

Examensarbete i geografisk informationsteknik nr 36

Scenariohantering med parametrisk design i planeringsprocessen

David Andersson & Beatrice Ekström

Civilingenjörsutbildningen i Lantmäteri
Lunds Tekniska Högskola

Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap
Lunds Universitet





LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Scenariorhantering med parametrisk design i planeringsprocessen

EXTM05 Master uppsats, 30 hp
Civilingenjörsutbildningen i Lantmäteri

David Andersson & Beatrice Ekström

Handledare:
Lars Harrie
Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap

Maj 23, 2023

Opponent: Sophia Bladh & Ylva Kjellberg
Examinator: Per-Ola Olsson

Copyright © David Andersson & Beatrice Ekström, 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 36 Tryckt av
E-tryck, E-huset, 2023

Abstract

In line with an increasing population and the ongoing digitization process, there is a need for an effective planning process. In Sweden, there are both national and international goals that concern this. Zoning plans are an important tool for regulating the planning process. In the case of new constructions and densification of cities, it is required that analyzes are carried out to ensure that requirements for noise, daylight and sunlight are met. Currently, analyzes take place at various stages of the planning process. This has consequences when different interests collide and certain requirements may not be met. Therefore, there is a need for effective scenario management where all requirements are taken into account simultaneously in the process.

In a recent project including Gothenburg City, Malmö City, Stockholm City and Lund University, 3CIM was developed with the aim of creating a common information model for city models. 3CIM's information model is based on CityGML 2.0 in combination with an application domain extension (ADE). The ADE file extends the CityGML 2.0 data structure with 3CIM specific attributes, such as version management and links to different external references. Version management is an important concept in scenario management as it enables the tracking of sequence of events for buildings and objects. Test data from the 3CIM project was used in this work.

In the case study, the area of Lorensborg in Malmö was investigated, where a densification process is undergoing. The study uses scenario management with parametric design to create a work process where new scenarios are created and fed back into a city model stored in a geodatabase. A total of three scenarios are created in CityEngine, of which one scenario follows a zoned area within Lorensborg and two scenarios are based on different forms of building typologies. The different scenarios are assigned a status attribute to facilitate version management in the city model. The scenarios in the database are also selected and analyzed from a solar radiation perspective in QGIS-UMEP. This process required a digital surface model (DSM) and thus required some conversions with FME. The analysis showed that buildings facing south and with a slightly sloping roof are most suitable for placement of solar panels.

The results from the case study show that the process of scenario management and parametric design is currently feasible, but it requires a lot of extra steps with conversions between different formats. An example of this is that FME scripts are required to, for example, convert ESRI Geodatabase format to CityGML 2.0. In the future, it is desirable to have integrated analysis tools directly in the database as well as extended support for more formats to reduce the number of conversions in the scenario management process.

Sammanfattning

I takt med en ökande befolkningsmängd och den pågående digitaliseringsprocessen, finns det ett behov av en effektiv planeringsprocess. I Sverige finns det både nationella och internationella mål som berör detta. Detaljplaner är ett viktigt verktyg för att reglera planeringsprocessen. Vid nybyggnationer och förtätningar av städer krävs det att analyser utförs för att säkerställa att krav på buller, dags- och solljus uppfylls. I dagsläget sker analyser i olika skeden av planeringsprocessen. Detta medför konsekvenser när olika intressen krockar och vissa krav kanske inte uppfylls. Det finns ett behov av effektiv scenariohantering där alla krav tas hänsyn till samtidigt i processen.

I ett nyligen genomfört projekt mellan Göteborgs Stad, Malmö Stad, Stockholm Stad och Lunds Universitet utvecklades 3CIM med syftet att skapa en gemensam informationsmodell för stadsmodeller. 3CIM:s informationsmodell är baserad på CityGML 2.0 i kombination med en application domain extension (ADE). ADE-filen förlänger CityGML 2.0 datastrukturen med 3CIM specifika attribut, såsom versionshantering och länkar till olika verksamhetssystem. Versionshantering är ett viktigt koncept inom scenariohantering då det möjliggör händelseförlopp för byggnader och objekt. Testdata från 3CIM-projektet användes i detta arbete.

I fallstudien undersöktes området Lorensborg i Malmö där en förtättningsprocess pågår. Studien använder scenariohantering med parametrisk design för att skapa en arbetsprocess där nya scenarier skapas och kan återföras till en stadsmodell som lagras i en geodatabas. Totalt skapas tre scenarier i CityEngine, varav ett scenario följer ett detaljplanelagt område inom Lorensborg och två scenarier baseras på olika former av byggnadstypologier. De olika scenarierna tilldelas ett statusattribut för att underlätta versionshantering i stadsmodellen.

Scenarierna i databasen plockas även ut och analyseras ur ett solinstrålningsperspektiv i QGIS-UMEP. Denna process krävde en digital ytmodell (DSM) och således krävdes en del konverteringar med FME. Analysen visade att byggnader i söderläge och svag lutning i denna riktning för taket är bäst lämpad för placering av solceller.

Resultatet från fallstudien visar att processen med scenariohantering och parametrisk design är genomförbar i dagsläget men det kräver en hel del extra steg med konverteringar mellan olika format. Ett exempel på detta är att FME-skript krävs för att exempelvis konvertera ESRI Geodatabase-format till CityGML 2.0-format. I framtiden är det önskvärt med integrerade analysverktyg direkt i databasen samt utökat stöd för fler format för att minska antal konverteringar i scenariohanteringsprocessen.

Förord

Denna studie är ett examensarbete inom Geografisk Informationsteknik för Civilingenjörsprogrammet inom Lantmäteri vid Lunds universitet. Arbetet är skrivet under våren 2023 och publiceras för institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap. Arbetet utfördes i samarbete med Sweco som tillhandahöll datorer och de programvaror som behövdes.

Tack till Lars Harrie för din kontinuerliga stöttning och feedback under hela arbetet.

Tack till Ulf Månsson för din stora expertis, goda problemlösningsförmåga och positiva attityd. Uppskattar alla tips och tricks du lärde oss i FME.

Tack till alla på Sweco för hjälpsamheten.

Tack till Malmö stad för testdata.

Tack till Bea för gott samarbete.

Tack till David för gott samarbete.

Tack till mamma Kirsten för fint stöd och positiva uppmaningar.

Innehållsförteckning

1 Introduktion.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Problemformulering.....	3
1.3 Syfte.....	4
1.4 Metod.....	5
1.5 Avgränsningar.....	5
1.6 Disposition.....	6
2 Samhällsbyggnadsprocess.....	6
2.1 Digitalisering i samhällsbyggnadsprocessen.....	6
2.2 Planeringsprocessen.....	7
2.2.1 Definition av byggnadstermer angående area i en detaljplan.....	9
2.3 Behovet av scenariohantering i planeringsprocessen.....	10
2.3.1 Scenariohantering och detaljplan.....	10
2.3.2 Buller, dagsljus, energi och solinstrålning.....	10
2.3.3 Konsekvenser av analyser i olika skeden.....	12
3 Parametrisk design.....	12
3.1 Parametrisk design.....	12
3.2 Verktyg för parametrisk design.....	14
3.2.1 CityEngine.....	14
3.2.2 Rhinoceros 3D.....	16
3.2.3 Spacemaker (Autodesk Forma).....	16
3.3 Fallstudier med parametrisk design i stadsplanering.....	17
3.3.1 Fallstudie av parametrisk design: Beni-Suef.....	17
3.3.3 Fallstudie om generativ design.....	19
3.3.4 Fallstudie från Wien med Grasshopper / Rhinoceros 3D.....	20
4. 3D-stadsmodeller.....	21
4.1 Introduktion till 3D stadsmodeller.....	21
4.2 CityGML.....	22
4.3 3CIM.....	23
4.4 Databaser för lagring av stadsmodeller.....	25
5 Representera tid och versioner i stadsmodeller.....	26
5.1 Representera tidsdimensionen.....	26
5.2 Olika stadier av händelsebaserad versionshantering.....	26
5.2 Product Lifecycle Management- system.....	28
5.3 Versionshantering i stadsmodeller.....	28
5.4 Versionshantering i stadsmodeller som grund för scenariohantering.....	29
6. Val av verktyg för scenariohantering.....	30
6.1 Val av verktyg för parametrisk design.....	30

