3.4, visuellt blir det en stad av vita boxar. LOD1 kan användas för översiktlig visualisering av landskap, stadsmiljö och vissa moment av fastighetsbildningsprocessen. LOD1 kan även användas vid enklare analys av sikt längs med marken, energiförbrukning, buller, solpaneler på fasaden, skuggor, vågutbredning telefoni och översvämning (Johansson et al. 2016). Mer intressant för visualisering är de högre visualiseringsnivåerna och vad de bidrar med. de utgör i ordning nedan (Kolbe 2009):

- LOD2modeller har fått snedtak, se figur 3.4, och större byggnadsinstallationer, så som balkonger och trappor. Alla installationsobjekt representeras som förenklade modeller. Med en LOD2-modell förbättras alla visualiserings- och analysmöjligheter jämfört med LOD1. LOD2 blir en förutsättning för solpanelsplanering därför att snedtaket är inkluderat.
- LOD3modellens byggnadsarkitektonisk exteriör är komplett med detaljerade väggar, fönster och dörrar. LOD3 är lämplig för högkvalitetsvisualisering över mindre områden vid stadsplanering, nyexploatering/bygglov, räddningstjänst och VR-applikationer. Eftersom LOD3 inkluderar dörrar och fönster kan bättre analyser av energiförluster göras. Fönsterna i LOD3 ger möjlighet till analyser av hur mycket dagsljusinsläpp och insyn en byggnad har (Johansson et al. 2016).
- LOD4modeller inkluderar byggnadens interiör och hamnar därmed närmast en BIMs detaljeringsgrad. LOD4 är lämplig för högkvalitetsvisualisering för räddningstjänst, 3D-fastighetsbildning samt VR-applikationer (Johansson et al. 2016).



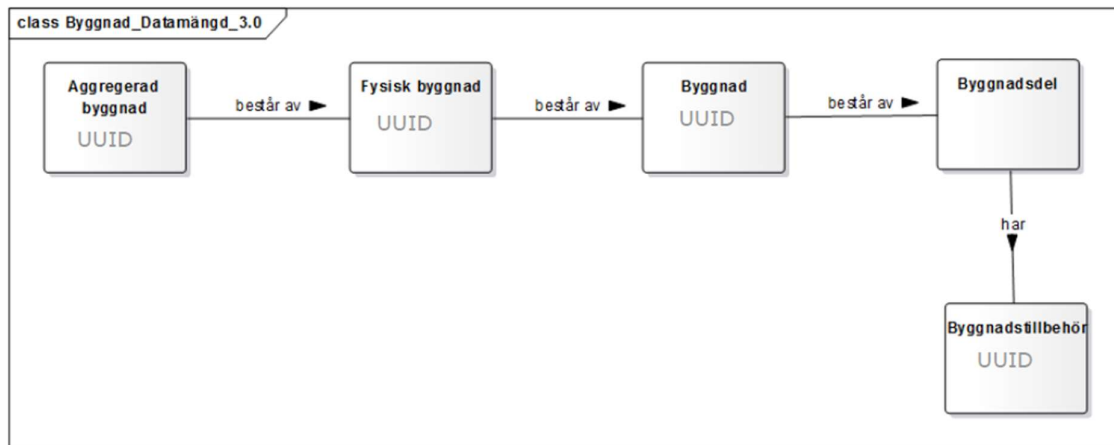
Figur 1.4 Modell av de olika detaljnivåerna som sedd i Donkers et al. (2016) efter Biljecki et al. (2014a)

De flesta 3D-modeller gör idag i LOD1 och LOD2 eftersom de är betydligt lättare att generera automatiskt än LOD3 och LOD4 (Donkers et al. 2016).

3.1.6 Svensk geoprocess byggnad

Svensk geoprocess tog fram en egen geodatastandard för byggnader (SGP byggnad). Standarden skapades för att möjliggöra ett enklare datautbyte över administrativa gränser i Sverige (Geodata 2016; Andrée et al. 2017; SGP 2018). SGP byggnad är starkt influerad av de standarder som tagits fram för CityGML exempelvis definieras de olika detaljnivåerna snarlika. Det skillnader som finns mot CityGML är mestadels influerade av Inspire Building (INSPIRE 2013), alltså EU-kommissionens geodatadirektiv för representation av byggnader. SGP byggnad är implementerad med ett XML-schema.

Alla objekt i en SGP Byggnads-fil har ett ID och ett datum då de skapades. Geometrierna har ett angivet koordinatsystem som anges med projektionen EPSG kod, en internationell kodifiering av lokal, regional, nationella och globala geoprojektioner (epsg 2018). SGP definierar flera typer av geometrier i både två och tre dimensioner. Då många olika typer av data som används i samhällsbyggnadsprocessen är kopplad till byggnader finns det möjligheter för olika användaren att länka data till en specifik byggnads egna unika id, på det viset skapas möjligheter att skapa en uttömmande informationsmodell av byggnaden. I figur 3.5 beskrivs hur de universell unika identifierarna byggs upp.



Figur 3.5 Beskrivning av UUID för byggnader enligt SGP byggnad (SGP 2018)

Byggnadsobjektet utgör en separat anläggning såsom den delas av fastighetsgränser i 2D eller 3D exempelvis så skulle en ägarlägenhet eller ett radhus här definieras som sitt egna byggnadsobjekt. Objektet den fysiska byggnaden blir sedan det som mest liknar den faktiska byggnaden alltså den sammanhängande enheten, som exempelvis en radhuslänga. Slutligen utgör aggregerad byggnad ett aggregat av fler ihop hängande byggnader. Som stenhus eller dylikt där de olika byggnaderna byggts i etapper och därmed inte är samma byggnad utan bara en sammanhängande byggnad. Byggnadsdelen utgör en distinkt särskild del av en byggnad, byggnadsdelen kan definieras särskild utifrån funktionella eller fysiska aspekter. Byggnadsstillbehör utgör slutligen i princip fristående delar av en byggnad såsom brandtrappor (SGP 2018).

3.1.7 Keyhole Markup Language KML

Keyhole Markup Language skapades för att visualisera georefererade geometrier på webben. Formatet implementerades av företaget Keyhole inc som sedan har köpts upp av Google (OGC 2015). Efter köpet har KML blivit en välanvänd standard för webbvisualisering och en OGC-specifikation. KML är implementerad som ett XML-schema. Webbvisualiseringsstandarden används av Google Earth och stöds för export från exempelvis Sketchup.

KML är en standard för grafisk visualisering och hanterar därför inte objektets semantik (OGC 2015). Standarden hanterar ett objekts geometrier och georeferering inte vad objektet ska föreställa. KMLs struktur är anpassad för att georeferera och visualisera 3D-geometrier i en jordsökmotor. Den enda jordsökmotorn just nu är Google Earth. Geometrierna för 3D-visualiseringen kan därför antingen skrivas direkt i KML-filen eller i en länkad COLLADA-fil. KMLs huvudsyfte är att georeferera det som ska visualiseras snarare än att faktiskt användas för

visualisering. Därför är det ofta bättre att använda en länkad och lokaliserad COLLADA-fil för att visualisera. För att visualisera en modell behöver en ”modell”-nod först skapas. Noden innehåller all information om modellens georeferering och placering. I KML-dokumentet finns det då en ”Link”-nod som länkar till COLLADA-filen genom att visa filsökvägen för den. Det finns lösningar för KML-formatkonverteringar till och från CityGML (Kolbe 2009). För att minska det använda hårddiskutrymmet lagras ofta KML-filer som .kmz-filer vilket är zippade .kml-filer.

3.1.8 COLLADA

COLLADA står för ”COLLABorative Design Activity” och är en standard för webbvisualisering. Standarden skapades på initiativ av Sony men hanteras nu av the Kronos Group, vilket drivs av en samling företagspartner. Collada är implementerad med ett XML-schema för att standardisera representation av föremål. I Colladas XSD definieras flera dataobjekt för 3D-representation (Group 2008; Wiki 2018). Filformatet för en COLLADA fil är dae och zae som zippat format. Filen byggs upp av flera nodelement varje sådant element antas utgöra ett eget unikt objekt. En COLLADA-fil kan innehålla en *geographic_location* tagg för att georeferera filen. Geographic location är då en barnnod till ”asset”-noden som är den tagg för att ange meta-data för COLLADA filen. Colladas geometrimodell är uppbyggd kring B-repsolid av polygonala mesher och splines.

3.1.9 VRML och X3D

VRML och X3D samredovisas då X3D är en direkt vidareutveckling av VRML. VRML står för ”Virtual Reality Modeling Language” X3D står för ”Extendible 3D”. VRML är en standard för objektorienterad visualisering av 3D strukturer. Standarden skrivs som ett skript och inte som markup, och implanterar därmed inte XML. Skriptet påminner om C och C++ (Bullard 2018). VRML var de facto standard för 3D-representation på nätet under 90 talet (Shiode 2000). Extensible3D (X3D) är en ISO standard för visualisering av 3D objekt och 3D-scenerier utgivet av Web3D consortium. Standarden är en utveckling av VRML, till skillnad från VRML är X3D implementerad med ett XML-schema (Web3d.org 2018) .

3.2 Verktyg för konvertering av BIM till geodata

Att konvertera en BIM-modell för att fungera i en 3D-GIS-kontext kan ta upp till två arbetsveckor manuellt arbete. Längden en konverteringen tar beror på vilken detaljeringsnivå den ursprungliga modellen har (Almqvist et al. 2016). Konverteringen från en BIM-modell till en modell anpassad för 3D-GIS är lättare än konverteringen åt motsatt håll, för att BIM-modeller

har en högre detaljeringsnivå än 3D-GIS-modeller (Isikdag och Zlatanova 2009). Både BIM och GIS kan ha kapacitet att representera semantiska element. Den semantiska skillnaden mellan BIM- och GIS-element kan överbyggas med en gemensam UML-modell. El-Mekawy et al. (2012) gjorde en gemensam UML-modell för konvertering mellan BIM-standarden IFC och GIS-standarden CityGML. I UML-modellen kartläggs attributen och entiteterna relationer till varandra från de båda modellsystemen. Då relationerna är kartlagda förenklas konverteringen. Enligt Isikdag och Zlatanova (2009) behöver tre saker vara utförda för att möjliggöra konvertering från IFC till CityGML:

1. Det behöver finnas en regelbas som definierar relationen mellan de semantiska objekten i de båda formaten. Kartan mellan de båda formaten behöver vara definierad separat för alla detaljnivåer.
2. När kopplingen för varje objekt är skapad behöver en algoritmisk koppling byggas där det definieras hur de redan kopplade modellerna ska beräknas.
3. Till sist ska hanteringen av de övriga attributen från IFC till CityGML definieras och överförs. De övriga attributen är attribut som inte nödvändigtvis finns representerade i båda modellerna och därför behöver hanteras.

Enligt Liu et al. (2017) kan konverteringen mellan en BIM och en 3D-GIS -modell delas upp i tre nivåer. Varje nivå medför unika problem och svårigheter. De tre nivåerna utgör: en datanivå, en processnivå och en tillämpningsnivå. Integrering av BIM och GIS på en datanivå har tre generella lösningsmetoder som används var för sig eller tillsammans:

1. introduktion av ny välanpassade standarder
2. revidering och utveckling av gamla standarder
3. konvertering och översättning mellan olika dataformat.

Att integrera BIM och GIS på en processnivå handlar om att datan är distinkt och separerad från varandra men fortfarande kan arbeta utifrån varandra. På en tillämpningsnivå handlar det om en konvertering för en specifik tillämpning.

De tre generella integrationsmetoderna på datanivå medför alla fördelar och nackdelar. Den första integrationsmetoden är att skapa nya datastandarder som anpassade för konvertering i ett delfält. Enligt Liu et al. (2017) är det svår genomförd eftersom det är dyrt och tidskrävande att generera nya standarder. Det är inte heller säkert att en ny standard är mer säkrad för framtiden än den standard som den nya standarden helt eller delvis ersätter. Den andra integrationsmetoden att utveckla och revidera en gammal standard, har fördelen av att standarden redan är

känd och välförstådd. För att integrera BIM och GIS på datanivå är den vanligaste lösningen att använda existerande standarder för konverteringen.

De konverteringslösningar som finns beskrivna idag kan kategoriseras som manuella eller semiautomatiska (Liu et al. 2017). En helt manuell konvertering skulle då göras i fem steg enligt (Donkers 2013):

1. Semantisk filtrering – Filtreringen ska göras så att alla objekt innehåller geometrier. Exemplifierat med IFC blir det IFC-entiteterna *IFCSpace* och *IFCBuildingElements* alla undergrupper, se bilaga 1.
2. Kalkylering av yttre skal – Efter att byggnaden blivit semantiskt filtrerad är det viktigt att hitta dess yttre skal (eng. "outer shell") eg. dess ytterväggarna eftersom bara dessa är intressanta för LOD1-LOD3.
3. Integrerande av byggnadsinstallationer – Efter att ett yttre skal har genererat behöver byggnadsinstallationerna integreras. Objekt som står separat från huvudbyggnaden får sin egen geometri.
4. Geometrisk förfining – Efter att byggnadsinstallationen har integrerats i modellen ska de kvarvarande geometrierna förfinas. Förfiningen innebär ofta att geometrin förändras och repareras det kan var flera saker: igen täppning av luckor och hål, förbättrande av dåligt överlappande geometrier, skapande av gränsgeometrier.
5. Semantisk förfining: När den geometriska förfiningen är klar ska modellens semantiska data förfinas. Förfiningen av data innebär att de olika geometriernas syfte noteras och anges exempelvis: öppningar, väggar, tak och mark.

För semiautomatiska skript kan man använda olika mjukvaror metoder som använder filbearbetningsmetoden: inläsning, transformering och utskrift (eng. "extract, transform, load" förkortas ETL). ET-metoden är användbart för konvertering av stora data mängder.

Utvecklandet av ett ETL-skript är dock tidskrävande och kan vara kostsamt. Metoden kan inte snabbt tillämpas. För att göra skriptet mer automatiskt kan krav ställas på den givna modellen Donkers et al. (2016) föreslår ändringar i standarden IFC och CityGML för att göra det enklare att utforma automatiska skript för konvertering i LOD3 mellan de två skripten.

Andra lösningar finns på process och tillämpningsnivå. Processnivå är där konverteringen sker i bakgrunden efter behov och modellernas data fortfarande finns lagrad i sin ursprungsform. Om datan konverteras på en process nivå skulle det innebära att datan kan konverters både från BIM

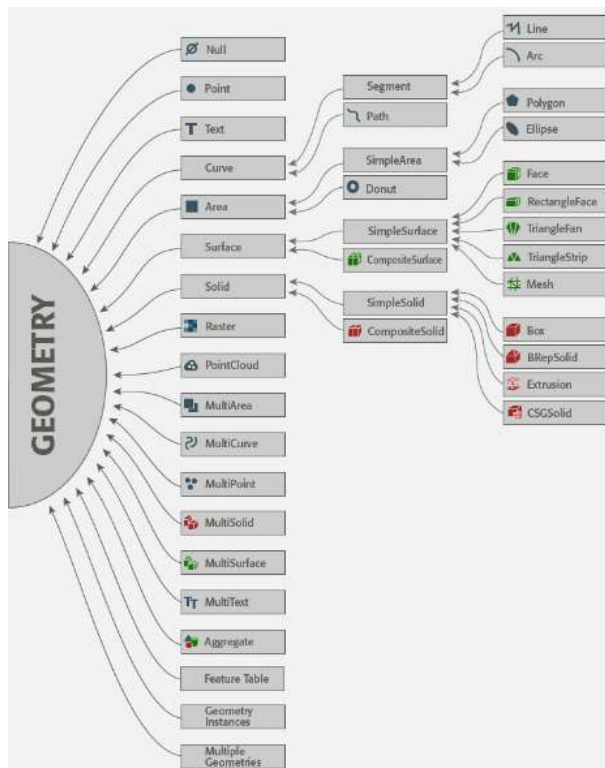
till GIS och tvärtom. Tillämpningsnivå handlar om att en fullständig konvertering kanske inte behövs alls utan konverteringen sker för en snäv specifik tillämpning i åtanke.

3.2.1 Översikt av FME-skript

FME är en mjukvara som kan användas för konvertering mellan datastandarder. I Floros et al. (2017) poängteras att FME är lämplig att använda för konvertering, eftersom programvaran visualiserar konverteringsprocessen på ett mer lättbegripligt vis. FME är ett ETL-verktyg. I det första steget, inläsning, läser en för standarden anpassad läsare in filens data. I det andra steget, transformering, konverteras data från filen med hjälp av lämpliga transformatorer. En transformator kan i FME var fördefinierad eller användardefinierad. De användardefinierade transformatorerna kan antingen vara definierade som ett eget skript eller som en serie av standardtransformatorer. I det tredje och slutgiltiga steget, utskrift, skrivs datan med en för standarden anpassad skrivare ut till en ny fil.

I FME representeras ETL-processen av ett visualiserat dataflöde från inläsning till utskrift. Programmet har ett stort system för att hantera geometrier internt under transformationen. Det är de interna geometrierna (se figur 3.6), som används i de flesta transformationsflöden (FME 2018i). Några geometrier att notera är:

- Surfaces – en plan yta i tre dimensioner. Ytor är polygoner och kan ha hål. Varje Surface-yta har en area (Abdul-Rahman och Pilouk 2008; FME 2018r)
- Multi Surfaces – en samling av ytor i tre dimensioner. Multi Surfaces saknar därmed en explicit egen volym (FME 2018n).
- CompositeSurface- är en samling kopplade ytor. Ytor har en relation varandra. Skillnaden mot Multi Surface är att ett CompositeSurface-objekt inte behöver vara kontinuerligt (FME 2017b).
- Extrusions- är en solid i 3D-rymden som definieras av en bas- och en förlängningsvektor. Geometrin i en Extrusion definieras av en bas och en riktning med en magnitud (FME 2017c).