6.2 Val av verktyg för lagring av stadsmodelldata.....	31
6.3 Val av verktyg för konvertering av data.....	31
6.4 Val av verktyg för solinstrålning.....	31
7 Fallstudie.....	32
7.1 Testområde.....	32
7.2 Befintliga data.....	33
7.3 Arbetsflöde.....	35
7.3.1 Inläsning av data till 3DCityDB.....	36
7.3.2 Formatkonvertering i FME för inläsning till CityEngine.....	37
7.3.3 Skapande av scenarier med olika typer av byggnadstypologi i CityEngine.....	38
7.3.3.1 Hantering av scenarier i CityEngine.....	39
7.3.3.2 Scenario 1 - detaljplan.....	40
7.3.3.3 Scenario 2.....	42
7.3.3.4 Scenario 3.....	43
7.3.4 Formatkonvertering i FME för inläsning av scenarier till 3DCityDB.....	44
7.3.5 Formatkonvertering i FME för solinstrålningsanalys av scenarier i UMEP.....	45
7.3.6 Analys av solinstrålning i UMEP.....	45
7.3.6.1 Process för solinstrålningsanalys i UMEP.....	45
7.3.6.2 Analys av scenario 1.....	46
7.3.6.3 Analys av scenario 2.....	47
7.3.6.4 Analys av scenario 3.....	49
7.3.6.5 Jämförelse av scenarier.....	50
8 Diskussion.....	51
8.1 Processen att ta fram, lagra och analysera scenarier.....	51
8.2 Struktur för lagring av geometri för byggnader.....	52
8.3 Versionshantering.....	53
8.4 Potentialen med scenariohantering.....	54
8.5 Parametrisk design.....	55
8.6 Scenariohantering som en del av en digital planeringsprocess.....	56
9 Slutsatser.....	57
Referenser.....	59
Bilaga 1.....	66
Bilaga 2.....	66
Bilaga 3.....	66
Bilaga 4.....	67
Bilaga 5.....	69
Bilaga 6.....	70

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

I takt med en ökande befolkningsmängd kommer det att behövas fler bostäder. Nybyggnationer och förtätningar av befintligt bostadsbestånd ökar antalet bostäder men det finns flera utmaningar med en förtätad stad. Hur ska de offentliga ytorna utformas och användas? Hur ska bra inomhus- och utemiljöer skapas med hänsyn till sol- och dagsljusbehov? Hur skapas en god boendemiljö på platser med till exempel hög bullernivå? Dessa är bara några få av utmaningarna som kan tänkas uppstå i planeringsprocessen (Boverket, 2022a). Sverige har dessutom flera miljömål där ett av miljömålen är en god bebyggd miljö. Målet innebär att den bebyggda miljön ska fylla människors och samhällets behov, erbjuda bra livsmiljöer och bidra till en hållbar utveckling (Naturvårdsverket, n.d.). Dessa utmaningar och mål ger ett ökat behov av en effektiv planeringsprocess. En effektiv planeringsprocess innefattar scenariohantering, vilket är en metod för att framställa olika byggnadsförslag och utföra analyser och lagring av dessa.

Inom planeringsprocessen likväl andra sektorer i Sverige sker en digitalisering. I många fall kan digitalisering av en bransch innebära ett paradigmskifte där branschen ändras i grunden, t.ex digitaliseringen av betalningsmarknaden där användningen av kontanter har minskat drastiskt (Riksbanken 2020). Projektering och stadsplanering är två områden som påverkas av digitaliseringsutvecklingen. Nya tekniker och program så som parametrisk design och verktyg för 2D- och 3D-visualiseringar, har möjliggjort en effektivisering som kan komma att ändra även dessa branscher i grunden. Med förändringar tillkommer även nya utmaningar. Till exempel innebar digitaliseringen av handelsbranschen en explosionsartad ökning av internetbedrägerier. Nya möjligheter, men även utmaningar, såsom nya arbetssätt och krav på standardisering, väntar projektering- och stadsplaneringsbranschen.

Som ett led i digitalisering av projektering och stadsplanering skapas 3D-stadsmodeller. En stadsmodell är ett verktyg inom bland annat projektering- och stadsplaneringsbranschen för att visa och analysera en stad på ett verklighetstroget och tydligt sätt. Det möjliggör visualisering av pågående plan- och byggprojekt i 3D. Med hjälp av en stadsmodell kan kommunen kommunicera med medborgarna i den stad som stadsmodellen omfattar. Medborgarna kan även använda stadsmodellen för att utläsa information, till exempel kommunens samhällsplanering. Kvaliteten på en stadsmodell kan variera. Oftast består stadsmodellen av flygfoton, markdata och inmätta byggnadskonstruktioner. För att hantera, lagra och representera en 3D-stadsmodell krävs en geodatabas. Datan i databasen kan sedan exporteras till andra applikationer för att möjliggöra visualiseringar och analyser av datan.

Samhällsbyggnadsprocessen och tillhörande stadsmodeller fortsätter att strömlinjeformas. Detta sker genom digitalisering och smartare informationshantering. 3D-stadsmodeller saknar dock oftast en stor mängd information på grund av att en koppling mellan de olika verksamhetssystemen inom kommunerna saknas. Genom att koppla ihop dessa data kan en smart 3D-stadsmodell skapas där det är möjligt att göra både visualiseringar och analyser. 3CIM är ett projekt där en informationsmodell togs fram för att planera och förvalta städer och möjliggöra visualiseringar och avancerade analyser. I informationsmodellen kopplas data ihop till en gemensam struktur. Målsättningen är att denna gemensamma datastruktur ska utgöra grunden för en digital tvilling av en stad (Uggla et al., 2023).

Skapandet av nybyggnation och framtagandet av en stadsmodell är en komplicerad process med många olika steg. Vanligtvis ligger det ett politiskt beslut i grunden, som påverkar framtagandet av översiktsplaner och detaljplaner. Planeringsprocessen är således viktig då den måste ta hänsyn till en mängd olika faktorer, såsom dagsljus, energi och buller. Ett centralt verktyg för att åstadkomma sådan planering och uppfylla dessa steg är scenariohantering som kan utföras i själva stadsmodellen.

Planeringsprocessen är även uppdelad i olika delar. Oftast börjar det med en förstudie där byggherren undersöker vad som ska byggas och eventuellt planbesked tas fram (Boverket, 2021b). Därefter inleds programfasen där mål och kalkyler kring krav tas fram. Det tredje steget är projekteringsfasen och vanligtvis är det i detta steg som entreprenören ansöker om bygglov. Sist påbörjas produktions- och uppföljningsfasen efter startbeskedet har godkänts.

Scenariohantering innebär hantering och analys av nya och befintliga scenarier. Till exempel kan ett scenario utgöra en förtätning av bostäder i ett område. Scenariohantering möjliggör datadrivna beräkningar angående faktorer såsom dagsljus, energi och buller och tanken är att det ska leda till en optimal utformning av byggnadsprojektet. Scenarier och dess hantering är alltså ett kraftfullt verktyg inom planeringsprocessen, men är tidskrävande ju fler parametrar som måste tas hänsyn till i scenariot.

En lösning för att ta fram nya scenarier i planeringsprocessen är att använda sig av parametrisk design. Parametrisk design är ett designkoncept där stor mängd data kan förenklas och visualiseras baserat på utvalda parametrar. Ett konkret exempel på detta hade varit ett byggnadsprojekt där det finns ramar som projektet måste förhålla sig till. Exempelvis, det existerar krav för antal lägenheter, byggnadshöjd, exploateringsgrad och att läget för balkonger

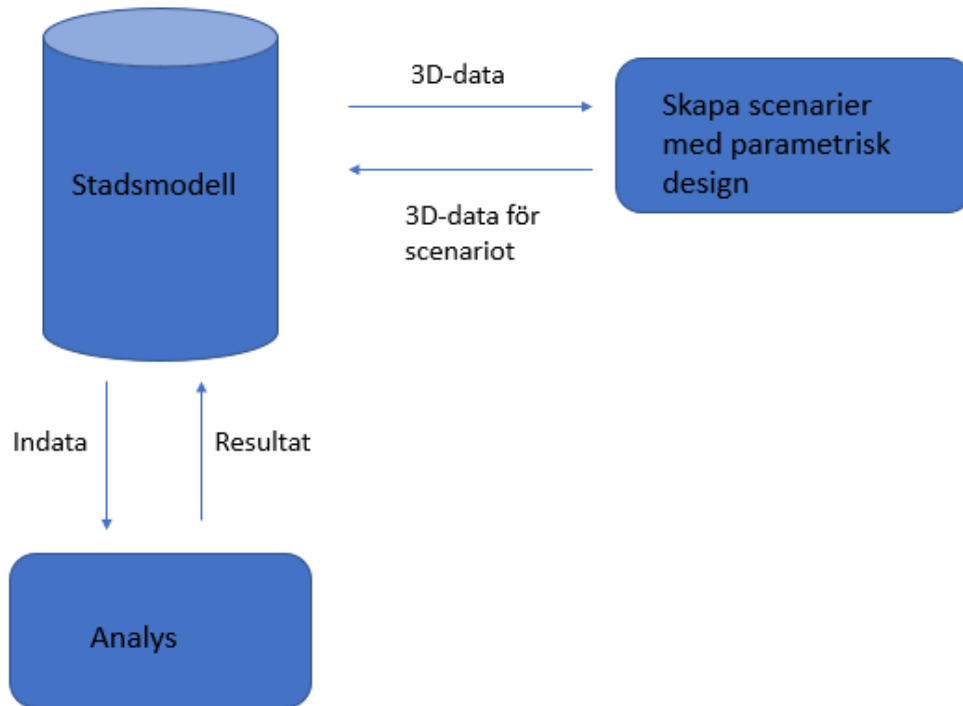
helst ska vara i söder. Med hjälp av parametrisk design kan datorn generera flera scenarier och utföra beräkningar för projektet med ovannämnda krav uppfyllda.

1.2 Problemformulering

Nya arbetssätt och standardiseringar inom stadsplanering medför nya utmaningar och möjligheter som måste hanteras. Parametrisk design är en ny metod inom stadsplanering och avser att effektivisera och förenkla skapandet av 3D-scenarier genom modifiering av utvalda variabler. Därtill tillkommer 3CIM som är en ny specifikation för stadsmodeller. 3CIMs syfte är att utgöra en nationell standard för Sverige som avser gemensam struktur för geodata och digital tvilling.

Problemet i dagsläget är att kunskapen angående vad som krävs för att skapa scenarier m.h.a parametrisk design är låg. Parametrisk design kräver tekniska färdigheter inom en mängd olika program. Detta är på grund av de många olika dataformat som existerar och de olika programmens svårigheter att hantera dessa. 3CIM följer i samma spår och hur dess informationsmodell ska användas i processen är en utmaning.

De förslag och scenarier som skapas bör kunna lagras effektivt i geodatabasen där stadsmodellen är sparad för att möjliggöra visualiseringar och simuleringar, med hänsyn till redan befintlig omgivning och bebyggelse. En sådan lagring möjliggör enkel analys, uppdatering och återföring av skapade scenarier till stadsmodellen. Detta skapar en arbetsprocess som liknar ett kretslopp, se figur 1.1.



Figur 1.1. Preliminärt flödesschema av arbetsprocessen för scenariohantering samt analys av scenario.

För att skapa ett scenario i en stadsmodell, enligt arbetssättet i flödesschemat i figur 1.1, importerar stadsmodellen från databasen till vald miljö. När arbetet med skapandet av scenarier är utfört, laddas det sedan upp till databasen. Detta sätt att arbeta med scenariohantering skapar ett kretslopp likt figur 1.1. För att detta ska fungera krävs det att data transformeras och bearbetas till rätt format, så att den är anpassad för de olika miljöerna. Utmaningen i dagsläget är att förflyttning mellan de olika stegen i figuren ovan inte går att genomföra med endast ett format. Data måste konverteras mellan olika format för att arbetsflödet ska fungera.

En ytterligare utmaning är att 3D-stadsmodeller blir allt mer komplicerade när de utvecklas och används som baskartor. Detta kräver kopplingar till olika verksamhetssystem och att modellen ständigt uppdateras. Problemet är att de flesta modeller återskapas istället för att uppdateras kontinuerligt (Eriksson & Harrie, 2021).

1.3 Syfte

Syftet med examensarbetet är att designa, implementera och utvärdera en teknisk lösning för scenariohantering i samhällsplanering med hjälp av parametrisk design. Följande frågeställningar ska besvaras:

- Kan den föreslagna processen (figur 1.1) användas för att stödja scenariohantering i samhällsplanering med parametrisk design?
- Vilka tekniska krav ställs för parametrisk design och scenariohantering i stadsplanering?
- Finns det verktyg som uppfyller dessa krav?
- Hur sker datautbyte mellan en stadsmodell (lagrad i en geodatabas) och valt verktyg för parametrisk design?
- Vad krävs för att lagra scenarier i en stadsmodell?
- Hur kan scenarierna i stadsmodellen utnyttjas för en analys av solinstrålning?

Slutligen syftar studien även till att designa, implementera och utvärdera en prototyp för skapande av scenarier samt lagring av dessa i en stadsmodell.

1.4 Metod

Inledningsvis genomförs en litteraturstudie för att identifiera behovsbilden för scenariohantering. Planeringsprocessen beskrivs och de krav som ställs under processen undersöks. Sedan identifieras verktyg som kan användas för parametrisk design och fallstudier undersöks där dessa verktyg förekommer. Detta används för att finna ett verktyg som uppfyller specificerade krav för att kunna användas som en del av scenariohantering. Därefter påbörjas en genomgång av standarder och versionshantering för att möjliggöra scenariohantering.

För att visa hur en stadsmodell importeras och exporteras mellan valda miljöer och hur scenarier i stadsmodellen skapas, utförs en fallstudie för scenariohantering över området Lorensborg i Malmö. Testdatan är från 3CIM-projektet. Scenariots syfte är att skapa en förtätning över området. De skapade scenarierna analyseras sedan ur ett solinstrålningsperspektiv.

Slutligen avslutas arbetet med en diskussion och slutsats där processen för scenariohantering utvärderas. I diskussionen diskuteras potentialen med scenariohantering och var i planeringsprocessen det kommer in. I slutsatsen besvaras arbetets frågeställningar.

1.5 Avgränsningar

Vid skapande av scenarier måste en 3D-stadsmodell importeras från en geodatabas och sedan, när scenariot är skapat exporteras tillbaka till databasen igen. Arbetet kommer att fokusera på skapande av scenarier och på hur dessa scenarion exporteras genom att använda redan beprövad metod.

Arbetet avser att finna ett verktyg som funkar för hela processen. Det avser inte att undersöka vilket verktyg som är det bästa för processen.

I praktiska studien skapas en eller ett par scenarier. Studiens syfte är inte att ta fram de arkitektoniskt bästa modellerna, utan att skapa scenarier i syfte att studera själva processen.

Det finns många analyser av intresse i ett scenarioperspektiv och som kan utföras på en stadsmodell. I detta arbete läggs fokus enbart på analys av solinstrålning. Vidare studeras inte hur resultatet av solinstrålningssimuleringarna kan lagras i stadsmodellen.

1.6 Disposition

Arbetet börjar med en inledning och introduktion som förklarar översiktligt problematik, syfte och etablerar en rad frågeställningar som examensarbetet ämnar att besvara. Därefter inleds en teoretisk del i kapitel två som beskriver samhällsbyggnadsprocessen och var scenariohantering kommer in i detta ämne. Ytterligare en del av teorin är parametrisk design och vilka verktyg som kan användas för att åstadkomma sådan design och avslutas med exempel på fallstudier inom detta område. I kapitel fyra inleds ett teoriavsnitt angående 3D-stadsmodeller och följs av ett kapitel om versionshantering.