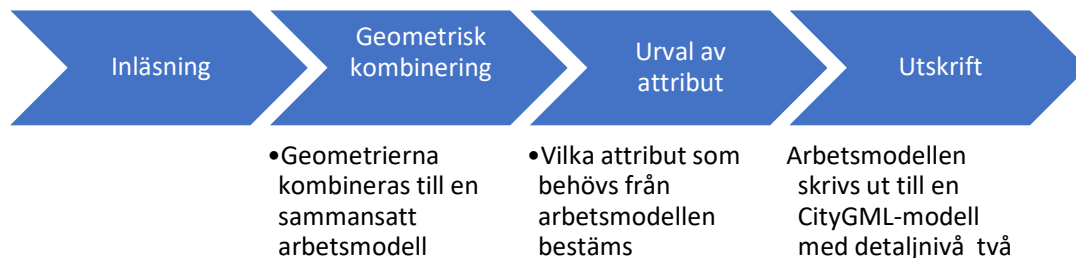
Figur 3.6 Bild över FMEs geometrimodell (FME 2018i)

- Solids – en tredimensionell volym begränsad av Surfaces. Solids är därmed ett aggregat av Surfaces. Där Surfaces utgör gränsen för den geometriska kroppen. Till skillnad mot Multi Surface har Solids en egen explicit volym. (Abdul-Rahman och Pilouk 2008; FME 2018o)
 - FME Aggregates – ett aggregat av flera olika geometrier utgör en vanlig geometriform på inläst data. Ofta används geometriformen för att beskriva ett hierarkiska samband: hus är överordnade väggar osv. (FME 2017a)
- En nackdel med FME är att den saknar stöd för att läsa COLLADAs geometritaggar enkelt (Safe 2018).

3.2.2 Exempel på konverteringsskript

Safe Software har själva publicerat både den enkla (eng. ”basic”) och den utvecklade (eng. ”intermediate”) konverteringsskripten för konvertering från BIM till GIS (DaveaAtSafe 2016; DeanAtSafe 2018). Olsson (2018) har publicerat ett skript som del av en testbädd på Lunds universitet. I FME idag finns inga direkta konverteringar från IFC till CityGML utan konverteringarna leder ofta till felaktiga geometrier och icke-valida CityGML-modeller (Floros et al. 2017). I bilaga 2 visas vilka olika IFC-entiteter de olika skripten använder.

Det enkla skriptet översätter geometrier från IFC-data till CityGML detaljnivå två (DeanAtSafe 2018). Enbart IFC-entiteterna *IFCSlab* och *IFCSpace* från IFC-filen används. Skriptets tillvägagångssätt är väldigt enkelt. Konverteringen görs i fyra steg enligt figur 3.7.



Figur 3.7 Den enkla konverteringens metodik

Det utvecklade skriptet används för att konvertera en IFC-modell till en CityGML-modell med detaljnivå tre, en detaljnivå högre än det enkla skriptet. Metoden för konvertering i det utvecklade skriptet liknar metoden i det enkla skriptet. Till skillnad från det enkla skriptet använder det utvecklade skriptet särskilda transformatorer används för sina olika geometrikonverteringar. För sin konvertering använder det utvecklade skriptet de flesta av IFC-filens geometrier, se bilaga 2. Konverteringen rensar inte bland geometrierna men gör viss semantisk utgällning (DaveaAtSafe 2016).

Det utvecklade skriptet konverterar IFC-modellen semantiskt och geometriskt se figur 3.8. För att göra semantiska kopplingar börjar skriptet med att kartlägga alla IFC-entiteters ID och övernods-ID för att senare koppla geometrierna som i IFC är en delmängd av en annan entitet. Entiteten *IFCBuilding* och CityGML-buildingattribut kan kopplas till varandra direkt, eftersom de båda utgör liknade hierarkiska rot-element som saknar egna geometrier. Entitet för entitet konverteras geometrierna sedan till CityGML-attribut (DaveaAtSafe 2016).



Figur 3.8 Den utvecklade konverteringens metodik

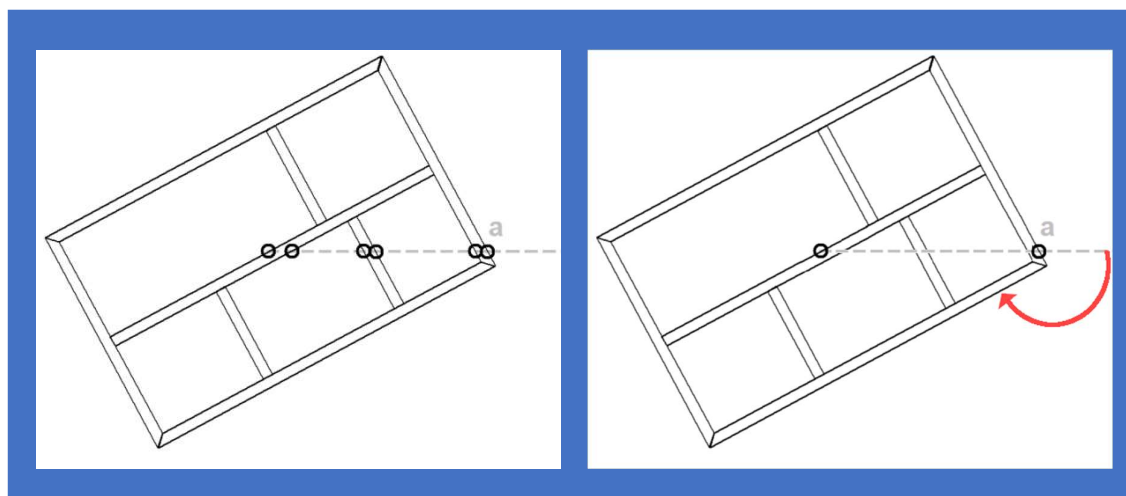
Det utvecklade skriptet använder tre olika egen användardefinierade transformatorer. Den första transformatorn, *ConvertGeometry*, extraherar geometrierna med en *GeometryPartsExtractor* (FME 2017d). Därefter omformateras vissa av modellens geometrier till *CompositeSurface* (FME 2017b) med *GeometryCoercer* (FME 2018j), för att sedan plockas isär av en *deaggregator* (FME 2018f). De isärplockade ytorna kopplas samman igen med en *aggregator* (FME 2018a). Slutligen gör *ConvertGeometry* en *GeometryRefinement* för att förbättra geometrihanteringen inom FME (FME 2018k). Den andra användardefinierade transformatorn, *GetGrandParentID*, plockar ut ID på entiteternas övernods övernod. *GetGrandParentID* sker på nodens och nodens övernods övernods-ID-nummer i tre steg. I första steget transformeras ID-numret från binär till hexadecimal form (FME 2018c). I steg två tas övernodens övernods-ID ut och sparas som en variabel (FME 2018u). Slutligen i steg tre blir övernodens övernods ID skriven i binär form (FME 2018b). Den tredje transformatorn, *CityGMLGeometrySetter*, kopplar geometrierna till dess detaljnivå i CityGML.

Olssons skript (Olsson 2018) gör sina semantiska kopplingar på liknande sätt som det utvecklade skriptet gör dem. Utöver de semantiska kopplingarna konverterar Olssons skript geometridelen av IFC-modellen till en CityGML-modell med detaljnivå två till tre se figur 3.9. Olssons skript använder sig av färre IFC-entiteter än det utvecklade skriptet, syns i bilaga 2. De entiteter som används mest i skriptet är *IFCSlab* och *IFCWall* för att de är mest databärande, se bilaga 1. Geometridelen blir mer välanpassad för CityGML eftersom geometrierna som är på insidan av modellen filtreras bort i konverteringen, i det utvecklade och enkla skriptet där de behålls.



Figur 3.9 Olssons konverterings metodik

För att filtrera bort geometrin som är inuti modellen lokaliseras de yttersta väggarnas geometrier på BIM-modellen och sedan skalas de geometrier som inte är ytterst del av den yttersta väggen bort. De yttersta väggarnas geometrier lokaliseras genom att utifrån byggnadsmodellens mittpunkten på golvet dra en linje rakt ut. De punkter där linjen skär en väggeometri noteras. Den punkt med längst avstånd från golvet mittpunkt är då del av den yttersta väggen (se a i figur 3.7). Skriptet fortsätter sedan genom att hitta den väggeometrin med minst vinkel till den redan funna väggeometrin medurs. Väggeometrin med en minsta vinkeln är då också del av byggnadsmodellens yttervägg (se figur 3.7). De är vanligt att väggeometrier i byggnadsmodeller



Figur 3.10 I den vänstra figuren visas hur det yttersta vägg element hittas i den bögra hur man från de hittade punkten medurs hittar resterande ytterväggsentiteter. Bilden är en bearbetning av en bild ur Olsson (2018)

har topologiska fel. Väggeometrins topologiska fel repareras genom att förlänga väggen upp till taket. De delar av taket som sticker ut utanför väggen skärs av (Olsson 2018).

För att filtrera geometrierna så som det beskrevs ovan innehåller Olssons (2018)s skript flera användardefinierade transformatorer. Utöver att använda flera av transformatorerna som definieras i det utvecklade skriptet använder Olssons (2018)s skript flera egna användardefinierade transformatorer. En del av de transformatorerna i Olsson 2018s skript använder Python-kod för att bearbeta data (Olsson 2018). De olika användardefinierade transformatorerna listas nedan:

- Den första transformatorn är *OuterWallSegmentFinder*, i *OuterWallSegmentFinder* används en *Intersector* (FME 2018m) för att göra linjen utåt och hitta alla skärningspunkter mellan geometrierna, de hittade skärningspunkter som ligger på linjen filtreras sedan ur modellens total punktmängd med hjälp av ett *TestFilter* (FME 2018t). De filtrerade punkterna får sina X, Y och Z koordinater mha en *CoordinateExtractor* (FME 2018d), punkterna sorteras sedan från det högsta värdet x för att därefter plocka ut den punkt ut med högst x värde med hjälp av en *Sorter*, *Counter* och *Tester* (FME 2018p, e, s). Slutligen gjuts den ihop med geometrierna igen så att bara yttersta väggen producerats med hjälp av en *FeatureMerger* (FME 2018h). Från *OuterWallSegmentFinder* produceras så en yttervägg.
- Den andra transformatorn *LineDirectionChanger* likriktar linjerna som placeras in i den.
- *StoreyIndexFinder* skapar en lista över de olika vångarna med hjälp av ett Python-skript.
- *RoofSurfaceFromOuterWalls* Urskiljer vad som är taket av ytterväggarna genom att skapa en lista av koordinater mellan maximum och minimum i höjddled. Sedan skapas en ny takgeometri med koordinaten.
- *LineDirectionChanger* vänder på riktningen på geometriska byggnad fotspårets linjer. Riktningen vänds så att genomgången av linjerna konsekvent görs därför vände de linjer som går moturs.
- *IntersectionLineCreator* är en kombinerad transformator. Den börjar med en *SurfaceFootprintReplacer* som skapar en skugga av 3D-taken i 2D (FME 2018q) därefter smälts skuggornas 2D ytor samman av en *Dissolver* (FME 2018g).
- *NormalVectorFinder* hittar normalen till geometrin i X, Y och Höjddled

3.2.3 Metod baserat på IFC-delmängd

Örjan Falk på KTH använder en manuell metod för konvertering. Där han i Programmet Simple BIM väljer IFC-entiteterna: *IFCWall*, *IFCSlab* och *IFCRoof*. SimpleBIM är en lättviktsmjukvara för läsning, bearbetning och validering av IFC-modeller (SimpleBIM 2018). De valda IFC entiteterna exporteras sedan som en delmängd av IFC och läse in SketchUp där de kan exporteras i lämpligt format.



Figur 3.11 Metodiken för att skapa en IFC-delmängd

3.2.4 Building information model server

Floros et al. (2017) beskriver ett tillvägagångs sätt från BIM till GIS deras metod utesluter dessutom geometrier från IFC som inte behövs i CityGML (Floros et al. 2017) Byggnaden som används är dock en väldigt förenklad ”låda”.

3.3 Verktyg för visualisering

3.3.1 SketchUp

SketchUp är en mjukvara för att skapa 3D-modeller av byggnader. Modellerna är främst lämpade för 3D-visualisering och inte analys. Programmets styrka är att det är relativt enkelt att använda (Xu et al. 2009). Gratis licenser är vanligt förekommande, men med en gratis licens saknar många funktionalitet för export och en mer professionell miljö (SketchUpSchool 2018).

3.3.2 CityPlanner

CityPlanner är en webb-GIS tjänst utvecklat av Agency9 (Agency9 2017; CityPlanner 2017). CityPlanner utgör modellprogrammet för att testa 3D-visualisering för den här rapporten. CityPlanner är begränsad till att läsa data från följande format (CityPlanner 2018a):

1. 3D-modeller .kmz och .dae
2. Terrängbilder .png, .jpg och .gif här kan också en wordfile användas för att georeferera
3. En så kallad ”shape”-file (.shp, .shx och .dbf)

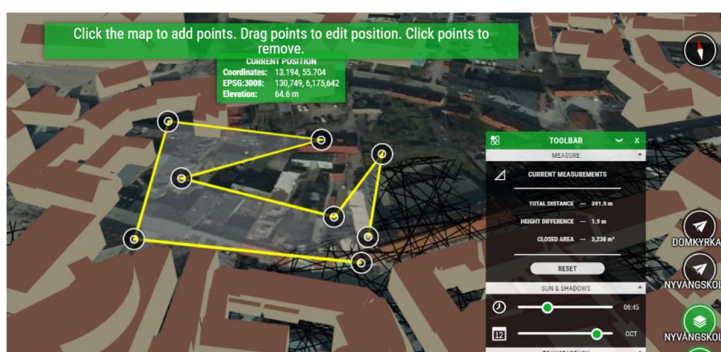
I CityPlanner kopplas x koordinater till easting och y koordinaten till northing. Det är en klassisk förväxling där Geodesi klassiskt sätt har haft x på den vinkelräta axeln men inom matematik är det standard att ha y på samma axel. Att omvandla de givna formaten till dess format är en given målsättning och begränsning av projektet. När en .kmz-fil laddas upp i CityPlanner får kml modellen en koordinat. Koordinaten beräknas utifrån mittpunkten på objektets minimala gränslåda (eng. ”minimal bounding box”). Den minimala gränslådan är alltså den minsta rektangel som kan skapas som ändå innesluter alla geometrier i ett plan.

För att förenkla navigeringen kan man i ett CityPlannerprojekt skapa vypunkter och intressepunkter (CityPlanner 2018e, c). En vypunkt definieras när man skapar den som den vy som skaparen har vid skapandet. Den först vypunkten som skapas kommer att vara den vypunkt där projektet startar när de visualiseras, se FIGUR. Intressepunkterna finns till för att förmedla information om intressanta objekt. Där en intressepunkt finns kan man klicka på den och då uppkommer ett fönster med den namngivna informationen se figur 3.12.



Figur 3.12 visar hur intressepunkter markeras och deras text rutor ser ut till vänster och var navigeringen mellan vypunkter ligger.

I cityplanner finns tre analysverktyg inbyggda: skuggberäkning, geometrisk mätning och genomskinlighet, se figur 3.13. I skuggberäkning beräknas den projicerade skuggan från objekten på marken utifrån valt datum och timslag(CityPlanner 2018d). Den



Figur 3.13 Till vänster är en mät polygon i Cityplanner. Till höger är informations fönstret med information från de olika analysverktygen.

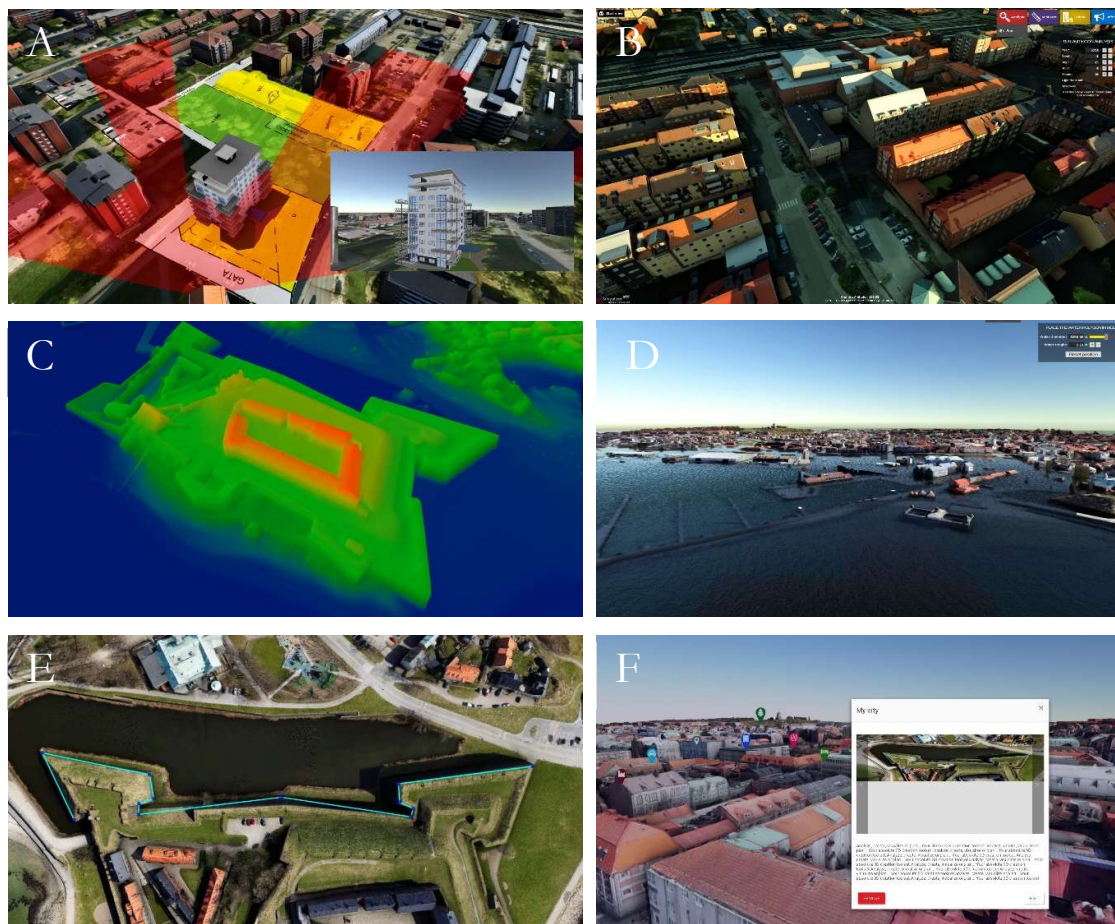
geometriska mätningen kan mäta längder och areor samt anger information kring det koordinat du pekar på (CityPlanner 2018b). Med genomskinligheten görs bakgrunden genomskinlig.

3.3.3 Complete 3D

Complete 3D är ett webbvisualiseringsprogram för stadsbyggnad. I programmet skapas projekt utifrån vad och hur något ska visualiseras och vem som ska var ansvarig för det. Varje projekt har en definierad bakgrundsdata. Inom ett projekt finns det fem över kategorier av saker att göra (Iric 2018):

1. Analysera - Kategorin som samlar analys verktyg. Det finns verktyg för att analysera:
 - a. Vyfång - vad ses från en punkt i staden, se figur 3.14 A.
 - b. Sol och Skugga - vad kommer att vara solig och skuggigt utifrån år, månad, dag, timme och minut. Här kan också solmängd uppskattas, se figur 3.14 B.
 - c. Höjd – skapar ett raster fält för att differentiera mellan olika höjder, se figur 3.14 C.
 - d. Röntgen – Används för att åskådliggöra saker under markplanet eller byggnader.
 - e. Genomskinlighet – avgör hur genomskinlig bakgrunden är
 - f. Översvämning – Skapar en vatten polygon för att testa vid översvämning, se figur 3.14 D.
2. Mätning – Kategorin för mätningar. Kategorin innehåller verktyg för att mäta:
 - a. Linje- Skapar en två punkts linje för mätning.
 - b. Kontinuerlig – Skapar en fler punkts linje för mätning, se figur 3.14 E.
 - c. Area – Skapar en polygon för mätning.
3. Planering – Kategorin för stadsvisualiserng. Kategorin visualiserar med hjälp av följande verktyg:
 - a. Lägg till en 3D-modell – För att ladda upp en 3D-modell. Complete 3D implementerar FME-server i bakgrunden för att möjliggöra direkt uppladdning av olika former av 3D filer.
 - b. Ortofotot – För att ladda upp ett ortofotot att använda som bakgrund
 - c. Enkla objekt – Verktyg för att skap enkla 3D-geometrier som kuber och cylindrar.
 - d. Förändra terräng – Verktyget förändrar höjd modellen på bakgrunden.
 - e. Klona projekt – Skapar en exakt kopia av projektet.
4. Informera är kategorins för att skapa och hantera informationspunkter.
Informationspunkter innehåller information om ett lämpligt objekt, se figur 3.14 F.
5. Dela är den sista kategorin som kan användas för att dela bilder.

Utöver dessa kategorier så kan scener skapas för enklare navigering av visualiseringen. Kameran för att visualisera med kan vara i omloppsbane läge, land läge och flyg läge (Iric 2018).



Figur 3.14 De olika kategorierna som de visas på Complete 3Ds hemsida (Complete 3D 2018). A) Visar tyfångs-verktyget B) Visar en höjd solmättningsverktyget C) Visar höjd rasterverktyget D) Visar en vatten visualisering vid översvämning E) Visar en kontinuerliglinje från mätverktyget F) Visar en informations ruta

3.3.4 Mina Kvarter

Är en programsamling och tillvägagångssätt för att dels visualisera befintliga byggmiljö med hjälp av Minecraft och dels att underlätta medborgardialog på ett tillgängligt sätt för ungdomar (Bygg tjänst.se 2018). Den har sedan blivit grunden för ett internationellt verktyg för just detta (BBB 2018).

4 Fallstudie

4.1 Val av fallstudie

Fallstudien syftade till att utvärdera visualisering av förenklade BIM-modeller tillsammans med en georefererad 3D-stadmodeller. I fallstudien användes fyra BIM-modeller för två stycken

skolbyggnader i Lunds kommun och en LOD2 stadsmodell över Lunds kommuns tätort samt två BIM-modeller av en kontorsbyggnad i Helsingborg. Fallstudien hade tre delar: konvertering av BIM-modeller med befintliga skript, utvecklande av ett för fallstudien eget skript, visualisering och georeferering av den befintliga stadsmodellen. I genomförandet av fallstudien testades befintliga metoder för att konvertera BIM-data för byggnaderna till geodata. Konverteringen från BIM-data till geodata är intressant som teknisk tillämpning för att det kan användas för visualisering av nya byggnader inom stadsplanering, ge en överskådlig bild av 3D-fastighetsbildning och användas för analys inför ett bygglov. Konverteringen och integreringen i den valda fallstudien är att se som en teknisk tillämpning för stadsplanering. Eftersom byggnaderna ännu inte existerar och fallstudiens data inte är kopplad till fastighetsbeståndet eller ställda krav för bygglov. För att genomföra konverteringen används och jämförs olika skript. För att visualisera hur välintegrerad den konverterade geodatan blivit användes visualiseringsprogram.

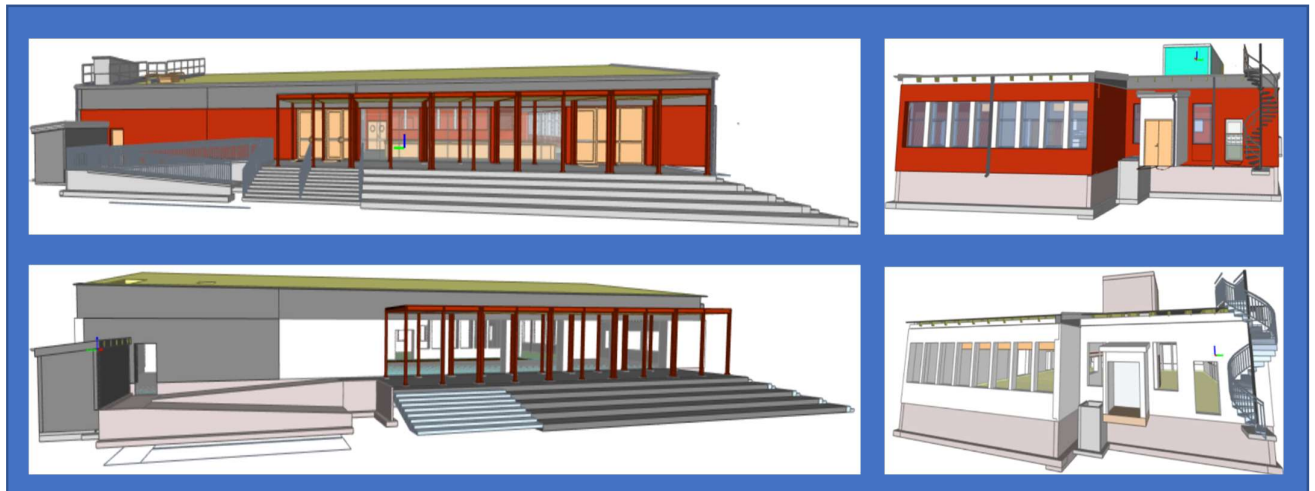
4.2 Studieområde och data

Studieområdet i fallstudien är Lund med omnejd och en två byggnads modeller från Helsingborg. Den data som används finns angiven och beskriven i tabell 4.1 och figurerna 4.1 och 4.2. Datan valdes för att komma nära den typ av BIM-modeller som en kommun kan tänkas behöva hantera och konvertera. BIM-modellerna av skolan och stadsmodellen av Lund gavs av Lunds kommun men kontorsbyggnaden gavs av Helsingborgs kommun.

Tabell 4.1: Beskrivning av den givna datan

Modell	Beskrivning
Lund Lod2 våningsplan	Det här är en modell med detaljeringsgrad 2 given av Lunds kommun i SketchUp. Alla byggnader är utan höjd och har ett gemensamt minsta z-värde. Koordinatsystemet är Sweref 99 13 30.
Byggnadslinjer	En karta över Lunds kommuns byggnadslinjer i 2D som shape-fil. Koordinatsystemet är Sweref 99 TM.
Nyvängskolan	Här ges två BIM-modeller för två olika anläggningar hos Nyvängskolan: Modell F och H. Båda modellerna har också en motsvarande konstruktions modell K-20-1000 för modell F och K-20-2000 för modell H.

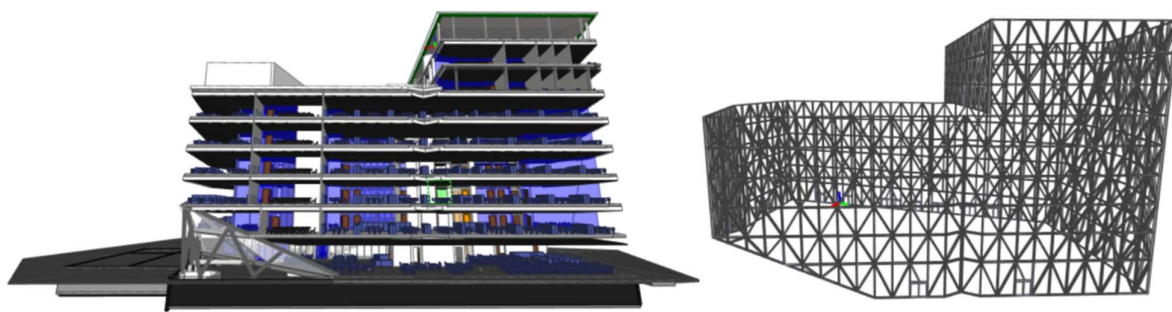
HBG-skal, HBG-skelett	Är en BIM-modell från Helsingborg. Över en ny kontors byggnad.



Figur 4.1 Visualisering av de olika BIM-modellerna över till vänster modell F över till höger modell F neder till vänster modell K-20-1000 neder till höger K-20-2000. För att visa modellerna används BIM vision.

Modell F har ett antal byggnadselement som är fristående dessa antas vara rester från designarbetet men kan kanske orsaka problem i filen.

Den nya kontorsbyggnaden i Helsingborg är uppdelad i två modeller där den ena modellen tycks vara byggnadens glasskal och den andra modellen byggnadens inre struktur, se figur 4.2. I bilaga 2 syns det tydligt att modellen är betydligt större än skolmodellerna från Lund. Värt att notera är att byggnadsingången tillhör HBG-skelett även om den är en del av skalet men resten byggnads skal tillhör naturligt nog HBG-skal.



Figur 4.2 Till vänster HBG-skelettet med inre geometrier till böger HBG-skal. . För att visa modellerna används BIM vision.

4.3 Kravspecifikation för fallstudien

I fallstudien konverteras BIM-data till geodata och passas därefter in i en stadsmodell över Lund. Konverteringen sker som en teknisk tillämpning för visualisering av stadsplaneringen därför att den konverterade BIM-datan integreras in i en stadsmodell över nuvarande bebyggelse. I fallstudien vidareutvecklas metoder för att konvertera, anpassa och georeferera BIM-data till geodata för visualisering inom stadsplanering.

4.3.1 Krav konvertering BIM-modell till stadsmodell

Konverteringen av BIM-modellen till en modell för visualisering behöver vara anpassad för det användningsområde som ska visualiseras. Stadsplanering är det som ska visualiseras med hjälp av den konverterade modellen. För visualisering av stadsplanering behöver bara geometrierna som är på utsidan av byggnadsmodellen användas, med andra ord modellens skal. Den konverterade modellen ska därmed vara ett byggnadsskal. För att skapa byggnadsskalet är all information om insidan av BIM-modellen, exempelvis innerväggar och källare, onödiga information och tas därför bort. Om användningsområdet för den konverterade modellen var något annat, som visualisering av 3D-fastigheter eller bygglov, skulle insidan av byggnaden vara intressantare att behålla. Dessa användningsområden faller utanför fallstudien. Efter konverteringen behöver den nu nybildade geodatamodellen av byggnaden vara i ett lämpligt standardformat för att förenkla framtida andra tekniska tillämpningar och utbyte av data mellan aktörer. Standardformatet ska väljas så att den konverterade modellen enkelt kan integreras med stadsmodellen. När den

konverterade modellen ska passas in i den större stadsmodellen behöver byggnaden georefereras till samma koordinatsystem som stadsmodellen.

För konverteringen behövs det ställas krav på den konverterade modellens utformning.

Utformningskraven ställs på den konverterade modellens: detaljnivå, noggrannhet, georeferering och realism. Kraven konkretiseras enligt följande:

- För detaljnivå blir LOD2 en lämplig för visualisering av stadsplanering i enlighet med Johansson et al. (2016).
- Noggrannheten för den konverterade följer ur detaljnivåkravet enligt OGC (2012). OGC (2012) definierar LOD2 med en noggrannhet om två meter. Noggrannheten är den tillåtna standardavvikelsen på en 3D-koordinat. Om objektets geometriska fotspåret är mindre än 2x2 meter innebär noggrannheten att objektet ska filtreras bort.
- Modellen bör vara georefererad korrekt för att kunna visualiseras inom en kontext.
- Då modellen är baserad på en modell av en byggnad som inte är byggd ännu kommer den per automatik att vara representativ för den tänkta byggnaden snarare än fotorealistisk.

4.3.2 *Krav på visualisering av stadsmodell*

Stadsmodellen och den integrerade konverterade byggnadsmodellen ska, med lämpligt verktyg, användas som visualiseringsstöd för stadsplanering. Det verktyg som används för att visualisera behöver vara enkel att använda som forum för medborgardialog. Stadsmodellen med den insydda konverterade modellen behöver därför vara:

- Det behöver gå att orientera sig med hjälp av modellen.
- De områden som ska diskuteras behöver kunna navigeras till enkelt.

Om visualiseringen ska ge så mycket visualiseringsstöd som möjligt behöver sömmen mellan de båda modellerna vara så liten som möjligt.

4.4 **Metod fallstudie**

4.4.1 *Val av konverteringsmetoder*

FME hanterar de flesta format som beskrivits i det här projektet och kommer därför användas för de flesta konverteringsmetoderna. För att resultaten av konvertering ska vara jämförbart behöver det resultera i format som kan visualiseras. Det enkla skriptet, det utvecklade skriptet och Olssons skript gör detta. Skripten utgör metoder som är skrivna i FME. En manuell metod kommer också att användas, som alltså inte använder FME, och det är Örjans metod.

För att implementera den egna konverteringsmetoden används FME för göra ett skript. FME används eftersom det är relativt enkelt att använda jämfört med att skriva ett eget program. En annan fördel med FME är att dess licens finns tillgänglig på universitetet. Dock kräver FME en hel del vana för att sätt sig in processen.

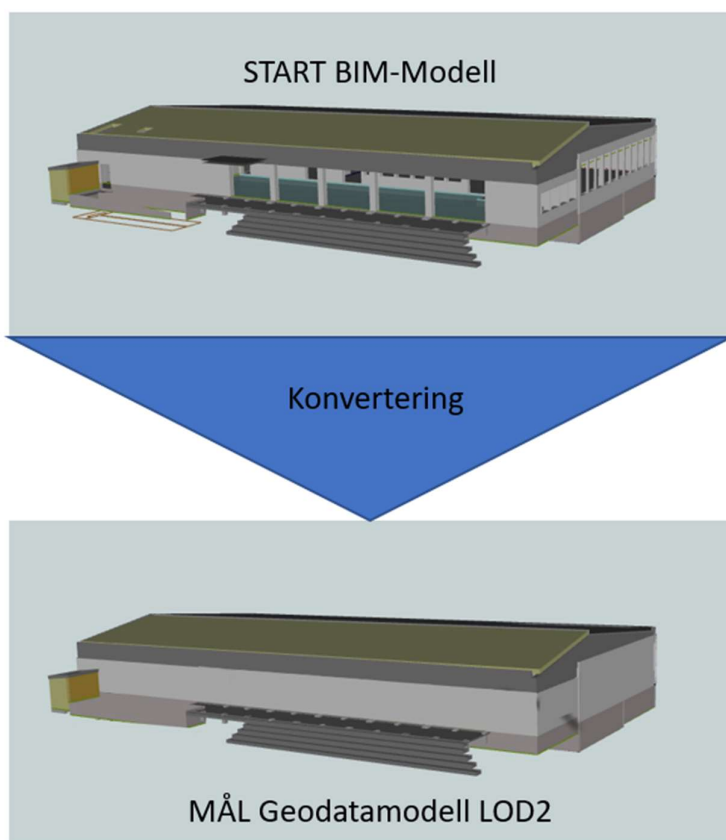
4.4.2 Val av standard för den konverterade byggnadsmodellen

För konverteingen behöver det väljas standarder som på lämpligt sätt uppfyller krav specifikationen och går att använda för visualisering av stadsbyggnad. Den börjar i en IFC-fil som utgör en BIM-modell. Målsättningen med konverteringen är visualisering därför används COLLADA eftersom det är en standard för visualisering. Principiellt kommer konverteringen använda den datavägen i figur 4.3. För tillämpningen räcker det med att modellen och dess format är lämplig grafisk representation men för att underhålla stadsmodell data över tid transformeras för modeller som också är anpassade för semantisk representation av stadsmodeller som CityGML och SGPByggnad. Att använda en datastandard för semantisk representation är utanför den här studiens omfång.



Figur 4.3 Datavägen mellan standarderna för konverteringen. Till vänster ursprungsstandard till höger målstandard.

4.4.3 Utveckling av eget skript för konvertering av BIM-modeller



Figur 4.4 Visualisering av ett tänkt konverterings resultat. Ovan start modellen. Nedan den tänkta konverterade modellen. Bilden är inte av en riktig konvertering utan redigerad i GIMP

Skriptet ska gå från en BIM-modell till LOD2 hos visualiseringsformatet.