Inledningen av den praktiska delen börjar med val av verktyg för scenariohanteringsprocessen baserat på teoridelen. Därefter följer en fallstudie där tre scenarier skapas i en stadsmodell. De skapade scenarierna analyseras sedan ur ett solinstrålningsperspektiv. Fallstudien följs upp av en diskussionsdel. Diskussionen berör resultatet från både fallstudien samt den presenterade teorin. Till sist avslutas arbetet med slutsatser som besvarar frågeställningarna.

2 Samhällsbyggnadsprocess

2.1 Digitalisering i samhällsbyggnadsprocessen

Samhällsbyggnadsprocessen är både en nationell och en global angelägenhet. Ett exempel på detta är de globala målen som är uppsatta av FN. Där lyder det elfte målet att det krävs en inkluderande och innovativ stadsplanering för att främja säkra och hållbara städer. Detta motiveras med att en ökande del av jordens befolkning i framtiden kommer att bosätta sig i städer (UNDP, 2022). Ett nationellt exempel på hur essentiell samhällsbyggnadsprocessen är för att klara framtidens utmaningar, är målet angående god bebyggd miljö. Detta mål är uppsatt av Naturvårdsverket och är i linje med FN:s mål. Målet berör den förtätade staden och dess

utmaningar kring luftföroreningar, buller och riskfrågor. För att hantera dessa behöver behovet för en digital infrastruktur att uppfyllas. Således är samhällsbyggnadsprocessen en viktig komponent för att lösa potentiella framtida konflikter och problem (Naturvårdsverket, n.d.).

Digitalisering av byggnadsprocessen är ett viktigt steg för att uppnå de uppsatta målen från FN och Naturvårdsverket. Som en del av detta har Sveriges regering givit ett regeringsuppdrag till Lantmäteriet att etablera en nationell digital infrastruktur och tillgängliggörande av standardiserade dataset. Tanken är att digitaliseringen av samhällsbyggnadsprocessen ska öppna upp, förenkla och effektivisera planerings- och byggnadsprocessen (Lantmäteriet, n.d.d).

EU-kommissionen har beslutat att data som är värdefull för samhället ska vara fria och tillgängliga. I praktiken innebär detta att geografisk information som exempelvis ortofoton, fastighetsgränser och kartor kommer tillgängliggöras. I dagsläget är det Lantmäteriet som besitter denna data som idag kan beställas mot en avgift. Detta kommer alltså att ändras inom den närmaste tiden för att följa EU-direktivet. Ett exempel på ny lagstiftning angående denna ändring är lagen om den offentliga sektorns tillgängliggörande av data (SFS 2022:818). Fördelarna med öppen data är många. Bland annat bidrar det till en mer kostnadseffektiv samhällsprocess där nyttan av öppen data beräknas uppgå till 10-21 miljarder kronor årligen (Lantmäteriet, n.d.c). Ett konkret exempel på nytta med öppen data är att bygglovsprocessen hade kraftigt förenklats med fri och öppen data. Den som söker bygglov själv kan då enklare få tag i nödvändig data för att fullfölja sin bygglovsansökan (Lantmäteriet, n.d.b).

Inom EU finns ett ytterligare direktiv, INSPIRE (Infrastructure for spatial information in Europe), som berör geodata. Målet med direktivet är att skapa en gemensam geodatastruktur för alla medlemsländer. INSPIRE möjliggör delning av geodata i den offentliga sektorn, tillhandahåller spatial information för allmänheten i Europa och hjälper till vid gränsöverskridande beslutsfattande vid arbete med miljö och klimat (Europa Commission, n.d.).

2.2 Planeringsprocessen

Samhällsbyggnadsprocessen i Sverige regleras av Plan- och bygglagen (PBL, SFS 2010:900). Processen består av ett antal steg, så som regionplan, översiktsplan, områdesbestämmelser och detaljplan. Endast områdesbestämmelser och detaljplaner är juridiskt bindande. Regionplan och översiktsplan har en vägledande funktion för övergripande planering. Dessa kan även vara underlag för lovgivning och andra beslut (Boverket, 2021c).

Planeringsnivån i Sverige delas huvudsakligen in på tre plan: nationell planering, regional planering och kommunal planering. På nationell nivå är det staten som pekar ut riksintressen och sätter ramar för den fysiska planeringen (planering av hur mark- och vattenområden ska användas) för regioner och kommuner. För den regionala planeringen finns det krav på att fysisk planering måste bedrivas i Stockholms och Skåne län. I framtiden är det tänkt att införa planeringskrav för ytterligare regioner när behov och förutsättningar möts. En regionplan anger riktlinjer för användning av mark- och vattenområden och bestämmer var betydelsefull bebyggelse ska lokaliseras. På den lägsta nivån bedrivs kommunal planering. Kommunerna besitter befogenheten att anta områdesbestämmelser och detaljplaner och bestämma huruvida en planläggning kommer att utföras. Kommunen ansvarar för all mark och vatten inom dess geografiska gräns (Boverket, 2021c). I planprocessen så representeras staten av länsstyrelserna. Dessa är befogade att agera som statens förlängda arm och kan ingripa i kommunal planering som exempelvis berör ett riksintresse.

Detaljplanen är den plan som är bindande angående rättigheter och skyldigheter. Den upprättas av kommunen och bestämmer hur bebyggelsen ska se ut inom ett visst område. Generellt sett skapas en detaljplan när något nytt ska byggas och sträcker sig ofta över ett eller flera kvarter. Detaljplanen anger markanvändningen såsom allmän plats, kvartersmark eller vattenområden, till exempelvis som i figur 2.1 (Boverket, 2021c).



Figur 2.1. Tre exempel på detaljplaner med olika sätt att reglera markanvändningen (Boverket, 2021a).

Detaljnivån för en detaljplan kan variera men får inte vara mer detaljerad än vad som krävs för att uppfylla planens syfte (Boverket, 2022b). Vanligt förekommande regleringar i en detaljplan är

exempelvis exploateringsgrad, var en byggnad får placeras, höjdregeringar och eventuella ledningsrätter över annans mark. Bygglovsprövningar ställs mot det som står i detaljplanen. Det som brukar benämnas som byggrätt är att enskilda aktörer får en rätt att genomföra detaljplanen. Detaljplanen får inte ändras under en period som benämns genomförandetid (Boverket, 2021c).

Från och med den 1 januari 2022 har regeringen beslutat att alla nya detaljplaner ska finnas och tillgängliggöras digitalt och vara maskinläsbara. Det är även obligatoriskt att detaljplanerna ska följa de krav som ställs av det tidigare nämnda INSPIRE-direktivet (Boverket, 2023).

Lantmäteriet har det övergripande ansvaret för denna digitaliseringsprocess och har tagit fram en nationell specifikation för detaljplan. Tanken är att all detaljplaneinformation ska publiceras på den nationella geodataplattformen (NGP), som även den är utvecklad av Lantmäteriet (Lantmäteriet, n.d.a).

Just nu pågår kommunernas arbete med digitalisering av sina planeringsprocesser. Målet är att få en effektivare handläggning, men för närvarande pågår detta arbete på olika sätt parallellt i Sverige. Somliga kommuner fokuserar på att tillhandahålla planeringsunderlag digitalt och systematiserat för att kunna ta bättre beslut. Andra kommuner arbetar istället med digitalisering av översiktsplan för en förbättrad medborgardialog. Ett tredje arbetssätt för att underlätta analys och ökad effektivisering är skapande och användande av digitala verktyg för detaljplaner (Boverket, n.d.).

2.2.1 Definition av byggnadstermer angående area i en detaljplan

Det finns en rad olika sätt att definiera area och volym för en byggnad i en detaljplan, och de olika definitionerna används i olika sammanhang. En vanligt förekommande definition är Byggnadsarea (BYA) som vanligen används vid reglering av tätheten i ett område (Boverket, 2021d). BYA definieras som ytan som byggnaden upptar på marken och innefattar även de delar som påverkar användning av underliggande mark.

Ett annat förekommande begrepp vid framtagning av ny bebyggelse är bruttoarea (BTA). Enkelt beskrivet är BTA den sammanlagda arean för varje våningsplan och innefattar bland annat omslutande väggar. Begreppet används vanligtvis för byggnader med stora volymer, exempelvis flerbostadshus och industrilokaler. En mer exakt definition av hur de olika begreppen definieras och beräknas går att utläsa i Svensk Standard SS 21054:2020.

2.3 Behovet av scenariorhantering i planeringsprocessen

2.3.1 Scenariorhantering och detaljplan

Scenariorhantering är ett verktyg som används inom samhällsbyggnadsprocessen och möjliggör digitalisering av en rad funktioner. En av dessa är att byggnadsförslag kan digitalt designas och tas fram, i syfte att skapa ett scenario. Ett scenario är oftast ett byggnadsförslag. Detta scenario kan sedan utvärderas ur en mängd olika perspektiv såsom dagsljus, buller och energi.

Utvärderingar och byggnadsförslag förekommer i planeringsprocessen och detta kräver scenariorhantering vid upprepade tillfällen.

När en stad växer fram krävs planering för att sammanväga allmänna intressen med de krav som ställs från PBL, PBF (Plan- och byggförordning, SFS 2011:338) och BBR (Boverkets byggregler¹) för att uppnå en god levnadsmiljö. På dessa grunder tas en detaljplan fram och dess utformning påverkar hur framtida byggnader utformas för att uppfylla ställda krav. I större kommuner tenderar detaljplaner till att vara mer reglerade för att säkerställa de byggnadskrav som kommunen efterfrågar. Konsekvensen av detta är att det blir väldigt lite utrymme för avvikelser när det kommer till exempelvis justering av byggnadsvolymer. Ett annat tillvägagångssätt är att ta fram mindre reglerade detaljplaner. Detta innebär att slutresultatet är mindre förutsägbart, men skapar en flexibilitet som utgör en fördel då det möjliggör en avvägning mellan olika aspekter och krav, som i sin tur gör att både samtiden och framtidens krav blir enklare att uppfylla. I båda dessa fall med reglerade och mindre reglerade detaljplaner kan scenariorhantering användas för visualisering och analys (Cederström et al., 2020). För reglerade detaljplaner är det viktigt att scenariorhantering utförs före det att detaljplanen fastställs, eftersom förändringar i byggnadsstrukturer är begränsade när dessa detaljerade detaljplaner är klara.

2.3.2 Buller, dagsljus, energi och solinstrålning

En viktig utvärdering som måste genomföras är bulleranalys. Både PBL och miljöbalken har krav på att buller måste beaktas. I planeringsprocessen innebär detta att bulleranalys måste genomföras, vid planläggning och bygglovsärenden. Analysen ska visa på att byggnaderna uppfyller kraven som ställs enligt regelverken. Vid framtagandet av en detaljplan måste planbeskrivningen innehålla en redovisning av buller vid en byggnadsfasad. Likväl kan inte en kommun ge startbesked för väsentlig ändring av markanvändning utan att buller har tagits i beaktning. Således förekommer bullerfrågan i flera delar av planeringsprocessen, till exempel

¹ <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/>

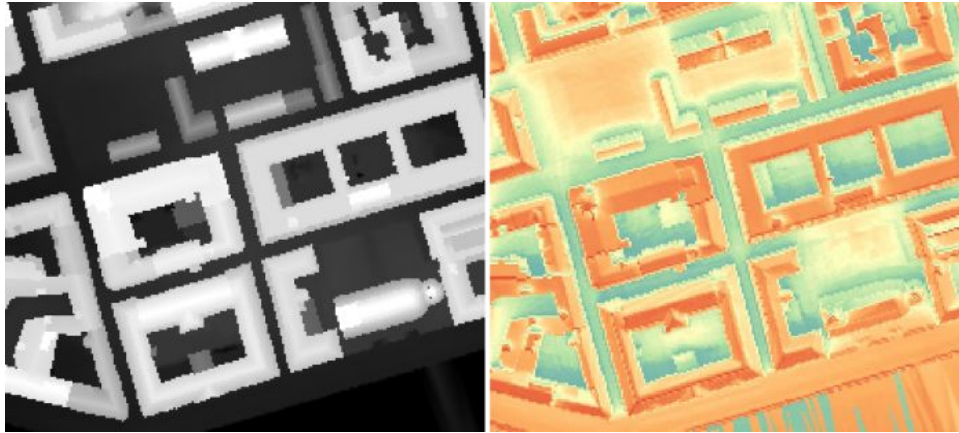
vid ett tidigt skede i planprocessen och i ett senare skede vid bygglovsansökan (Cederström et al., 2020).

I BBR ställs det krav på dagsljus för byggnader. Det är en precisering av ett tekniskt egenskapskrav med hänsyn till människans hygien, hälsa och miljö. Kravet tas upp senare i planeringsprocessen i samband med startbesked då kommunen kontrollerar om byggherrens förslag uppfyller dessa tekniska egenskapskrav. Varför det kommer in senare beror på att dagsljus definieras som ett tekniskt egenskapskrav och kontrolleras därför först vid startbeskedet. Energihushållning definieras även det som ett tekniskt egenskapskrav och kontrolleras därför också först vid startbeskedet (Cederström et al., 2020).

Dagsljusanalys är viktig att utföra under planeringsprocessen då dagsljus är viktigt för människors välbefinnande och även produktivitet (Kanters et al., 2021). Därför finns det krav på att rum som människor vistas i mer än tillfälligt ska ha tillgång till direkt solljus. Undantaget är studentbostäder på under 35 kvadratmeter (Boverket, 2020b). Det finns även äldre bygglagar och byggnorm kring att bostäder, om möjligt, ska orienteras mot ett soligt väderstreck. Utöver detta har dagsljus både hälso- och energieffekter. Välplanerade bostäder med god reglering och tillgång till dagsljus resulterar i minskad energiförbrukning och ökat välbefinnande för individen som vistas i bostaden (Boverket, 2020a). De positiva effekterna gällande energieffektivitet gäller även för solinstrålning då denna typ av analys kan leda till korrekt och effektiv placering av solceller och på så vis öka produktionen av förnybar energi.

En ytterligare analys som är viktig ur ett energiperspektiv är analys av strålningstäthet (irradians). Denna typ av analys syftar på att uppskatta energi från solen som sedan kan utvinnas genom solceller och skiljer sig mot dagsljusanalys då solinstrålning inte tar hänsyn till individers ljusbehov.

Analys av solinstrålning uppskattar och mäter energin från solen genom att utföra beräkningar baserat på olika dataset. Den potentiella energin kan beräknas pixelvis och behöver digitala ytmodeller för att fungera (se vänstra del av figur 2.2). Både irradians för väggar, tak och växtlighet kan tas med i beräkningarna. Meteorologisk väderdata krävs även i denna typ av analys. Datan ska helst täcka ett år och innehålla värden för global och diffus irradians för det horisontella planet och direkt irradians för ett plan som alltid är normal till riktningen för solstrålarna. Sammanfattningsvis beräknas irradiansen som en summering av direkt, diffus och reflekterad radians (Lindberg et al., 2018).



Figur 2.2. T.v. en digital ytmodell. T.h. analys av solinstrålning (Lindberg et al., 2019). Publicerat under CC BY-NC-ND 4.0.

2.3.3 Konsekvenser av analyser i olika skeden

I dagsläget är utvärderingar och således scenariorhantering utförd i separata skeden i planeringsprocessen. Detta medför konsekvenser då byggnadskomplex måste utformas på ett specifikt sätt för att minska bullerpåverkan. Detta kan medföra problem i senare skede då dagsljusinsläppet har försämrats på grund av denna utformning. Då kompenseras detta med större fönster vilket i sin tur leder till sämre energihushållning. Ett helhetsperspektiv där alla utvärderingar tas med i beräkningarna är således önskvärt (Cederström et al., 2020).