Principiellt kommer skillnaden från startmodellen och slutmodellen att se ut som i figur 4.4. Det som sker i konverteringen är:

1. Alla utstickande geometrier skärs bort
2. Alla fönster tas bort och görs om till vägg
3. Hålen i taket raderas
4. 2D geometrier tas bort
5. Väggar på insidan definieras och raderas.

I Nagel et al. (2007) definieras en algoritmisk konverteringsprocess i sex steg för att konvertera IFCs geometrier:

1. Byggnadens horisontella och vertikala skal kartläggs. IFC-entiteterna identifieras och förenklas utifrån sin orientering:
 - a. Horisontellt *IFCSlab*, en golventitet, se bilaga 1.
 - b. Vertikalt: *IFCWall*, *IFCWallStandardCase*, *IFCBeam* och *IFCColumn*.
 - c. Övriga: Alla entiteter som varken är horisontella eller vertikala som exempelvis *IFCRoof*.
2. Skapandet av en tvådimensionell polygon-kontur av byggnaden:
 - a. Alla 3D-geometrier projiceras på X,Y -planet för att skapa ett tvådimensionellt fotspår av objektets geometri.
 - b. Projicering sorteras utefter våningsplanen. Det projicerade våningsfotspåret tillåter en uppbyggnad av byggnadsmodellens yttre skal.

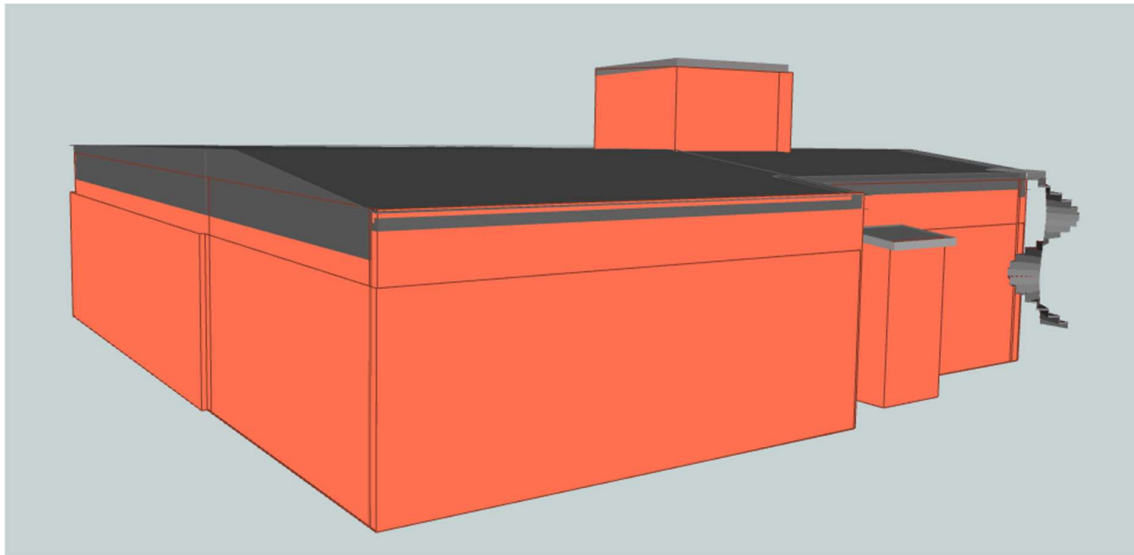
3. Bestämning av våningens fotspår där konturen för den projicerade ytan tas ut och de geometrier som är viktiga för yttre skalet väljs ut.
4. Linjär förlängning i Höjdled av planet. Våningsfotspåret förlängs i Höjdled. Förlängningen definieras utifrån fotspåret och görs vertikalt vinkelrät mot ytan. Höjden i höjdled begränsas av nästa våning. I slutändan skapas en solid geometrisk representation av byggnaden i 3D.
5. Generalisering av taket.
6. Aggregering av de olika förlängda våningsfotspåren till en byggnad.

Denna process kombinerade med Donkers (2013) mer manuella urval av vilka IFC entiteter som ska inkluderas. Inom fallstudien utfördes två försök till att skapa konverteringsskript.

I den första ansatsen att utveckla ett eget skript används primärt modellen Nyvångskolan K-20-1000. För att kartlägga IFC-entiteterna delas de upp i fyra delar vertikala geometrier, horisontella geometrier, övriga geometrier och en geometrilös del. Modellens fotspår genereras med hjälp av väggentiteterna istället för golventiteterna, eftersom väggentiteterna har mer information om hur väggen ska ligga. Fotspåret som bildas av väggarna görs sedan om till en hålfri polygon vars gräns sammanfaller med modellens yttre vägg. Gränsen förlängs sedan upp till byggnadsmodellens maxhöjd i Höjdled. Processen behöver sedan upprepas på modellens takventilationsväggar och källarväggar, eftersom de väggarna på vissa ställen är separata från den huvudsakliga byggnadskroppen. Takventilationsväggarna är helt separat från byggnadskroppen. Källardelarna står ut från den huvudsakliga byggnadskroppen på vissa ställen.

I modellen K-20-1000 visar det sig att *IFCSlab*-entiten även använts för att representera taket och därför behöver de *IFCSlab*-entiteter som är takdelar plockas ut och kombineras med *IFCRoof*-entiteten. För de triangulära geometrierna som utgör gränsen mellan vägg och tak används de befintliga geometrierna för husgaveln alltså det triangel-formiga övre partiet av gaveln. Geometrierna används för att få till en bra överlappning mellan taket och väggarna. Slutligen skrivs alla geometrier till COLLADA.

Den första ansatsen av det egna skriptet hanterade mycket av informationen vårdslöst och framställde enbart en enkel geometrisk vägg. Väggen ser ut som den ska när den inspekteras internt av FME, se figur 4.5, men för mycket information försvinner när modellen ska skrivas ut inför visualiseringen. Informationen som försvinner vid utskriften gör att det i CityPlanner inte genereras en modell. Problemet är återkommande när FME skriver till COLLADA.



Figur 4.5 Resultatet av den första konverteringen av K-20-1000 visualiserat internt i FME. Till höger en svävande trappa. Visualiserad med FMEs egna visualiseringsprogram.

I ett FMEskript går det inte alltid att felsöka vad som går fel i utskriften. En första iteration av skriptet ger förståelse om BIM-modellens entiteter och hur ett skript kan byggas upp för att konvertera dem från inläsning till utskrift. Det som kan noteras här är de plan där Z:a koordinatet är 0 inte går att likställa med markplan. Därav den svävande stegen.

Den andra ansatsen hade sin utgångspunkt i konverteringen av kontorsbyggnadsmodellen HBG-skelett. Modellen är betydligt större än skolmodellerna varför många små manuella justeringar är praktiskt genomförbart. Entiteterna delas därför först upp strukturellt så som det beskrivs i Nagel et al. (2007) och Donkers (2013). Från Olsson (2018) tas metodiken att fördela byggnaden våningsplan alla våningsplan för konverteringen av kontorsbyggnaden i Helsingborg. Utefter varje våningsplans fotspår skapas sedan en 3D-modell. Fotspåret buffras och lagas. För att undvika att COLLADA-filen skrivs ut fel trianguleras alla våningsplans geometrier och sedan aggregeras de. För konverteringen av HBG-skal görs bara de korrigeringar av modellen som leder till att COLLADA filen blir felaktig. Metoden för konvertering används sedan för de olika byggnaderna med vissa modifieringar:

- På kontorsbyggnaden HBG-skelett används horisontella entiteterna för att göra fotspåret eftersom de vertikala entiteterna har flera luckor.
- På Nyvångskola K-20-1000 ignoreras de flesta av väggarna som utgör källarplanet. Vissa av elementen behöver flyttas från grundplanet till takplanet. Hålen i taket kan inte repareras på grund av att lämplig FME-transformator saknas.

- På Nyvångskolan K-20-100 behöver ventilationsenheten bli ett eget separat våningsplan. Alla väggar i källarplanet används inte utan de onödiga geometrierna filtreras bort.

Den andra ansatsen har därmed tre viktiga steg utöver sortering av geometrierna. I steg ett repareras och deaggregeras geometrierna. I steg två undersöks IFC-entiteten *IFCStoreyIndex* och dess unika IFC-ID:n används för att manuellt identifiera vilka olika våningsplan som finns i modellen. För steg två hade en transformator liknande Olssons 2018 *StoreyIndexFinder* kunnat användas för att identifiera de olika våningsplanen. Transformatorn från Olssons skipt fungerade inte på någon av BIM-modellernas *IFCStoreyIndex*. I steg tre används en egendefinierad transformator våningsplan för våningsplan. Den egendefinierad transformatorn förlänger våningsplanets fotspår i Höjddled utifrån våningsplanet höjd och slutligen flyttas fotspåret till våningsplanets Z-koordinater.

4.4.4 Val av verktyg för visualisering

För att visualisera stadsmodellen av Lunds kommun och de konverterade byggnaderna används Agency9 webbvisualiserare CityPlanner. CityPlanner är uppbyggd för att hantera modeller för grafisk representation. CityPlanner har ett användarvänligt gränssnitt.

5 Resultat och diskussion av fallstudie

5.1 Resultat konverteringsskripten BIM-data till geodata

Konverteringen gjordes fyra gånger utifrån olika metoder. Därefter skapades ett eget FME-skript utefter krav och data. Den enkla och den utvecklade konverteringen är skapade av Safe själva. Olssons konvertering skapades som del av en testbädd för konverteringar på Lunds universitet. Metod baserat på IFC-delmängd är gjord av Örjan Falk på KTH.

5.1.1 Enkelt konverteringsskript

För konverteringen enligt det enkla skriptet används DeanAtSafe (2018) handledningsskript som FME själva publicerat. Skriptet är avskalat vilket medför att konverteringen är enkel att följa. För att testa skriptet gjordes två försök. Det första försöket görs helt enligt handledningen för skriptet i det andra försöket läggs vissa nyttiga entiteter från modellen till. Resultaten utifrån de två skripten är enligt nedanstående figurer 5.1 och 5.2. Figuren 5.1 visar resultatet av det första försöket och använder ett oförändrat skript där entiteterna bara *IFCSlab* och *IFCSpace* inlästa, se bilaga 1 för att se vad de representerar. I den andra figuren 5.2 läses dessutom *IFCRoof*,

IFCWindow, *IFCWall* in för skriptet. Se bilaga 2 för en mer detaljerad överblick över vilka IFC-entiteter som används i det Enkla skriptet.



Figur 5.1 Enligt handledning utan extra element. Ingen väggeometri syns eftersom IFCSpace saknas i modellen. Visualiserad med FMEs egna visualiseringsprogram.



Figur 5.2 Enligt skriptets handledning med extra element. För att få fram väggarna används IFCRoof, IFCWindow och IFCWall. Visualiserad med FMEs egna visualiseringsprogram.

Konvertering av modellen med enbart de entiteter som anges i handledningen till det enkla skriptet ger inte ett resultat i LOD2, som det enligt skriptets handledningen ska göra. Skriptet ska konvertera från en BIM-modell till en LOD2-modell därför är LOD2s definition i OGC (2012) lämplig att utgå ifrån för att analysera resultatet blir. Eftersom konverterade modellen har kvar sina fönster är den inte i LOD2.

I BIM-modellen från fallstudien saknar entiteten *IFCSpace* geometri och är därför oanvändbar att basera visualiseringens geometri på, ses i figuren 5.1. Att *IFCSpace* saknar geometrier innebär att konverteringen saknar den volym som skriptet är tänkt att bygga den konverterade modellens väggar kring.

I det andra försöket där några ytterligare entiteter läses också är resultatet fortfarande inte i LOD2, se figur 5.2. De entiteter som tillförs filtreras inte vilket innebär att alla BIM-geometrier är kvarvarande. De kvarvarande geometrier gör visserligen att den genererade modellen går att

använda för visualisering men att den innehåller geometrier långt utöver de kraven för en LOD2 detaljnivå. Ingen reell förenkling görs av BIM-modellen. Datamängden, till skillnad från det som gavs med skriptet, är dåligt anpassat för konverteringen.

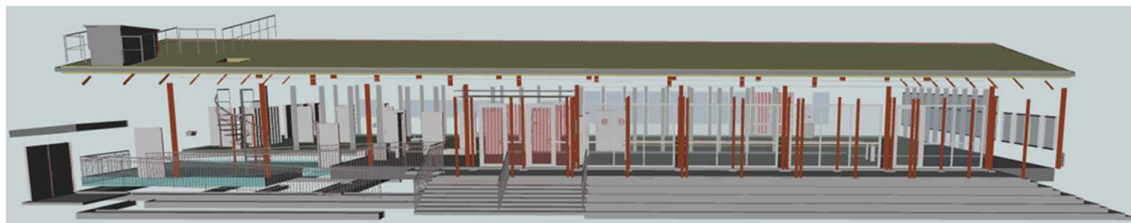
Det enkla skriptet är automatiskt eftersom skriptet enkelt kollar upp om *IFCSpace* har en geometri. Utifall *IFCSpace* saknar en geometri är skriptet närmast oanvändbart. Alla filtreringar av geometrier sker i valet av vilka entiteter som ska läsas in i skriptet. Vilket innebär att om en abstraktvolym, som *IFCSpace*, hade funnits på modellen hade skriptet varit automatiskt med ett resultat användbart för visualisering. Skriptet skulle därför kunna användas tillsammans med ett krav från den som skriptet levereras till på en *IFCSpace*-entitet som innehåller hela byggnads kroppen i LOD2 och då varit helautomatiskt.

5.1.2 Utvecklat konverteringsskript

Den BIM-modell vars geometrier passar bäst för att genomföra det utvecklade skriptet är Nyvångskolan F, därför att Nyvångskolan Fs IFC-entiteter bäst stämmer överens med de IFC-entiteter som skriptet använder sig av, se bilaga 2. De IFC-entiteter som skriptet använder som ändå saknas helt i modellen är *IFCCurtainWall*, *IFCMember* och *IFCPlate*, se bilaga 1. Entiteten *IFCSpace* saknar geometri i modellen och ignoreras därför. Originalskriptet från handledningen kan inte läsa in entiteterna *IFCDoors*, *IFCBeam*, *IFCWall* och *IFCWallStandardCase* från IFC-filen.

- För entiteten *IFCDoor* ligger problemet i att entitetgeometrier är representerad som ”multi curves”.
- Entiteterna *IFCBeam*, *IFCWallStandardCase* och *IFCWall* gör att FME-skriptet kraschar när det ska göras en utskrift. När skriptet kraschar ges felmeddelandet ”Error running translation”. Vad felet orsakas av anges inte i FME-loggen.

I figur 5.3 visas resultatet av en konverterad Nyvångskolan F med ett omodifierat skript. Skriptets transformatorer och transformatorväg i konverteringen är oförändrad. Däremot ignoreras de IFC entiteter som orsakar problem. Problementiteterna ignoreras för att konverteringen ska kunna köras från inläsning till utskrift.



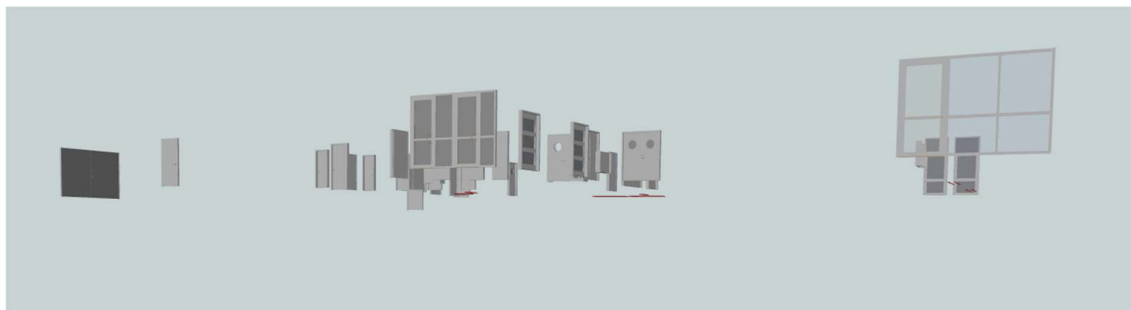
Figur 5.3 Visualisering av resultatet för ett omodifierat skript på Nyvångskolan F. Visualiserad med FMES egna visualiseringsprogram.

Konverteringsskriptet fungerar inte oförändrat, vilket är förväntat. Det fungerar inte eftersom skriptet är anpassad till en annan modell. För att lösa geometriproblemet hos *IFCDoor* är den enklaste lösningen att filtrera ut den geometri som orsakar problemet. ”Multi-curve”-geometrin utgör bara linjer över dörrarnas öppningsradie. Problemen som uppstår med *IFCBeam*, *IFCWallStandardCase* och *IFCWall* saknar enkla lösningar. Entiteterna ignoreras helt vilket medför att den konverterade modellen saknar väggar och därmed inte kan anses vara i LOD3.

Det utvecklade skriptet är automatiskt om det går från inläsning till utskrift. Det sker ingen filtrering av inre geometrier i skriptet vilket innebär att den konverterade modellen som skapas blir större än vad den skulle behöva vara, BIM-modellen förenklas alltså inte med skriptet. Skriptet använder nästan samtliga entiteter i modellen för konverteringen, se bilaga 2.

5.1.3 Olssons konverteringsskript

Ett direkt användande av Olssons skript på en av modellerna för Nyvångsskolan leder till att FME kraschar. Exempelvis när skriptet körs med modellen Nyvångsskolan F kraschar det helt utan felmeddelanden. Eftersom inget felmeddelande ges är det svårt att utreda orsaken till att programmet kraschar. Var skriptet kraschar kan utredas genom att i succession testa läsaren för varje IFC-entitet och se om den entiteten orsakar kraschen. Skriptet kraschar när IFC-entiteten *IFCWallStandardCase*, se bilaga 1, ska gå igenom den egendefinierade transformatorn *ConvertGeometry*. Om IFC-entiteten som orsakar kraschen inte läses ges ett resultat som är oanvändbart, se figur 5.4. Modellen blir oanvändbar eftersom styrkan med Olsson (2018) skript ligger i hur den bearbetar IFC-modellens väggeometrier och skapar ett yttre skal. I figur 5.4 har bara fönster och dörrar konverterats. När normalvektorn till *IFCWallStandardCase* ska bestämmas i skriptet och Nyvångsskolan används kraschar FME igen.