I en studie av Kanters et al. (2021) diskuteras planering av byggnader ur ett solljusperspektiv. En stadsplanerare vittnar om svårigheten att framgångsrikt väga alla intressen och hitta en balans mellan att bygga bra och uppfylla ställda krav, tidigt i processen. Oftast prioriteras det att bygga tätare eller att maximalt exploatera ett område vilket senare kan hamna i konflikt med byggnormer såsom tillgång till dagsljus. Dessa detaljerade detaljplaner gör det nästintill omöjligt att uppfylla de krav från BBR som ställs på nybyggnation. Detta leder ofta till juridiska konsekvenser och monetära kompensationer. För att förhindra detta bör det finnas ett helhetsperspektiv i planeringen och en digital modell med olika planeringsalternativ. Tanken är att detta ska minska de negativa konsekvenser som sena ändringar medför.

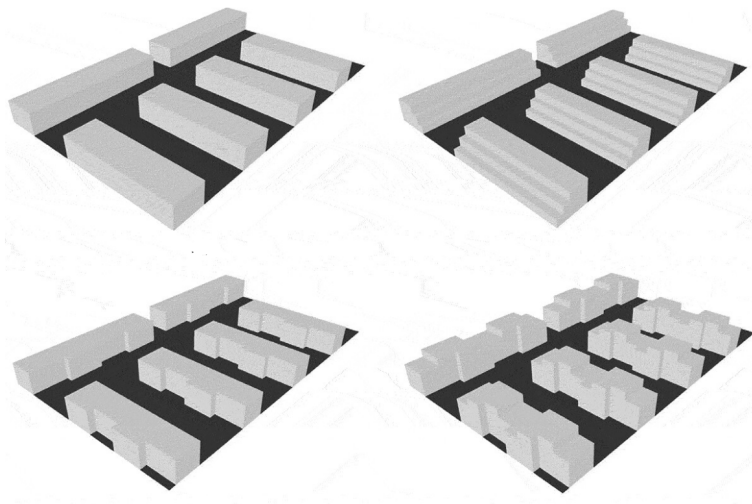
3 Parametrisk design

3.1 Parametrisk design

Parametrisk design är en designmetod som används inom en mängd olika tillämpningsområden, och är till exempel vanligt inom arkitektur vid design av enskilda byggnader. Detta

examensarbete syftar dock endast på hur parametrisk design kan användas för stadsbyggnadstillämpningar genom översiktlig design av kvarter i tidiga skeden i planprocessen och scenariorhantering. Ett begrepp som innefattar parametrisk design är generativ design. Generativ design kombinerar parametrisk design, simuleringsprogram och optimeringar (Varela et al., 2022).

Parametrisk design erbjuder en typ av flexibelt arbetssätt som tillåter användaren att uttrycka designelement av intresse som variabler. Exempel på detta i ett scenario med bostadshus skulle kunna vara byggnadshöjd, antal våningar, storlek för varje våning, fönsterbredd och fasadegenskaper etc. Användaren kan skapa och modifiera de initiala värdena för dessa variabler. Efter initieringen kan användaren utöver det ändra parametrar direkt i scenariot. Detta arbetssätt kan alltså, på ett resurseffektivt sätt, generera en mängd alternativ per byggnadsscenario (se figur 3.1). Verktyg som baseras på parametrisk design är kraftfulla då de tillåter ett designförslag att vara öppet för modifikation samtidigt som detaljnivån är hög och de essentiella kvalitéerna behålls (Steinø & Obeling, 2014).



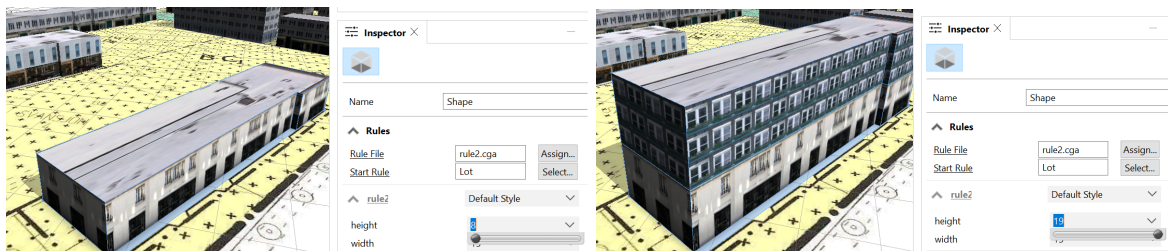
Figur 3.1. Exempel på olika byggnadscenarion med en given byggnadsarea (Steinø & Obeling, 2014). Publicerat under CC-licens.

För att modellera och visualisera en 3D-modell av en stad så krävs det en stor mängd datorkraft. Under tid har denna flaskhals vidgats då processor- och grafikraften hos datorer har ökat. Detta har i sin tur banat väg för nya program och applikationer som tar tillvara på den ökade kraften

hos datorer för att generera 3D-modeller. En teknik för att generera dessa modeller är parametrisk design (Parish & Müller, 2001).

Parametrisk design, synonymt med parametrisk modellering, är en modelleringsprocess som tillåter användaren att förändra modellgeometri genom modifiering av dimensioneringsvärden och parametrar. Användaren kan utvärdera dessa designförslag som genererats iterativt utifrån angivna regler och inparametrar. Följaktligen baseras parametrisk design på komplexa datorberäkningar och artificiell intelligens för att generera virtuell verklighet (Badwi et al., 2022).

En essentiell aspekt av parametrisk design är hur de genererade modellerna hämtas och beräknas. Beräkningarna baseras på matematiska sannolikheter och statistik. Detta möjliggör att en användare kan ändra värdet på en parameter, utan att hela modellen måste renderas igen (se figur 3.2). Den statistiska aspekten av parametrisk design beräknar således hur en förändring av en variabel, sannolikt påverkar de andra variablerna, och sammantaget skapas ett nytt designscenario med alla variabler i åtanke (Parish & Müller, 2001).

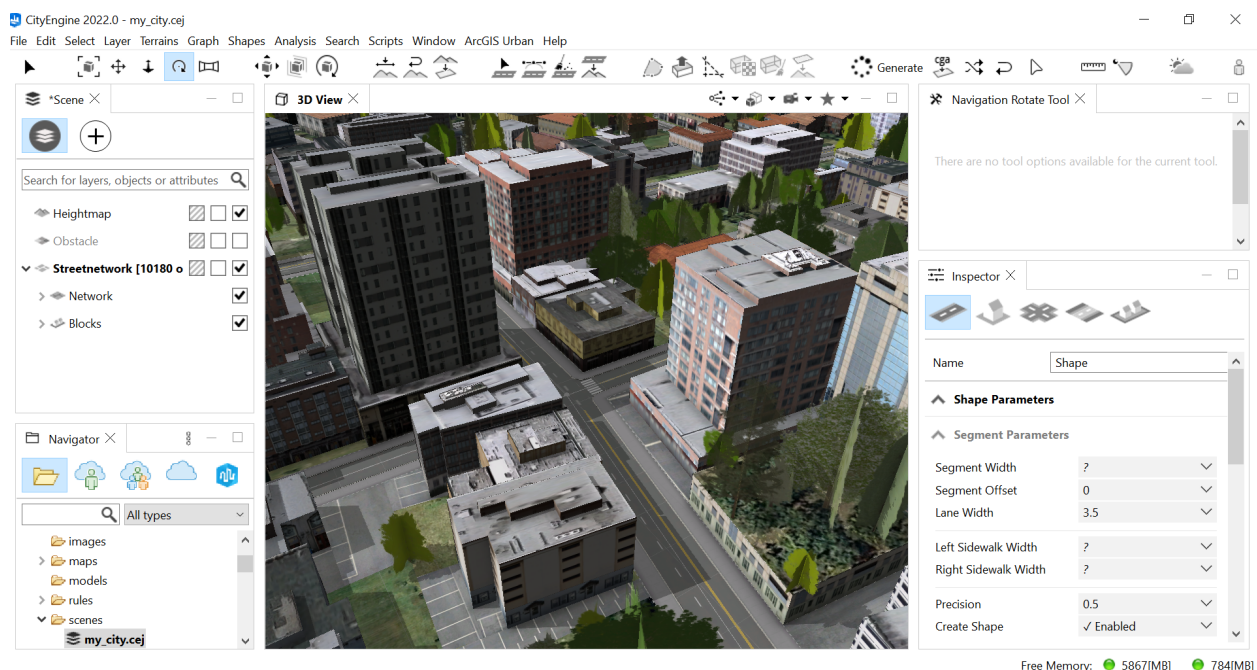


Figur 3.2. Exemplifiering på hur parametrisk design används för att ange höjden på en utvald byggnad.

3.2 Verktyg för parametrisk design

3.2.1 CityEngine

CityEngine är ett program som använder sig av parametrisk design/modellering. CityEngine började utvecklas av Procedural Inc. år 2007, ett företag med ursprung från universitetet ETH Zürich, Schweiz. Sedermera förvärvades det av ESRI, ett globalt företag inom sektorn geografiska informationssystem (GIS). Se figur 3.3 nedan för exempel på hur användargränssnittet ser ut i CityEngine.



Figur 3.3. Skärmdump från CityEngine. Till vänster i bilden syns de olika lagrena. Till höger i bilden syns parametrar för utvalt objekt. I mitten syns en visualisering av designscenariot.

Programmet CityEngine använder sig av procedural modellering, baserat på ett så kallat Lindenmayersystem (Parish & Müller, 2001). CityEngine har en integrerad programmeringsmiljö som benämns “Computer Generated Architecture” (CGA) och består av algoritmer och regler för att skapa urbana miljöer i ett 3D-sammanhang. CGA-reglerna kan till exempel reglera fasaden, antal våningar och andra parametrar som påverkar den externa formgivningen för en byggnad.

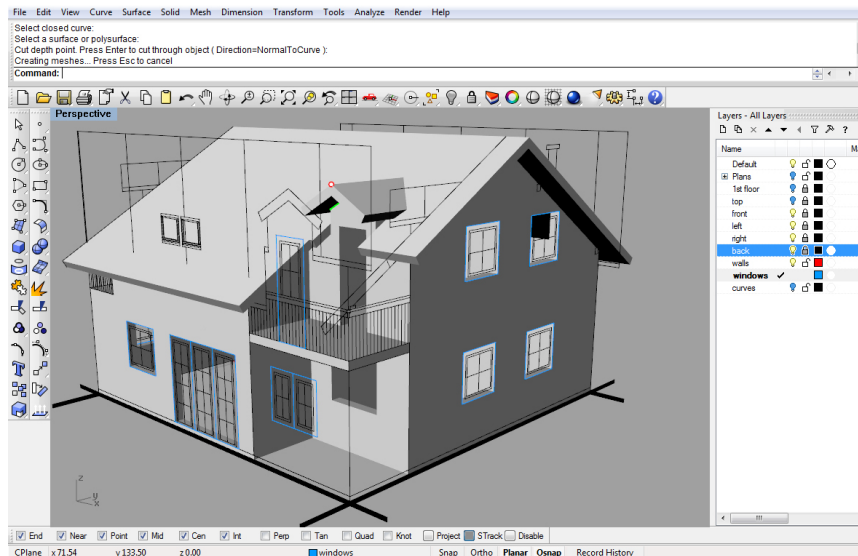
CityEngines förhållandevis enkla skriptspråk möjliggör enkel användning för arkitekter och planerare. En utmaning som tillkommer är att det alltid inte är så lätt att uttrycka designidéer i skriptspråk. Gränssnittet i CityEngine kan även det vara ett hinder, speciellt när det kommer till CGA och regelpaketet. Dessa är objektbaserade och kan endast kodas fram (tidigare fanns det hjälpmenyer). För att tolka och använda redan existerande skript och regelpaket krävs dock ingen större erfarenhet av programmering, då funktionerna och dess attribut har tydliga kopplingar. CGA-skripten är även fördelaktiga i den mening att de liknar andra GIS-api:er (ESRI, n.d.).

De framtagna modellerna i CityEngine kan exporteras till olika format. Format som stöds vid exportering är för närvarande bland annat ESRI geodatabase, IFC och Wavefront OBJ.

3.2.2 Rhinoceros 3D

Rhinoceros 3D, eller Rhino, är ett CAD-program (Computer Aided Design), som används bland annat av arkitekter och inom industridesign. Med Rhino är det möjligt att jämföra ett designförslag med andra scenarier. Med hjälp av NURBS matematiska modeller (Non Uniform Rational Basis Spline), representeras kurvor och ytor. Detta skiljer sig från till exempel CityEngine där ytor presenteras av polygoner. Vidare så är att Rhino inte byggt med geodata i åtanke. Detaljeringsgraden för Rhino är väldigt hög med stort fokus på detaljer (Fink & Koenig, 2019). Det är möjligt att exportera ett projekt i Rhino i en rad olika format. Det huvudsakliga exportformatet som Rhino matar ut är “.3dm”. .3dm är ett öppet källkodsformat inom CAD och kan läsas av andra liknande program. Utöver detta stöttar Rhino tredjepartsformat så som DWG, KML och TIFF. Dessa format konverteras alltså utifrån det ursprungliga .3dm-formatet så gott det går.

Rhino har många olika plug-ins som möjliggör för analys och simulering av ens design tidigt i processen. Exempel på möjliga analyser är dagsljusanalyser för både insidan och utsidan av byggnader, miljö- och energianalyser (Robert McNeel & Associates, n.d.). För ett exempel på hur en byggnad hanteras i Rhino, se nedanstående figur 3.4.



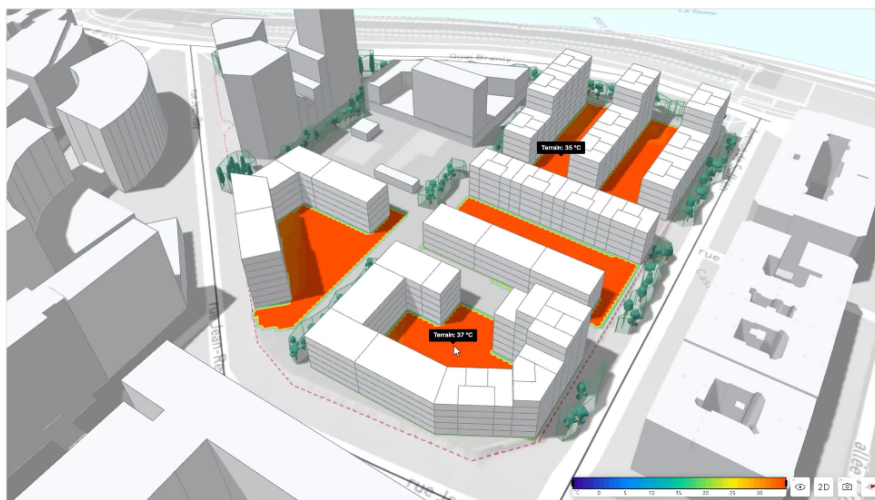
Figur 3.4. Skapande av objekt i Rhino3d (Rhino3d, 2009).

3.2.3 Spacemaker (Autodesk Forma)

Spacemaker är en molnbaserad AI-programvara som används tidigt i planeringsprocessen av bland annat arkitekter och stadsplanerare. Modellerna som genereras är 3D och bygger på

befintliga dataset och olika angivna parametrar. Ett exempel på data som kan inhämtas är till exempel terrängkartor, befintliga byggnader och infrastruktur. Spacemaker ger förslag på hur områden kan utformas med dessa dataset och kan sedan utföra simuleringar och analyser av dessa förslag såsom dagsljus- och bullersimuleringar. Dessa förslag kan sättas mot varandra och jämföras för att finna det bästa förslaget (Spacemaker Software, n.d.b). Spacemaker har versionshantering då det är möjligt att se tidigare versioner av ett projekt då dessa sparas i molnet (Spacemaker Software, n.d.a).