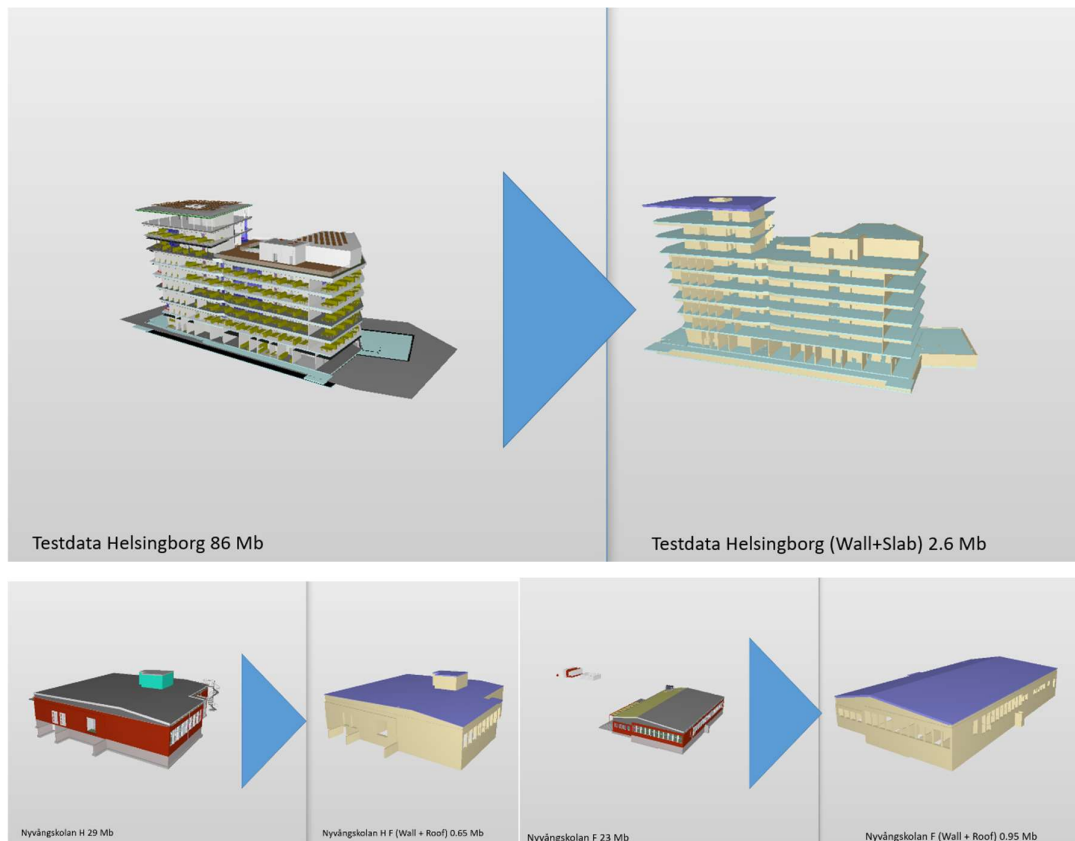
Figur 5.4 Visualisering av de entiteter som kan köras igenom Olssons skript omodifierat, här fönster och dörrar. Visualiserad med FMEs egna visualiseringsprogram.

Olssons skript är det mest kompletta konverteringsskriptet och samtidigt det mest komplext för konvertering till LOD2-3 som undersöks i denna uppsats. Komplexiteten i ett skript gör det känsligare för andra datakällor än den källa skriptet är skrivet för och när Nyvångskolans BIM-modeller inläses körs skriptet inte hela vägen. Skriptet fungerar för att konvertera den modell den är skapad utifrån. Problemet ligger inte med skriptet utan snarar i de datafiler som läses in. För att få skriptet att köra med en annan modell än den skriptet är skrivet utifrån behövs flera manuella justeringar.

Skriptet automatiserar filtreringen av ett yttre skal därmed kombineras automatiken och den geoemtriska filtreringen. Om BIM-modellen körs igenom skriptet filtrerar modellens geometrier också. Skriptet filtrerar BIM-modellernas geometrier automatiskt för att hitta en utsida av modellen per våningsplan.

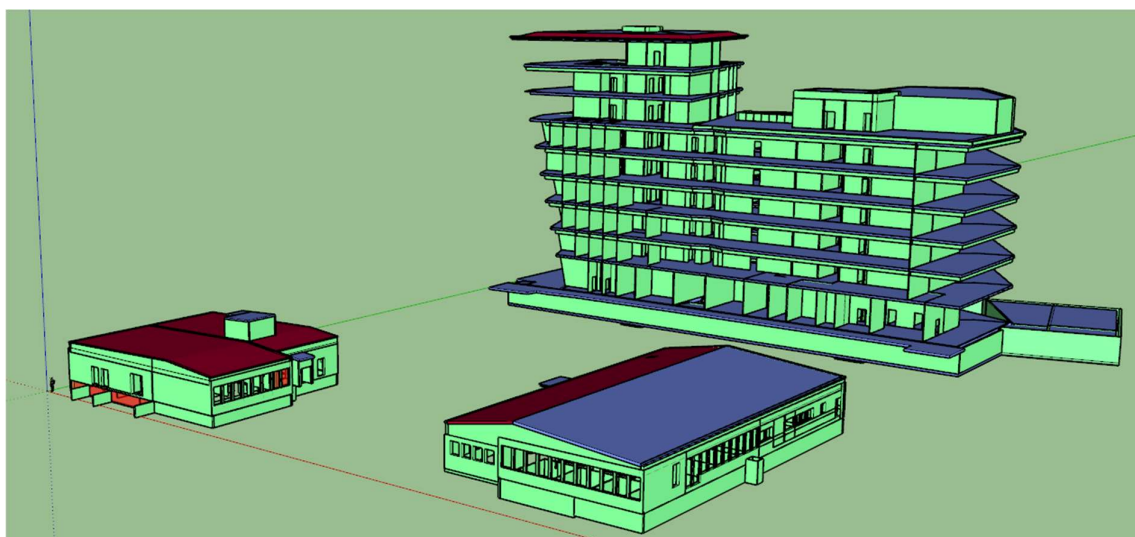
5.1.4 Metod baserat på IFC-delmängd

De olika modellerna läses in i SimpleBIM där de IFC-eniteter som har intressanta geometrierna för att beskriva väggarna och taket geometrier tas ut. Detta ger resultat enligt figur 5.5. Detta steg utfördes av Örjan Falk, KTH, i programmet SimpleBim.



Figur 5.5 Förenkling av de olika BIM-modellerna. Överst förenkling av HBG-skelett där väg och golventiteterna plockas ut. Nere till vänster Nyvängskolan H där vägg och tak entiteterna plockas ut. Nere till höger Nyvängskolan F där vägg och takentiteterna plockas ut. Bilderna är gjorda av Örjan Falk

Därefter konverteras de förenklade BIM-modellerna i Sketchup till COLLADA se figur 5.6.



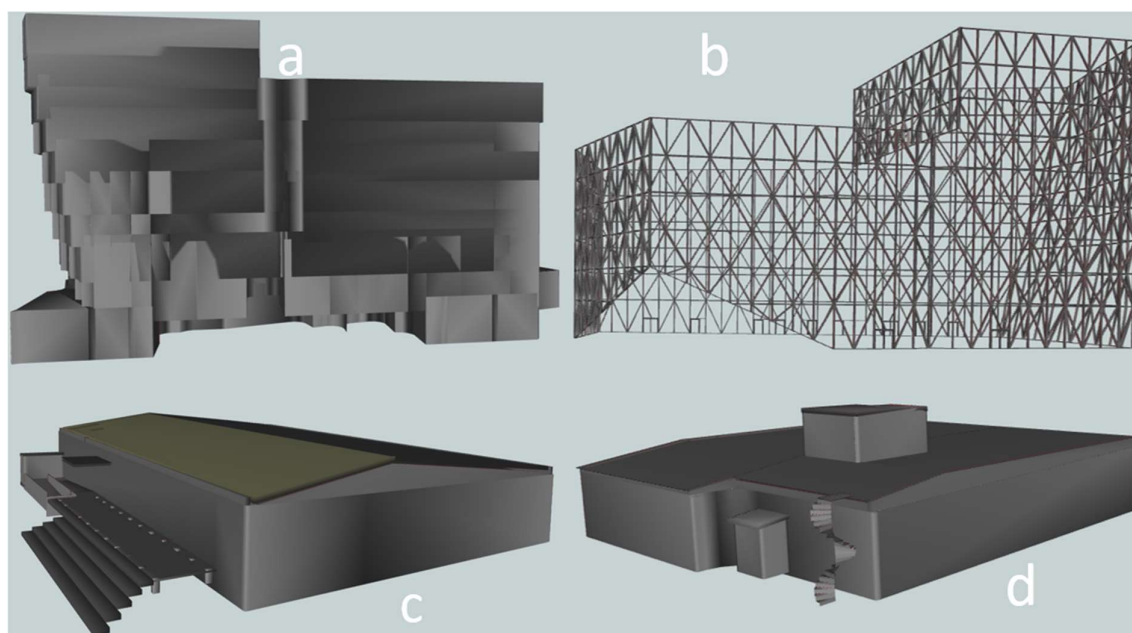
Figur 5.6 de tre exporterade modellerna exporterade till COLLADA visade i SketchUp. Längst till vänster Nyvängskolan H. I bakgrunden till höger HBG-skelett. I förgrunden till höger Nyvängskolan F.

Örjans konverteringsmetod är den enda manuella metoden som jämförs. Modellerna som konverteras uppfyller inte riktigt något detaljnivås krav efter konverteringen. Resultatet blir ett mellanting mellan LOD3 och LOD4 där filtreringen har varit för aggressiv för LOD4 och lite för mycket har kommit med för LOD3. I SketchUp skulle det var möjligt att ändra på modellen så att den bättre uppfyller kraven för LOD3.

Konverteringsmetoden är helt manuell inte alls automatisk. Metoden ger däremot ett användbart resultat på direkten. Metoden genomför heller ingen vikorsstyrd filtrering utav geometrier utan filtrera bara utefter vilka entiteter som innehåller användbar geometrier.

5.1.5 *Det egna skriptet*

Den andra ansatsen av konverteringen görs separat för de fyra modellerna. För Helsingborgsbyggnaden konverteras BIM-modellen för skelettet och modellen för skalet. För Nyvångskolan konverteras skolbyggnaderna K-20-1000 och K-20-2000. Skripten för de olika byggnaderna har alla justerats för att deras modell ska passa in bättre i en abstrakt uppdelning om: våningar, tak, utstickande golv, husgavel och övriga element. Se figur 5.7



Figur 5.7 Visualisering av de fyra konverterade byggnadsmodellerna. a) HBG-skelett b) HBG-skal c) Nyvångskolan K-20-1000 d) Nyvångskolan K-20-2000. De konverterade modellerna är visualiserad med FMEs egna visualiseringsprogram.

Modellerna från Helsingborg är svårare att redigera jämfört med skolmodellerna. HBG-skelett förlorar i konverteringen sin sneda entrédörr vilket man får anta ska vara kännetecknande för

byggnaden. I FME är det svårare att skapa sneda förenklade geometrier och den metodik som används för skriptet är inte lämplig för det. För HBG-skelett hade en metod som filtrerade ut den yttersta väggeometrin för varje våningsplan varit lämpligare. Filtreringsmetoden går inte att genomföra när den yttre väggen utgör en helt annan modell.

HBG-skal är en direkt geometrisk översättning från IFC till COLLADA. För modellen HBG-skal testades en fotspårsbaserad metod men den ströks av två anledningar. Den första anledningen är att de sneda elementen inte översätts med metoden då deras vinklingen raderas i fotspåret. Sneda geometrier är där de metoder som utvecklades i skriptet fallerar. Den andra anledningen är att våningsuppdelningen i HBG-skal överlappar och är visuellt ologiskt.

För skolmodellerna blev resultatet mer lyckat. Hos skolmodellerna saknas sneda väggeometrier, vilket gör våningsuppbyggnaden enklare att genomföra. Vissa geometrier som borde ha tillhört ett våningsplan hamnar fel och tillhörde ett annat våningsplan. Dessa geometrier behöver justeras manuellt. Ett smärre geometriskt fel efter konverteringen att det är ett litet glapp mellan taket och den sneda husgaveln. Hålen i taket av K-20-1000 lämnades eftersom det hos FME inte fanns enkla transformatorer som tar bort inre geometrier. För enklare BIM-modeller formade som rektanglar är det relativt enkelt att konvertera IFC-filer.

Från kravspecifikationen finns det krav på konverteringen för detaljnivå, noggrannhet, georeferering och realism, se 4.3.1. Kraven uppfylldes generellt sett bättre för de konverterade skolmodeller än kontorsmodellerna. Det konverterade byggnadsskelettet har en bättre konvertering eftersom skalet fick alla geometrier direkt konverterade till COLLADA.

Kravet på detaljnivå innebär att de konverterade modellerna ska vara i LOD2. Generellt sätt uppfylls kraven delvis efter konverteringen av modellerna. Kravet uppfylls inte helt och hållet för någon modell. För HBG-skelett uppfylls kravet bra med de högre våningsplanen. Källarplanet på modellen hade kunnat filtreras bort, även om dess tak utgör grunden för resten av modellen. HBG-skal uppfyller LOD2 dåligt då alla geometrier är kvar och skalet inte har gjutits ihop till platta ytor.

För skomodellen K-20-1000 är detaljnivåkravet i vissa avseenden uppfyllt. Det finns fortfarande kvarstående hål i taket och vissa inre geometrier som inte filtrerades ut. Hålet i taket behövs eftersom FME saknar verktyg för transformering av 3D-hål i 3D kroppar. Geometrierna

filtrerades inte ut eftersom de är en del av taket, de sneda mellanväggarna eller trapporna. För K-20-2000 är läget motsvarande efter konverteringen förutom att BIM-modellen från början inte har några hål i taket. Sammanfattningsvis uppfylls detaljnivå kravet bättre desto rektangulära byggnadskropp som konverteras.

Kravet på noggrannhet uppfylls med att alla plan innehåller geometrisk förfining som raderar geometrier som har mindre arealer än 2x2 meter. Raderingen orsakar att de konverterade modellerna har rundade hörn, förutom för HBG-skal. Kravet på georeferering behandlades inte i konverteringsskriptet då det konsekvent för alla modeller sakades tillräcklig information för att genomföra det. Det enda som aktivt gjordes under konverteringen var att ändra skalan från millimeter till meter. Kravet på realism uppfylldes då modellerna ser tillräckligt realistiska ut för att användas som en LOD2 visualisering av stadsbyggnad.

Det egna skriptet filtrerar geometrierna hårt vid inläsningen av modellen. Skriptet är automatiskt om de geometrier som importerades vore jämna på varje våningsplan. Så var dock inte fallet för någon av modellerna. En särskild justering var hur taknocken skulle hantera eftersom den hade sneda geometrier men annars tillgörde byggnadens vertikala skal.

5.1.6 Jämförande diskussion av konverteringsmetoderna

På modellnivå jämförs BIM-modellerna innan de konverteras. Det enklaste sättet att jämföra två BIM-modeller är att helt enkelt räkna hur många av varje entitet som läses in, som i bilaga 2. Vad de olika entiteterna i IFC representerar och hur de representeras geometriskt visas i bilaga 1. HBG-skal är den mest tydligt avvikande modellen i en jämförelse med den metoden eftersom HBG-skal inte innehåller några väggentiteter. Att HBG-skal utgör den yttre fasaden av samma byggnad som HBG-skelett utgör de inre delarna av innebär att HBG skelett inte direkt har några geometrier som utgör ett bra yttre skal. På modellnivå togs därmed beslutet att HBG-skal inte skulle konverteras på samma sätt som de andra BIM-modellerna.

På inläsningsnivå jämförs hur väl modellen som ska läsas in matchar modellerna konverterings metoderna är gjorda för. Detta innebär att man kan matcha konverteringsskript till BIM-modell. Efter en mer generell jämförelse, se bilaga 2, visar det sig att vissa grupper av IFC-entiteter som är viktigare för konverteringen som: våningsentiteter, takentiteter, golventiteter, väggentiteter.

Våningsentiteten *IfcBuildingStorey*, se bilaga 1, blir viktig för konverteringen eftersom våningsplanen är en naturlig uppdelning för att bygga upp ett skript. Det enda av de testade skripten som utnyttjar informationen i *IfcBuildingStorey* är Olssons skript som filtrerar BIM-modellernas geometrier automatiskt per våningsplan, se tabell 5.1. Det enkla skriptet och det medelsvåra använder inte våningsplanen som informationsbärare.

Tabell 5.1 I cellerna ange hur många av entiteten *IfcBuildingStorey* som finns i modellen och om entiteten inläses

	Nyvvångskolan F	Nyvvångskolan H	Nyvvångskolan K20-1000	Nyvvångskolan K20-2000	HBG-skelett	HBG-skal	Enkelt skript	Utvecklat skript	Olssonsskript	Metod baserat på IFC-delmängd
<i>IfcBuildingStorey</i>	7	7	6	7	12	3			x	

Takentiteterna är mer svårdefinierade. Den entitet som tydligast är en entitet för att beskriva taket är *IfcRoof* men inte bara *IfcRoof* används för taket. Entiteten *IfcSlab* kan användas om taket är platt nog. Detta reflekteras i att F-modellen och HBG-skelett inte använder *IfcRoof* för att definiera sina tak utan nöjer sig med en *IfcSlab*, eftersom deras tak är platta. HBG-skal har inga takentiteter. Det enkla skriptet använder bara takentiteterna utöver *IfcSpace*, se tabell 5.2. Det utvecklade skriptet använder *IfcSlab* och *IfcRoof* som tak. Olssons skript är skrivet för en modell utan en specifik icke horisontell takentitet, men innehåller metoder som ska behandla *IfcRoof*-entiteter. Eftersom HBG-skelett saknar någon egentlig *IfcRoof* väljer metod baserad på IFC-delmängd att använda *IfcSlab* som komplement för den tabellen. Metoden fungerade inte på de BIM-modeller som används för denna studie. När en delmängd för konvertering väljs ut är takgeometrierna en viktig del.

Tabel 5.2 I cellerna ange hur många av takentiteterna som finns i modellen och om entiteten inläses. *IFCSlab* kan användas som både en golv och en tak entitet. Där x:et är i parentes hanteras entiteten bara i vissa fall.

	Nyvvångskolan F	Nyvvångskolan H	Nyvvångskolan K20-1000	Nyvvångskolan K20-2000	HBG-skelett	HBG-skal	Enkelt skript	Utvecklat skript	Olssonsskript	Metod baserat på IFC-delmängd
<i>IFCRoof</i>	7	5	5	5	4	1		x	(x)	x
<i>IFCSlab</i>	44	11	46	11	273		x	x	x	(x)
<i>IFCSpace</i>	34	20					x	x		

Golventiteterna, främst *IFCSlab*, används vid en jämförelse på modellnivå av alla modellerna förutom HBG-skal, se tabell 5.2. Golventiteterna är intressanta vid skapandet av LOD2-3 modeller för hur de överlappar med väggarnas fotspår (Olsson 2018). För modellerna används de som bottenplanet i varje våning och blir därmed taket på våningen ovanför. På inläsningsnivå använder all de skript som testas *IFCSlab* i sin konvertering. Det enkla skriptet använde bara golventiteten som tak. Det utvecklade skriptet och Olssons skript använde *IFCSlab* både som tak och golv. Olssonsskript använde dessutom entiteten för att få ett snitt där golvet överlappar med väggen. När delmängden för en IFC-modell väljs ut används *IFCSlab* inte som golventitet eftersom golvet i den metoden är ointressant.

Väggentiteterna *IFCWall* och *IFCWallStandardCase* är de entiteter som är viktigast att hantera, eftersom de har en klar delmängd av entiteter att som ska användas, dvs. de väggentiteter som utgör byggnadsmodellens yttre skal. Problemet med entiteten tycks ha att göra med dess geometrier som inte hanteras av *ConvertGeometry*-transformatorn från det utvecklade skriptet. Det enkla skriptet använder *IFCSpace* istället för *IFCWall* och *IFCWallStandardCase* för att få fram väggar, se tabell 5.3. Om väggentiteten *IFCWallStandardCase* används blir den utskrivna filen oläslig. Både det utvecklade skriptet och Olssons skript använder *IFCWallStandardCase* men när den läses in från modellen resulterar det i att skripten kraschar. Olssons skript filtrera dessutom

väggentiteternas geometrier för att få fram vilka geometrier som är inuti och utanpå byggnaden.

Delmängds-metoden använder konsekvent alla väggentiteter och resulterar inte i en krasch.

Tabell 5.3 I cellerna ange hur många av väggentiteterna som finns i modellen och om entiteten inläses. IFCSlab kan användas som både en golv och en tak entitet. Där x:et är i parentes hanteras entiteten bara i vissa fall.

	Nyvångskolan F	Nyvångskolan H	Nyvångskolan K20-1000	Nyvångskolan K20-2000	HBG-skelett	HBG-skäl	Enkelt skript	Utvecklat skript	Olssonsskript	Metod baserat på IFC-del mängd
<i>IfcSpace</i>	34	20					x	x		
<i>IfcWall</i>	7	11	14	12	24			x	x	x
<i>IfcWallStandardCase</i>	387	194	92	54	1368			x		x
<i>IfcCurtainWall</i>					71			x		

Hur det kommer sig att de befintliga skripten inte kunde läsa in och konvertera en BIM-modell, trots att de på pappret hanterade samma IFC-entiteter, se bilaga 2, skulle kräva en större utredning. Det förväntade resultat borde vara att ett skript som är anpassat för en viss typ av entiteter sedan också skulle kunna konvertera dem. Det är intressant att notera att skriptkrascherna trots att BIM-modellerna från Lund och Helsingborg genererades på olika platser för olika syften båda kraschade för entiteten *IfcWallStandardCase* i deras modeller. Att felet är detsamma kan tyda på en gemensam problematik kring hur BIM-modellerna genereras hos kommunerna.

De konverterings metoder som jämförs i studien skilde sig också åt i vilken information som de filtrerade ut. Skriptet som utvecklades inom fallstudien och konverterings metoden på att skapa en delmängd hade enbart som syfte att bevara geometrierna för en senare visualisering. De andra skripten försökte dessutom spara semantiken. Att enbart fokusera på att ändamålet med konverteringen är visualisering ger konverteraren möjlighet att vara mer vårdslöst, och effektivt, med de olika entiteterna eftersom det egentligen bara är deras geometrier som är intressanta för

visualisering. Här återskapas då problemet med att en modell skapas för ett visst syfte utan tanke på andra användningsområden. Semantiken behålls i de andra skripten för att ge en kontext till geodatan för framtida användningsområden. Men att bevara ett informationslager till som inte är direkt ändamålskopplat bidrog till att inget av de testade skripten genomförde sin konverteringsväg helt och hållet.

För alla konverteringsmetoder som användes krävdes manuella justeringar för att de överhuvudtaget skulle fungera. Ingen av metoderna var helt automatiskt. Det enkla och den utvecklade metoden skulle man kunna se som automatisk. De gjorde dock knappt någon vilkorsstyrd geometrisk filtrering. Det enkla skriptet var beroende av att *IFC.Space*-entiteten hade en geometri för att fungera. Det utvecklade skriptet gjorde viss filtrering i och med att det inte tog med alla IFC-entiteter som innehåller geometrier. Olssons skript är den enda av metoderna som gjorde en vilkorsstyrd geometrisk filtrering och som gjorde den utifrån våningsplan. Problemet med Olssons skript var att den inte kunde hantera *IFCWallStandardCase*. Entitet *IFCWallStandardCase* var ett särskilt fall för de flesta konverterings skripten och skulle behöva ha en särskilt utformad geometrisk bearbetning vilket den här studien inte kan undersöka.

För att kunna genomföra en konvertering automatiskt krävs en djupare förståelse av både modellen och den data som ska konverteras. På grund att en BIM-modell kan skapas för så många olika ändamål och målsättningar kan man idag inte räkna med att ett standard konverteringsskript enkelt ska kunna konvertera alla givna modeller. För att utöka förståelsen skulle *IFCBuildingStorey* vara intressant att undersöka statistiskt. Till exempel blir informationen om hur mycket entiteten avviker i höjddled intressant eftersom detta avgör hur användbart ett platt fotspår blir. Det här kan man komma runt på en organisatorisk nivå genom att strikt definiera vad som ska vara med i modellen. Ett exempel som ges upprepat är att för IFC definiera en MVD för konverteringen (Donkers et al. 2016). Skriptet som skapades som del i fallstudien krävde också flera manuella justeringar för att konvertera modellen och kan inte heller påstås vara automatisk. I de skript som utvecklades i fallstudien hade en strikt form av våningsplan varit till stor nytta för automatisering av skriptet. På ett organisatoriskt plan skulle det också vara behjälpligt om det genomgående i samhällsbyggnadsprocessen fanns en förståelse för vad den producerade datan ska användas för i nästkommande steg.

Ett av de stora systematiska problemen med IFC, i BIM till GIS konvertering, är att ingen BIM-modell är den andra lik. BIM-Modellerna kan skiljas sig åt utifrån hur skaparen av modellen

pusslat med IFC-entiteterna. Pusslandet i uppbyggnaden av modellen har sitt ursprung i syfte och genomförande för modellen. Även om delar av konverteringsskriptet är automatiskt behöver skriptet justeras manuellt för att anpassas till BIM-modellens data. Idag blir alltså konverteringsprocessen arbetskrävande (Ljungblom et al. 2017).

5.2 Georeferering av stadsmodellen

Lund Lod2 våningsplan placerades manuellt enligt figur 5.8. Höjddled saknades varför placeringen blev bäst sedd så ortogonalt från markytan som möjligt. För georefereringen uppstod det både problem med stadsmodellen Lund LOD2 våningsplan och programmet CityPlanner.



Figur 5.8 Visualisering av Lunds LOD2 stadsmodell. Till vänster är modellen orienterad ortogonalt och tycks ligga någorlunda rätt georefererat. Till höger svävar byggnaderna när de visualiseras från markplan.

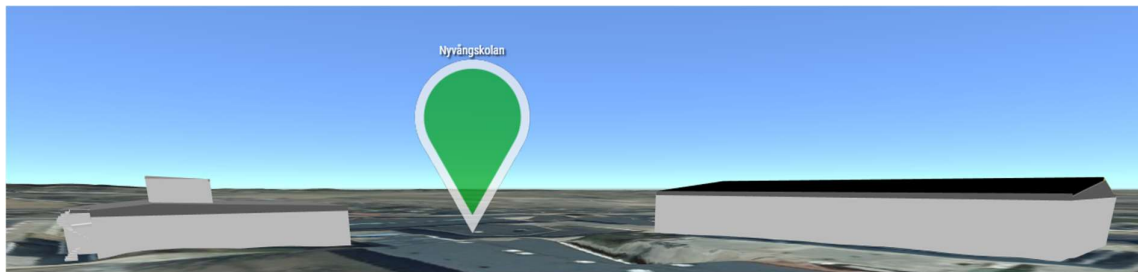
Den givna stadsmodellen Lund LOD2 våningsplan för med sig fyra problem. Det första problemet är att modellen inte har korrekt georeferering. Därför behöver mycket arbete läggas på att flytta den till sin korrekta position. Att flytta den manuellt till sin korrekta position är tidskrävande arbetet med dålig precision. Arbetet är tidskrävande eftersom modellen är så pass stor att dess visualisering tar tid att ladda för varje förflyttning. Arbetets dåliga precision kommer ur att modellen behöver placeras manuellt enligt ortofotot och modellens andra problem. Det andra problemet med stadsmodellen är att den var platt, dvs. alla byggnadsfötter ligger på samma höjd. Därför blir arbetet i höjddled också tidskrävande och med dålig precision. Faktum är att höjdskillnader saknas mellan byggnaderna, vilket också innebär att byggnaderna placeras fel i Planet om de inte visualiseras i exakt rätt vinkel. Det tredje problemet kommer med Sketchups mjukvarulicenser där det behövs en professionell licens för att ta ut bra koordinater. Det fjärde

problemet är att programmets exporter KML-filer och COLLADA-filer inte fungerar bra med FME som kraschade varje gång mjukvaran används för att bearbeta filerna.

I CityPlanner uppstod ett antal andra problem. Först tycktes stadsmodellen alltid hamna fel oberoende på hur väl koordinaten för stadens georeferering bestämdes. Detta framförallt för att det inte direkt framgår hur koordinaten i en KML-fil transformeras i CityPlanner. Det var också svårt att få fram höjd datan i en punkt hos programmet. För det andra var referenserna väldigt tunna relativt den information som behövdes för att söka svar.

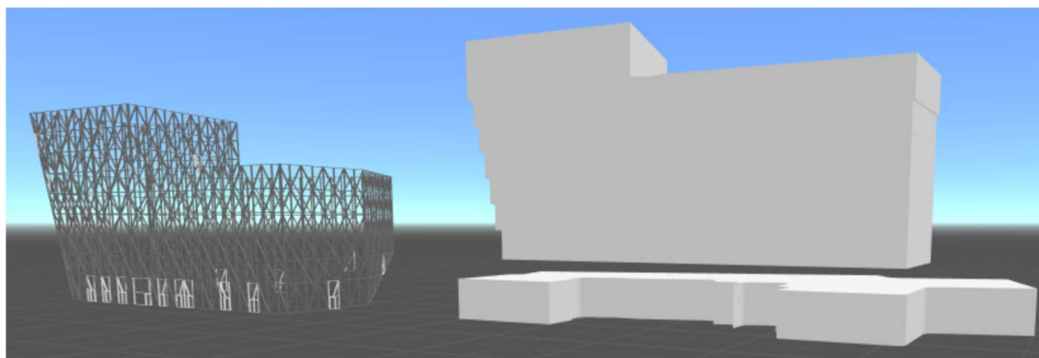
5.3 Visualisering av Byggnaden i Stadsmodellen

Att lägga in de konverterade byggnaderna i CityPlanner var inget problem, se figur 5.9. Även om de kontextuellt inte hade så mycket att ligga bredvid när de lokaliserats. Om inte skriptet skalade om modellerna behövdes det göras direkt i CityPlanner



Figur 5.9 Nyvängskolans konverterade modeller på plats i Dalby. Visualiserad i CityPlanner.

För byggnadsmodellerna från Helsingborg hände något när de konverterades se figur 5.10. HBG-skelett tappade ett våningsplan. I övrigt ser de bra ut.



Figur 5.10 Till vänster HBG-skal till höger HBG-skelett med ett försvunnet våningsplan. Visualiserad i CityPlanner.

5.4 Diskussion

Ett annat sätt att skapa enkla konverteringar är att alltid ha visualisering som ett bisyfte för modelleringen. För BIM-modelleringsstandarden IFC skulle man kunna skapa en abstrakt volym med *IFCspace* skulle representera byggnaden för olika detaljnivåerna LOD1 och LOD2. För LOD3 skulle man kunna göra en samling av geometrier som sedan skulle användas för att konvertera den. Den här typen av lösningar kan säkerställas i datan med en MVD av IFC, alltså en delmängd. MVD:n definierar vilken användbara data som ska finnas med i BIM-modellen. Att instansen som ska konvertera BIM-modellen vet hur modellen är uppbyggd öppnar upp för fler möjligheter för automatiserade konverteringsskript. BIM-modellens data behöver var uppbyggd på ett sådant sätt att den är enkel att analysera och förstå. Skadan med att mer restriktivt definiera vad som ska vara med i BIM-modellen är att standarden blir mindre användbar för sitt tillämpningsområde, då friheten att designa modellen begränsas. Här behövs en avvägning mellan nyttan av begränsning och den skada det skulle kunna åsamka den kreativa processen. I nuläget borde inga begränsningar skada den kreativa processen i någon högre grad.

Utformande av konverteringsskript är tidskrävande arbete. Ofta är skriptet utformat med en viss BIM-modells dataset i åtanke. Att skriptet är utformat för ett dataset minskar dess användbarhet gentemot andra dataset. I bästa fall kan skriptet användas med ett fåtal justeringar. Om skriptet inte behöver gör några manuella justeringar kan man anta att det är automatiskt. Även med enbart ett fåtal justeringar kan skriptet anses vara användbart. En målsättning med konverteringsskripten är att det ska vara så automatiska som möjligt med så få manuella justeringar på grund av datan som möjligt. . En fara med sådana skript är att de lätt blir för komplicerade för att skapa översikt. Därför ställs automatisering i balans mot justeringar. Om automatisering blir för komplext för användaren att förstå skriptet kan det vara värt med ett skript som bara är nästan automatiskt.

För att jämför de olika skripten användes i studien fem olika aspekter av skriptet, modell, inläsning, resultat, automatik och syfte. Den första aspekten att jämför är modellerna. Modellerna jämförs eftersom de ger en bra insikt i vad som kan användas av konverteringsskriptet. En jämförelse på modellnivå blir sen utgångspunkten för att kunna jämför de olika skripten. Den andra jämförelseaspekten skulle då var inläsning. Inläsningen är tätt sammankopplad med ETL-metodiken. Om modelljämförelsen jämför vilka entiteter som finns i modellen så jämförs i inläsningsjämförelsen vilka av modellens entiter som sen används av konverterings metoden, bilaga 2 ger en bra översikt över dessa två jämförelseaspekter. När jämförelsen jämför jämför

också vilka entiteter som inte används därmed sker vid inläsningen en första filtrering av entiteter. De tredje aspekten att jämför är resultatet. Resultatet motsvarar utskrift-steget i ETL-metodiken. Här jämförs helt enkelt resultaten av konverteringsmetoderna. Resultatet blir därmed klart beroende av de föregående aspekterna. Den fjärde jämförelseaspekten är utifrån automatik. Inom aspekten jämförs hur automatiskt konverterings metoden är. Jämförelsen kan testas utifrån över:

1. Är konvertering metoden manuell eller inte.
2. Behöver det göras justeringar för metoden relativt den inlästa modellen.
3. Görs det någon typ av automatisk villkorsstyrd filtrering för att förfina modellens geometrier. Som exempel för att generera ett yttre skal eller för att bättre fungera med geodatamodellens detaljnivåers noggrannhet.
4. Hanteras och repareras fel i modellen automatiskt

Den slutliga aspekten för jämförelse är utifrån metodens syfte. Här jämförs vad det tänkta användningsområdet av modellen är. Den enklaste avskiljningen här är mellan metoder som behåller semantik och geometri från BIM-modellen samt metoder som bara är intresserade av BIM-modellens geometrier. Syftet blir därmed nära kopplat till den konverterade modellens användningsområde eller för vad modellen ska vara visualiseringsstöd.

Jämförelse av olika konverterings metoder blir relevanta eftersom det ger en bild av hur en konvertering kan mellan informationsteknikerna kan gå till. Som syns i de flesta av konverterings metodernas resultat är det svårt att direkt applicera en konverteringsmetod på en ny modell. Detta var ett problem bland flera av metoderna som testades i den här uppsatsen. Avslutningsvis finns redan ett flertal goda kandidater för att visualisering stadsplanering. För visualisering av bygglov och 3D-fastigheter behöver vidare utveckling göras.

6 Slutsats

Informationsglappet mellan informationsteknikerna BIM och GIS handlar i första hand om ändamål och perspektiv på byggnaden. För en geodatamodell så utgör byggnaden en del av en större helhet. För en BIM-modell däremot utgör byggnaden naturligt nog själva centralpunkten även om det kan finnas andra delar runt omkring. Detta visas i kartläggningen över befintliga tekniska datastandarder ändamålsenligt kategoriserat efter syftet för datarepresentation, BIM-modeller, stadsmodeller och visualisering. Hur standarderna överlappar varandra visar också på informationsglappet. Det är också tydligt i kartläggningen att konverteringen mellan standarderna därför måste ske med en teknisk tillämpning i åtanke. För att använda de olika

informationsteknikerna tillsammans behöver informationsöverlappning syfte i samhällsbyggnadsprocessen vara tydligt.

Förenklade BIM-modeller kan användas som visualiseringsstöd i samhällsbyggnadsprocessen. De användningsområden inom samhällsbyggnadsprocessen som skulle ha nytta av att använda förenklade BIM-modeller som visualiseringsstöd visade sig i kartläggningen vara processerna för detaljplanering, 3D-fastigheter och bygglov. För att användas inom de olika användningsområdena är det lämpligt att konvertera till en standard för anpassad för visualisering. Användningen av modellerna förenklas också genom att använda program anpassade för visualisering.

BIM-modeller kan konverteras till geodatamodeller för visualisering. Konvertering är det enklaste sättet att överbygga informationsglappet mellan informationsteknikerna. Diverse olika konverteringmetoder mellan BIM och GIS kartlades i studien. I studien lades fokus på skript som använde FME, eftersom detta är en mjukvara anpassad för konverteringar mellan standarder. Konverteringsmetoderna använde olika tillvägagångssätt för att överbygga informationsglappet.

Inom ramen av en fallstudie med BIM-modeller från Lunds kommun och Helsingborgs kommun utvecklades ett eget skript för konvertering av IFC-modeller till COLLADA. Det egna skriptet användes för att konvertera de givna BIM-modellerna. För konverteringen krävdes flera anpassningar av skriptet för varje modell, där anpassningarna gjordes utifrån vilket våningsplan en geometri tillhörde. Inom fallstudien visualiserades också en LOD2 modell över Lunds kommun. Att ignorera semantiken gjorde det enklare att utveckla ett konverteringsskript. I studien visade det sig att en ganska begränsad del av IFC-entiteterna är intressanta att använda för konvertering.

Utifrån fallstudien genomfördes sedan flera konverteringar av samma BIM-modeller, men med olika konverteringsmetoder. De konverteringsmetoder som jämfördes var inte anpassade till den givna datan. I studien visade det sig att konverteringsprocessen kan jämföras på flera nivåer. För modellen, inläsningen av modellen, syftet med konverteringen, hur automatiskt konverteringen är och det faktiska resultatet av konverteringen. Den här studien fann att de hur väl en konverteringsmetod filtrerade onödiga geometrier från BIM-modellen och hur automatiskt den är var de intressantaste delarna för att jämföra olika konverteringsmetoder. Hur automatiskt en

metod är och hur väl den filtrerade onödiga geometrier är beroende av datamaterialet som konverteras. Konverteringen skulle ha kunnat vara enklare om det tydligt angavs vad som skulle finnas i datamaterialet.

Den här studien fann likt andra studier att konverteringen mellan BIM och GIS skulle tjäna på om standarderna inom båda informationsteknikfälten standardiserades med konvertering i åtanke eftersom konvertering är det enklaste sättet att överbygga informationsglappet. Att standarderna finns det reflekterat att data ska användas genom hela samhällsbyggnadsprocessen och på så sätt bidra till skapandet av den smarta staden.

Bilaga 1

Tabellen innehåller alla IFC-entiteter som tas upp i fallstudien och materialet. Mer information om entiteterna finns Buildingsmart (2007I) och Buildingsmart (2018)

Namn:	Beskrivning:	Geometri:
<i>IFCBeam</i>	Är en balk som utgör horisontella eller nästan horisontella strukturer. Den behöver inte vara tyngdbärande.	SweptSolid, Clipping, MappedRepresentation, SurfaceModel, Brep och BoundingBox
<i>IFCBuilding</i>	Anger byggnaden som helhet. Är barn till <i>IFCSite</i> . Utgör en startpunkt för modellen och är därmed snarlik ett rotelement. (Buildingsmart-tech.org 2018)	Saknar geometri
<i>IFCBeam</i>	Struktur för att bära tyngder horisontellt mellan andra vertikala bärande strukturer (Buildingsmart 2007a).	Sweptsolid och Clipping
<i>IFCBuildingElement</i>	Är en överentitet. Alla entiteter som har en faktisk strukturell betydelse för byggnaden är undergrupp till <i>IFCBuildingElement</i> så som väggar, golv och tak.	BoundingBox, SurfaceModel, Brep och MappedRepresentation
<i>IFCBuildingElementProxy</i>	En klass som beskriver entiteter som inte har fått en egen annan entitet. Den skapar entiteter snarlika <i>IFCBuildingElement</i> men behöver till skillnad från <i>IFCBuildingElement</i> inte definiera vad det är för typ av entitet den skapar (Buildingsmart 2007b).	BoundingBox, GeometricSet, Geometric-CurveSet, SweptSolid, SurfaceModel, Brep och MappedRepresentation
<i>IFCBuildingStorey</i>	En entitet som beskriver ett aggregerat utrymme på ett	Kan innehålla ett fotspårs geometri.

	horisontalt plan. Den anger en höjd på det horisontala planet.	
<i>IFCColumn</i>	En vertikalt stående kolumn vars tyngd är centrerad i botten. Kolumnen behöver inte vara en bärande pelare (Buildingsmart 2007c).	SweptSolid, Clipping och MappedRepresentation
<i>IFCCovering</i>	En täckning eller behandling av en annan yta eller överlappning eller del av en annan yta eller del av en överlappning. <i>IFCCovering</i> är därmed helt beroende av den entitet som den täcker, helt eller delvis (Buildingsmart 2007d).	De flesta geometrier. Kopplat till vad den täcker
<i>IFCCurtainWall</i>	En icke-tyngdbärande vägg som utgör en fasad för byggnaden (Buildingsmart 2007e).	BoundingBox, SurfaceModel, B-rep och MappedRepresentation
<i>IFCDoor</i>	En konstruktion för att öppna eller stänga ett hål i en vägg. Dörren finns till för att kontrollera tillgången till och från ett utrymme. Det finns flera sätt att öppna en dörr. (Buildingsmart 2012)	En GeometricCurveSet visar utrymmet dörren kommer uppta en annan GeometricCurveSet visar dess 2D form i planet. Slutligen definierar en SweptSolid, SurfaceModel, or Brep utformningen i 3D
<i>IFCFlowTerminal</i>	Används för att göra kopplingar till flödessystem som för luft flöde, vattendränning osv. (Buildingsmart 2007f).	Geometrin definieras indirekt med <i>IFCProductDefinitionShape</i>
<i>IFCFooting</i>	Är byggnadsgrunden alltså den grund som byggnaden står på. Viktigt att skilja från <i>IFCSlab</i> som är själva golvet. <i>IFCFooting</i> utgör	SweptSolid

	grunden som golvet står på. (Buildingsmart 2015)	
<i>IFCFurnishingElement</i>	Samlings entitet för alla möbler. Möbleringen kan både var inbyggd och fristående (Buildingsmart 2007g).	BoundingBox, Geometric-CurveSet, SurfaceModel, Brep och Mapped-Representation
<i>IFCMember</i>	En icke tyngd bärande konstruktion till skillnad mot <i>IFCBeam</i> och <i>IFCColumn</i> (Buildingsmart 2007h).	SweptSolid och Clipping
<i>IFCPlate</i>	Är en bärande platta. Den kan var horisontell eller vertikal och bär upp bygganden. (Buildingsmart 2007i).	SweptSolid, Clipping, Brep, MappedRepresentation, SurfaceModel, och BoundingBox
<i>IFCRailing</i>	Ett skyddsräckeplacerad där människor rör sig. Antingen för att förhindra dem från att fall eller för att ge stöd när de rör sig där. (Buildingsmart 2007j)	BoundingBox, Surface-Model, Brep och MappedRepresentation
<i>IFCRoof</i>	Konstruktion för att stänga byggnadens ovsida. Är ett aggregat av andra entiteter som representerar takets geometri. (Buildingsmart 2007k)	Geometrin representeras av ingående entiteters geometrier.
<i>IFCSlab</i>	Är det attribut som representera horisontalplanen ovan och under en volym. Slabs utgör därmed golv och innertak men inte yttertak. Yttertak representeras istället med <i>IFCRoof</i> eller ”coverings” som <i>IFCSlab</i> kan vara en del av. Attributet kan också representera golvplattan utanför en tröskel som	SweptSolid, Clipping, Brep and MappedRepresentation

	ett särskilt fall (Buildingsmart 2007n).	
<i>IFCSite</i>	Det område där konstruktionen av byggnaden ska göras (Buildingsmart 2007m).	Facetation Representation eller Body Representation
<i>IFCSpace</i>	Anger byggnadsvolymer, exempelvis våningar, rum eller utomhusvolymer. Volymen eller arean ska var kopplad till en särskild funktion i bygganden definierar ett användningsutrymme (Buildingsmart 2007o, 2013)	Curve2D eller GeometricCurveSet används för 2D fotspår och SweptSolid, Clipping eller Brep används för en 3D kropp.
<i>IFCStair</i>	Konstruktion som låter en färdas från en våning till en annan med hjälp av trappsteg.	Definieras av sina komponenters geometri i.e. <i>IFCStairFlight</i> alternativt Brep
<i>IFCStairFlight</i>	En sammansatt del trappsteg i en trappa avbrutet av våningar och mellanplatåer. Rulltrappors rullmaskin kan också vara del av entitet. Ofta aggregerad till en <i>IFCStair</i> (Buildingsmart 2007p)	WalkingLine, Boundary och Body i en samling för att skapa geometrin.
<i>IFCTypeObject</i>	En abstract entitet som används för att kategorisera andra objekt som typer (Buildingsmart 2010).	Är abstrakt och innehåller inga geometrier
<i>IFCWall</i>	En vertikal konstruktion som delar upp konstruktionen den är del av. Oftast har den en bärande funktion (Buildingsmart 2007q).	SweptSolid, B-rep och Clipping
<i>IFCWallStandardCase</i>	Är en vägg som utgår lodrätt från marken. Den ska också beskriva	Definieras av en polyline som lägger ut väggen riktning och en SweptSolid

	en vägg som är jämntjock. (Buildingsmart 2007r)	eller CSG som lägger till det tredimensionella utmed linjen
<i>IFCWindow</i>	En vertikal eller nästan vertikal konstruktion för att stänga en öppning i en vägg eller tak som släpper igenom ljus och kan tillåta luft att komma igenom. (Buildingsmart 2007s)	Curve3D för profilen, GeometricCurveSet eller Annotation2D för fotspåret samt SweptSolid, SurfaceModel eller Brep för representation av entitetens kropp
<i>IFCPropertySet- DefinitionCreator, IFCQuantitySetDefinition</i>	Är inte en IFC-entiteter. IFCQuantitySetDefinition är en skapad entitet vid FME-läsning. Den utgör en kvantitativ mängd av IFC- entiteter. (FME 2018l)	

Bilaga 2

Bilagan visar vilka IFC-entiteter, och hur många, som FME läser in från de olika IFC-modellerna. X:en markerar vilka IFC-entiteter skripten efterfrågar om X:et är i parantes innebär det att metoden inte alltid hanterar entiteten. För det egna skriptet variera vilka entiteter som läses in utefter modellen som läses in.

HBG-skal	IFCAnnotation	IFCBeam	IFCBuilding	IFCBuildingElementProxy	IFCBuildingStorey	IFCColumn	IFCCovering	IFCCurtainWall	IFCDoor	IFCFlowSegment	IFCFlowTerminal	IFCFooting	IFCFurnishingElement
HBG-skelett		2	1	288	12	73	212	71	1305	2			3530
Nyvvångskolan K20-2000		155	1	11	7	441	6		1			24	
Nyvvångskolan K20-1000		173	1	690	6	124				1		47	
Nyvvångskolan H	157	196	1	54	7	441	32		27	4	12	30	83
Nyvvångskolan F	198	146	1	757	7	128	71		50	3	26	52	18
Metod baserat på IFC-delmängd													
Olssonsskript			x		x				x				
Uvecklat skript		x	x	x		x		x	x		x	x	x
Enkelt skript			x										

										<i>IFCMember</i>					
										<i>IFCOpeningElement</i>					
										<i>IFCPlate</i>					
										<i>IFCProject</i>					
										<i>IFCRailing</i>					
										<i>IFCRamp</i>					
										<i>IFCRampFlight</i>					
										<i>IFCReinforcingBar</i>					
										<i>IFCRoof</i>					
										<i>IFCSite</i>					
										<i>IFCSlab</i>					
										<i>IFCSpace</i>					
										<i>IFCStair</i>					
										<i>IFCStairFlight</i>					
										<i>IFCTypeObject</i>					
										<i>IFCWall</i>					
										<i>IFCWallStandardCase</i>					
										<i>IFCWindow</i>					
										<i>PropertySetDefinition</i>					
										<i>QuantitySetDefinition</i>					
1000	568	386	1	1	68	19	4	1	273	18	339	24	1368	18	3
	15		1	1	7	5	5	1	11	1		12	54		15
	43		1	1	1	1856	5	1	46	6		14	92	16	
4	93		1	1	9		5	1	11	2		11	194	41	1
	134		1		24	123	7	1	44	7		7	387	47	1
							x		(x)			x	x		
							(x)		(x)			x	x		
x		x			x		x		x	x		x	x		

Ogrupperade och grupperade referenser

Ogrupperade referenser

- 3D, C. 2018. Home – Basic. <http://www.complete3d.se>
- Abdul-Rahman, A., och M. Pilouk 2008. 2D and 3D Spatial Data Representations. Pages 25-42 Spatial Data Modelling for 3D GIS. Springer.
- Agency9. 2017. Agency9 | Leading 3D solutions. 1 December, 2017. <http://agency9.com/>
- Al-Kodmany, K. 1999. Using visualization techniques for enhancing public participation in planning and design: process, implementation, and evaluation. *Landscape and urban planning* **45**:37-45.
- Almqvist, A., F. Ekelund, U. Hedlund, E. Jeansson, T. Lithen, J. Andreasson, U. Norén, och L. Wallin. 2016. Strategi för 3D geodata. Smart Built Enviroment, Stockholm.
- Andrée, M., K. Larsson, F. Nordqvist, L. Malm, O. Tullberg, A. Wallberg, J. Norsell, J. Paasch, S. Seipel, och J. Paulsson. 2017. BIM som informationsstöd för 3D fastighetsbildning. Smart Built enviroment.
- Andrée, M., J. Paasch, J. Paulsson, och S. Seipel 2018. BIM and 3D property visualisation. *FIG Congress 2018, Istanbul, Turkey, May 6-11, 2018*.
- BAS. 2018. Vad är BIM? <http://www.bimalliance.se/vad-aer-bim>
- Batty, M., D. Chapman, S. Evans, M. Haklay, S. Kueppers, N. Shiode, A. Smith, och P. M. Torrens. 2000. Visualizing the city: communicating urban design to planners and decision-makers. *CASA Working Papers* **32**.
- BBB. 2018. ABOUT – Block By Block. 16 Mar, 2018. <https://blockbyblock.org/about/>
- Biljecki, F., H. Ledoux, och J. Stoter. 2014a. Redefining the level of detail for 3D models. *GIM Int* **28**:21-23.
- Biljecki, F., H. Ledoux, J. Stoter, och J. Zhao. 2014b. Formalisation of the level of detail in 3D city modelling. *Computers, Environment and Urban Systems* **48**:1-15.
- Biljecki, F., J. Stoter, H. Ledoux, S. Zlatanova, och A. Cöltekin. 2015. Applications of 3D City Models: State of the Art Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information* **4**.
- BIMForum. 2018. LEVEL OF DEVELOPMENT SPECIFICATION PART I & COMMENTARY. Pages 12-13. BIMForum.
- Boverket.2016. FJL slutrapport steg 1 förstudie. Boverket, dpl.boverket.se (in
- Boverket.2017a. Digitala detaljplaner. Boverket, Karlskrona (in
- Boverket. 2017b. När du behöver bygglov. Mars 14, 2018. <https://www.boverket.se/sv/byggande/bygga-nytt-om-eller-till/bygglov/>
- Bullard, L. 2018. Extensible 3D: XML Meets VRML. 2 Feb, 2018. <http://www.xml.com/pub/a/2003/08/06/x3d.html>
- Byggtjanst.se. 2018. Mina Kvarter byggs med MineCraft 16 Mar., 2018. <https://byggtjanst.se/aktuellt/mina-kvarter/>
- Bygogmiljoe.dk. 2017. Byg og Miljø. <https://www.bygogmiljoe.dk/>
- CityPlanner. 2017. CityPlanner. 1 December, 2017. <https://cityplanneronline.com/site/>
- CityPlanner. 2018a. 3D Modeling for CityPlanner-CityPlanner Guide. . <https://cityplanneronline.com/help/index.php/reference/3d-modeling-for-cityplanner/>
- CityPlanner. 2018b. Measure – CityPlanner Guide. <https://cityplanneronline.com/help/index.php/reference/editor/topbar/measure>
- CityPlanner. 2018c. Point of interest – CityPlanner Guide. <https://cityplanneronline.com/help/index.php/reference/editor/edit-toolbar/point-of-interest>

- CityPlanner. 2018d. Shadow Analysis – CityPlanner Guide.
<https://cityplanneronline.com/help/index.php/reference/editor/topbar/shadow-analysis>
- CityPlanner. 2018e. Viewpoints – CityPlanner Guide.
<https://cityplanneronline.com/help/index.php/reference/editor/edit-toolbar/viewpoints>
- DaveaAtSafe. 2016. IFC LOD 300 to LOD 4 CityGML -.
<https://knowledge.safe.com/articles/1025/bim-to-gis-intermediate-ifc-lod-300-to-lod-4-citygml.html>
- DeanAtSafe. 2018. BIM to GIS (Basic) | IFC LOD 100 to LOD 2 CityGML - FME Knowledge Center. 19 Feb. , 2018.<https://knowledge.safe.com/articles/1023/bim-to-gis-basic-ifc-lod-100-to-lod-2-citygml.html>
- Donkers, S. 2013. Automatic generation of CityGML LoD3 building models from IFC models.
- Donkers, S., H. Ledoux, J. Zhao, och J. Stoter. 2016. Automatic conversion of IFC datasets to geometrically and semantically correct CityGML LOD3 buildings. *Transactions in GIS* **20**:547-569.
- Eckholm, A., H. Blom, K. Eckerberg, K. Löwnertz, och V. Tarandi. 2013. BIM– Standardiseringsbehov. *Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, Stockholm*.
- El-Mekawy, M., A. Östman, och I. Hijazi. 2012. A Unified Building Model for 3D Urban GIS. *ISPRS International Journal of Geo-Information* **1**.
- epsg. 2018. EPSG home. <http://www.epsg.org>
- FBL. 2016. Fastighetsbildningslag (1970:988). Svergies Riksdag.
- Floros, G., I. Pispidikis, och E. Dimopoulou 2017. INVESTIGATING INTEGRATION CAPABILITIES BETWEEN IFC AND CITYGML LOD3 FOR 3D CITY MODELLING.
- Geodata.2016. Nationell Geodatastrategi 2016-2020. Geodata, LM-rapport 2016/3, (in Group, K. 2008. COLLADA – Digital Asset Schema Release 1.5.0. Khronos Group Sony Computer Entertainment Inc. Sony Computer Entertainment America Sony Computer Entertainment Europe.
- INSPIRE. 2013. D2.8. III . 2 INSPIRE Data Specification on Buildings – Draft Technical Guidelines. INSPIRE Thematic Working Group Buildings.
- Eric, M. 2018. Genomgång av Complete 3D.in L. Berge, editor.
- Isikdag, U., och S. Zlatanova 2009. Towards defining a framework for automatic generation of buildings in CityGML using building Information Models. Pages 79-96 3D Geo-Information Sciences. Springer.
- JB. 2015. Jordabalk (1970:994). Svergies Riksdag.
- Johansson, M. R., T. Lithén, J. Henriksson, L. Rodhe, L.-K. Stölen, L. Nilsson, Å. Eriksson, A. Steuernagel, M. Axelsson, M. Malmberg, M. R. Johansson, och T. Lithén.2016. Ramverk för Nationella geodata i 3D. Lantmäteriet, Gävle (in
- Kolbe, T. H. 2009. Representing and Exchanging 3D City Models with CityGML. *3D Geo-Information Sciences*:15-31.
- Lantmäteriet. 2017. Beskrivning RK-GML. Lantmäteriet, Lantmäteriet.se.
- Lantmäteriet. 2018. Digitalt först.
- Larsson, A. 2015. Samredovisning av BIM- och GIS-data. Masterupsats. Lunds University, Lund.
- Liu, X., X. Wang, G. Wright, J. C. Cheng, X. Li, och R. Liu. 2017. A State-of-the-Art Review on the Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS). *ISPRS International Journal of Geo-Information* **6**:53.

- Ljungblom, M., J. Nellerup, J. Hellman, L. Johansson, S. Danielsson, J. Andreasson, och P. Hagberg. 2017. Digital detaljplaneprocess med 3D-visualisering och analys. S. B. Enviroment, (in Swedish).
- Nagel, C., A. Stadler, och T. Kolbe 2007. Conversion of IFC to CityGML. *i Meeting of the OGC 3DIM Working Group at OGC TC/PC Meeting Paris* (Frankreich).
- Nagel, C., A. Stadler, och T. H. Kolbe 2009. Conceptual requirements for the automatic reconstruction of building information models from uninterpreted 3D models. *i Proceedings of the Academic Track of the Geoweb 2009-3D Cityscapes Conference in Vancouver, Canada, 27-31 July 2009.*
- Olsson, P. 2018. Conversion of an IFC-model to a Lod2-3 3D-GIS building model. Pages 12-15 AGILE Conference. Physical geography and ecosystem science Lund university, Lund, Sweden.
- Olsson, P., J. Axelsson, M. Hooper, och L. Harrie. 2018. Automation of Building Permission by Integration of BIM and Geospatial Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 7:307-328.
- PBL. 2010. Plan och Bygglagen Svensk författningssamling 2010:900. in S. Rikstad, editor. Svergies Rikstad, Svergies Rikstad.
- Penttilä, H. 2006. Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)* 11:395-408.
- Regeringen. 2016. Digitalisering ska förenkla bostadsplaneringen Regeringen; och Regeringskansliet;, (in
- Safe. 2018. COLLADA Quick Facts. 12 Mar, 2018. https://docs.safe.com/fme/html/FME_Desktop_Documentation/FME_ReadersWriters/collada/quick_facts_collada.htm
- SCB. 2017. IT bland individer 2017. SCB, (in
- SCB. 2018. Andel personer som använt internet i stort sett varje dag. SCB, (in
- Schelin, E., E. Argus, U. Ranhagen, A.-J. Klasander, A. Eriksson, och P. Berne. 2017. Samverkansprogram Smarta Städer Digitalisering av planprocessen. IQ samhällsbyggnad.
- SGP. 2018. SGP Geodataspecifikation Byggnad. Lantmäteriet, (in
- Shiode, N. 2000. Urban Planning, Information Technology, and Cyberspace. *Journal of Urban Technology* 7:105-126.
- SimpleBIM. 2018. simplebim > – Benefits. <http://www.datacubist.com/benefits>
- SketchUpSchool. 2018. SketchUp | Getting Started | SketchUpSchool.com. <https://www.sketchupschool.com/sketchup>
- Tolmer, C. E., C. Castaing, Y. Diab, och D. Morand 2013. CityGML and IFC: Going further than LOD. Pages 645-648 *i 2013 Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage).*
- Uggla, G., och M. Horemuz. 2018. Georeferencing Methods in BIM. *Division of Geodesy and Satellite Positioning, School of Architecture and Built Environment, Royal Institute of Technology (KTH), SE-100 44 Stockholm, Sweden.*
- W3Schools. 2018a. XML Schema Tutorial. https://www.w3schools.com/xml/schema_intro.asp
- W3Schools. 2018b. XML Tutorial. 30 jan, 2018. <https://www.w3schools.com/xml/>
- Wang, W., och K. Wang. 1986. Geometric modeling for swept volume of moving solids. *IEEE Computer graphics and Applications* 6:8-17.
- Web3d.org. 2018. What is X3D. 2 Feb, 2018. <http://www.web3d.org/x3d/what-x3d>

- Wiki, C. P. 2018. COLLADA FAQ 2 Feb. ,
2018.https://www.khronos.org/collada/wiki/COLLADA_FAQ#Is_COLLADA_Open_Source.3F
- Wu, H., Z. He, och J. Gong. 2010. A virtual globe-based 3D visualization and interactive framework for public participation in urban planning processes. *Computers, Environment and Urban Systems* **34**:291-298.
- Xu, H., R. Badawi, X. Fan, J. Ren, och Z. Zhang 2009. Research for 3D visualization of digital city based on SketchUp and ArcGIS. Page 74920Z i *International Symposium on Spatial Analysis, Spatial-Temporal Data Modeling, and Data Mining*. International Society for Optics and Photonics.
- Zlatanova, S., och U. Isikdag. 2016. Building Information Modelling: essentials and issues. *GIM International: the worldwide magazine for geomatics* **30**.
- Zlatanova, S., J. Stoter, och U. Isikdag. 2012. Standards for Exchange and Storage of 3D Information: Challenges and Opportunities for Emergency Response. Pages pp. 17-28 Proceedings of the 4th International Conference on Cartography & GIS International Cartographic Association, Albena.

FME

- FME. 2017a. Aggregates (IFMEAggregate).
http://docs.safe.com/fme/2017.1/html/FME_Desktop_Documentation/FME_Workbench!/FME_Geometry/Aggregates.htm
- FME. 2017b. Composite Surfaces (IFMECompositeSurface).
https://docs.safe.com/fme/2017.1/html/FME_Desktop_Documentation/FME_Transformers!/FME_Geometry/IFMECompositeSurface.htm
- FME. 2017c. Extrusions (IFMEExtrusion).
- FME. 2017d. GeometryPartExtractor.
http://docs.safe.com/fme/2017.0/html/FME_Desktop_Documentation/FME_Transformers_HelpPane/Transformers/geometrypartextractor.htm
- FME. 2018a. Aggregator. <https://www.safe.com/transformers/aggregator>
- FME. 2018b. BinaryDecoder.
http://docs.safe.com/fme/2018.0/html/FME_Desktop_Documentation/FME_Transformers/Transformers/binarydecoder.htm?Highlight=%20BinaryDecoder
- FME. 2018c. BinaryEncoder.
http://docs.safe.com/fme/2018.0/html/FME_Desktop_Documentation/FME_Transformers/Transformers/binaryencoder.htm
- FME. 2018d. CoordinateExtractor.
https://docs.safe.com/fme/2018.0/html/FME_Desktop_Documentation/FME_Transformers/Transformers/coordinateextractor.htm?Highlight=coordinateextractor
- FME. 2018e. Counter.
https://docs.safe.com/fme/2018.0/html/FME_Desktop_Documentation/FME_Transformers/Transformers/counter.htm?Highlight=counter
- FME. 2018f. Deaggregator.
http://docs.safe.com/fme/2018.0/html/FME_Desktop_Documentation/FME_Transformers/Transformers/deaggregator.htm
- FME. 2018g. Dissolver.
https://docs.safe.com/fme/2018.0/html/FME_Desktop_Documentation/FME_Transformers/Transformers/dissolver.htm?Highlight=Dissolver
- FME. 2018h. FeatureMerger.
https://docs.safe.com/fme/2018.0/html/FME_Desktop_Documentation/FME_Transformers/Transformers/featuremerger.htm?Highlight=feature

- FME. 2018i. FME Geometry Model
http://docs.safe.com/fme/2018.0/html/FME_Desktop_Documentation/FME_Transformers!/FME_Geometry/FME_Geometry_Model.htm?Highlight=geometry
- FME. 2018j. GeometryCoercer.
http://docs.safe.com/fme/2018.0/html/FME_Desktop_Documentation/FME_Transformers/Transformers/geometrycoercer.htm
- FME. 2018k. GeometryRefiner.
http://docs.safe.com/fme/2018.0/html/FME_Desktop_Documentation/FME_Transformers/Transformers/geometryrefiner.htm
- FME. 2018l. Industry Foundation Class (IFC) Reader Parameters.
https://docs.safe.com/fme/html/FME_Desktop_Documentation/FME_ReadersWriters/ifc/IFC_reader.htm?Highlight=ifc
- FME. 2018m. Intersector.
https://docs.safe.com/fme/2018.0/html/FME_Desktop_Documentation/FME_Transformers/Transformers/intersector.htm
- FME. 2018n. Multis. 17/4,
 2018.http://docs.safe.com/fme/2018.0/html/FME_Desktop_Documentation/FME_Transformers!/FME_Geometry/Multis.htm#FMEMultiSurface
- FME. 2018o. Solids (IFMESolid). 17/4,
 2018.http://docs.safe.com/fme/2018.0/html/FME_Desktop_Documentation/FME_Transformers!/FME_Geometry/IFMESolids.htm
- FME. 2018p. Sorter.
https://docs.safe.com/fme/2018.0/html/FME_Desktop_Documentation/FME_Transformers/Transformers/sorter.htm?Highlight=sorter
- FME. 2018q. SurfaceFootprintReplacer.
https://docs.safe.com/fme/2018.0/html/FME_Desktop_Documentation/FME_Transformers/Transformers/surfacefootprintreplacer.htm
- FME. 2018r. Surfaces (IFMESurface). 17/4,
 2018.http://docs.safe.com/fme/2018.0/html/FME_Desktop_Documentation/FME_Transformers!/FME_Geometry/IFMESurfaces.htm
- FME. 2018s. Tester.
https://docs.safe.com/fme/2018.0/html/FME_Desktop_Documentation/FME_Transformers/Transformers/tester.htm?Highlight=tester
- FME. 2018t. TestFilter.
https://docs.safe.com/fme/2018.0/html/FME_Desktop_Documentation/FME_Transformers/Transformers/testfilter.htm?Highlight=TestFilter
- FME. 2018u. VariableRetriever. 2018-04-12,
http://docs.safe.com/fme/2018.0/html/FME_Desktop_Documentation/FME_Transformers/Transformers/variableretriever.htm

BuildingSmart

- Buildingsmart-tech.org. 2018. IfcBuilding. 22 Mar, 2018.<http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/ifcproductextension/lexical/ifcbuilding.htm>
- Buildingsmart. 2007a. IfcBeam. <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/ifcsharedbldgelements/lexical/ifcbeam.htm>
- Buildingsmart. 2007b. IfcBuildingElementProxy. <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/ifcproductextension/lexical/ifcbuildingelementproxy.htm>
- Buildingsmart. 2007c. IfcColumn. <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/ifcsharedbldgelements/lexical/ifccolumn.htm>

- Buildingsmart. 2007d. IfcCovering. <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/ifcproductextension/lexical/ifccovering.htm>
- Buildingsmart. 2007e. IfcCurtainWall. <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/ifcsharedbldgelements/lexical/ifccurtainwall.htm>
- Buildingsmart. 2007f. IfcFlowTerminal. <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/ifcsharedbldgserviceelements/lexical/ifcflowterminal.htm>
- Buildingsmart. 2007g. IfcFurnishingElement.
- Buildingsmart. 2007h. IfcMember. <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/ifcsharedbldgelements/lexical/ifcmember.htm>
- Buildingsmart. 2007i. IfcPlate. 20/4, 2018. <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/Add2/html/schema/ifcsharedbldgelements/lexical/ifcplate.htm>
- Buildingsmart. 2007j. IfcRailing. <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/ifcsharedbldgelements/lexical/ifcrailing.htm>
- Buildingsmart. 2007k. IfcRoof. <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/ifcsharedbldgelements/lexical/ifcroof.htm>
- Buildingsmart. 2007l. IFC SHARED BLDGELEMENTS. <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/ifcsharedbldgelements/ifcsharedbldgelements.htm#entities>
- Buildingsmart. 2007m. IfcSite.
- Buildingsmart. 2007n. IfcSlab. <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/ifcsharedbldgelements/lexical/ifcslab.htm>
- Buildingsmart. 2007o. IfcSpace. <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/ifcproductextension/lexical/ifcspace.htm>
- Buildingsmart. 2007p. IfcStairFlight. <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/ifcsharedbldgelements/lexical/ifcstairflight.htm>
- Buildingsmart. 2007q. IfcWall. <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/ifcsharedbldgelements/lexical/ifcwall.htm>
- Buildingsmart. 2007r. IfcWallStandardCase. <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/ifcsharedbldgelements/lexical/ifcwallstandardcase.htm>
- Buildingsmart. 2007s. IfcWindow. 04-13, 2018. <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/ifcsharedbldgelements/lexical/ifcwindow.htm>
- Buildingsmart. 2010. IfcTypeObject. <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x4/rc2/html/schema/ifckernel/lexical/ifctypeobject.htm>
- Buildingsmart. 2012. IfcDoor. 2018-04-13, <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x4/alpha/html/ifcsharedbldgelements/lexical/ifcdoor.htm>
- Buildingsmart. 2013. 5.4.3.45 IfcSpace. <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/final/html/schema/ifcproductextension/lexical/ifcspace.htm>
- Buildingsmart. 2015. 7.5.3.1 IfcFooting. http://docs.buildingsmartalliance.org/IFC4x2_Bridge/schema/ifcstructuralelementsdomain/lexical/ifcfooting.htm
- Buildingsmart. 2018. Home — Welcome to buildingSMART-Tech.org.

Standarder

- Byggtjänst, S. 2016. CoClass – Nya generationen BSAB Klassifikation och tillämpning. En gemensam informationsstruktur genom hela livscykeln för all byggd miljö.
- ISO. 2015. ISO 12006:2. ISO - International Organization for Standardization
- OGC. 2007. OpenGIS Geography Markup Language (GML) Encoding Standard. Open Geospatial Consortium.

OGC. 2012. OGC City Geography Markup Language (CityGML) En-coding Standard. Open
Geo Consortium.
OGC. 2015. OGC KML 2.3.

Institutionen av naturgeografi och ekosystemvetenskap, Lunds Universitet

Student-examensarbete (seminarieuppsatser) i geografisk informationsteknik.

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

Serie examensarbete i geografisk informationsteknik

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

16. Anna Larsson (2015) Samredovisning av BIM- och GIS-data
17. Anton Lundkvist (2015) Development of a WEB GI System for Disaster Management
18. Ellen Walleij (2015) mapping in Agricultural Development – Introducing GIS at a smallholders farmers’ cooperative in Malawi
19. Frida Christiansson (2016) Lagring av 3D - geodata - en fallstudie i Malmö Stad
20. Lisette Danebjer (2016) Methodology for creating and modifying distributed topologically structured geographical datasets
21. Jeanette Dunn Ekelund (2016) En jämförelse av algoritmer och resultat för flödesberäkning i QGIS/GRASS och ArcGIS
22. Ebba Gröndahl och Frida Thorman (2016) Verksamhetens optimala läge i staden och hur de är lokaliserade idag
23. Gunnar Rolander (2017) Datatransformation using linked data ontologies
24. Måns Andersson och Moa Eklöf (2017) Stilsättning av geografiska data
25. Josefine Axelsson (2018) Automatisering av bygglovsansökningsprocessen med stöd av BIM och GIS
26. Leonard B. O. Berge (2018) Uppdatering och visualisering av stadsmodell med stöd av konverterade BIM-modeller