Programvaran har stöd för flertalet olika format däribland IFC och OBJ när det gäller 3D-byggnader. För vektordata stöds bland annat shp, GEOJSON och GML. Detaljeringsgraden för Spacemaker är relativt låg då det möjliggör för snabba visualiseringar och simuleringar där fokus ligger på utformningen av byggnader tidigt i planeringsprocessen och inte på arkitektoniska detaljer (se figur 3.5).



Figur 3.5. Analys i Spacemaker (Spacemaker Software, n.d.b).

3.3 Fallstudier med parametrisk design i stadsplanering

3.3.1 Fallstudie av parametrisk design: Beni-Suef

I det egyptiska området Beni-Suef, 12 mil söder om Kairo, bedrevs ett bostadsprojekt där parametrisk design användes. Bostadsprojektet skulle förse den lokala befolkningen med subventionerade bostäder och syftet var att undersöka CityEngines kapacitet att generera 3D-modeller bestående av byggnadsförslag med hjälp av parametrisk design. Testområdet bestod av cirka 28 hektar och hade krav på att innehålla 156 bostadshus, ett varuhus, en grundskola, två förskolor, en moské, en administrativ byggnad för posthantering och brandsläckning, samt

tillhörande parkeringar och grönområden (Badwi et al., 2022). Resultatet av detta visualiseras i figur 3.6.



Figur 3.6. CityEngine-förslag för Beni-Suef (Badwi et al., 2022). Publicerat under CC BY-NC-ND 4.0.

För att skapa 2D-data med polygoner som representerar byggnader och andra objekt, användes AutoCAD i kombination med ArcGIS Pro. Ett polygonlager skapades för varje typ av användningsområde, till exempel bostadshus och kommersiella byggnader. Filformatet för 2D-datan var ESRI geodatabase. Detta format möjliggjorde längre attributnamn än vad till exempel shape-formatet tillåter (Badwi et al., 2022).

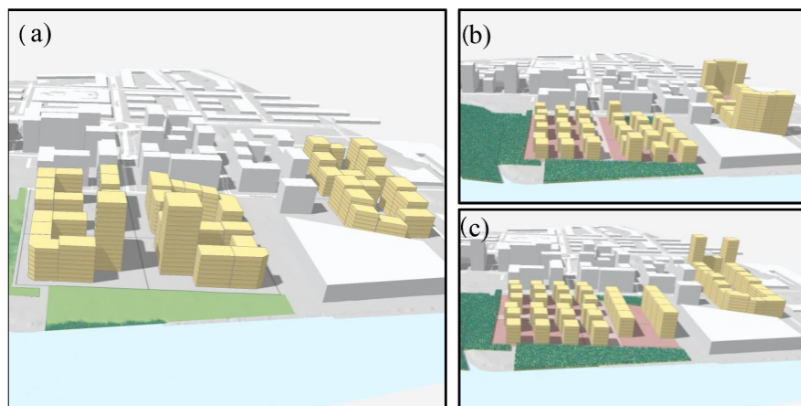
När 2D-lagret var skapat och attributdata införd i geodatabasen, påbörjades modelleringsprocessen i CityEngine. CityEngine använder sig av procedural modellering baserat på regelpaket. Dessa regelpaket definierar hur polygonerna i geodatabasen kommer att visualiseras och byggas upp i tre dimensioner. I fallstudien väljer författarna att skriva ett regelpaket för varje användningsområde av byggnader. Detta är på grund av att en byggnads fasad, storlek och utformning varierar baserat på dess användningsområde, och ett enda regelpaket räcker inte till för alla dessa fall (Badwi et al., 2022).

Fallstudien konkluderar att CityEngine är ett kraftfullt verktyg för användning av parametrisk design inom stadsplanering. CityEngine använder procedural modellering för att generera en stor 3D-modell baserat på en 2D-mall som innehåller byggnadsgränser och attributdata. På några få minuter kan denna 3D-modell genereras för en relativt låg kostnad i jämförelse med andra

liknande applikationer. Skriptspråket för de CGA-baserade regelpaketen var förhållandevis enkelt att lära sig, men det utgjorde en utmaning att uttrycka designförslag genom kod. Därtill tillkommer det utmaningar att uttrycka tomma ytor inuti byggnader såsom gårdsplaner. I framtiden konstaterar studien att det behövs mer forskning kring LOD-nivåer (level of details), så objekt kan representeras så verklighetstroget som möjligt under noggrann granskning (Badwi et al., 2022).

3.3.3 Fallstudie med generativ design

I en fallstudie gjord över ett område i Jönköping på cirka 5,5 hektar designades området om med hjälp av programmet Spacemaker (Varela et al., 2022). Studiens syfte var att visa huruvida generativ design kan förbättra stadsplanering. Studien studerar tre olika scenarier: Ett som visar hur det ser ut om det förhåller sig till detaljplanen, och två scenarier som genererats med generativ design. Studien använder data från olika dokument från kommunens hemsida. En del av dessa data, exempelvis detaljplaner, solljus-, utomhusmiljö- och bulleranalys kunde användas direkt genom användning av ett digitalt verktyg. Resterande data krävde analys på plats, till exempel geotekniska analyser. Nedan i figur 3.7 visas de tre scenarierna där scenario b och c har genererats med generativ design och scenario a den ursprungliga designen enligt detaljplanen (Varela et al., 2022).



Figur 3.7. Tre scenarier (Varela et al., 2022). Publicerat under CC BY 4.0.

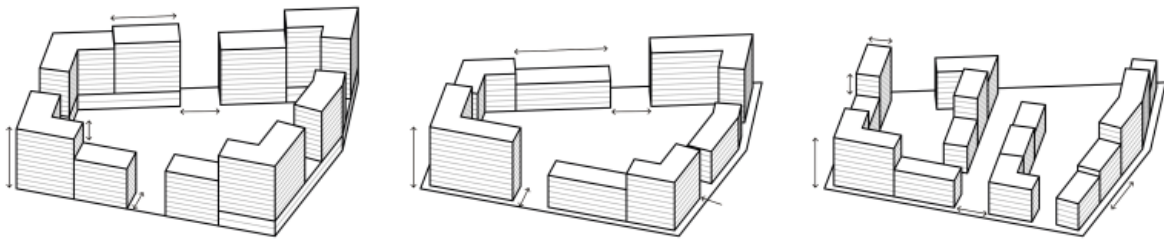
Resultatet från fallstudien visade att det fanns flera fördelar med att använda generativ design i detaljplaneprocessen. De största fördelarna var att det var mindre tidskrävande och mer effektivt ur ett miljöperspektiv. Programvarans flexibilitet kan ses som både en för- och nackdel beroende på användarens tekniska kunskap. Studien noterade att det fanns en brist på kunskap inom användning av digitala verktyg. Studien menar således att ett verktyg därför måste vara användarvänligt och förenklat för att underlätta för designern. Detta leder dock till en del

begränsningar, bland annat en begränsning i antalet faktorer tillgängliga för att optimera designscenariot och även en begränsning i filtrering av förslagen. Studien kom fram till att Spacemaker som verktyg i designprocessen kan användas som ett hjälpmedel och inte som ett verktyg för att automatisera processen (Varela et al., 2022).

3.3.4 Fallstudie från Wien med Grasshopper / Rhinoceros 3D

I Österrikes huvudstad Wien gjordes en fallstudie över ett 44 hektar stort område kallat det nordvästra stationsområdet (Fink & Koenig, 2019). Målet är att ersätta den befintliga bebyggelsen med ny som baseras på riktlinjer utvecklade vid en tävling år 2008. Studien använder sig av Rhinoceros 3D och dess plugin Grasshopper. Fallstudien utfördes utifrån sex olika steg. Det första steget var att utföra en rad olika analyser, specifikt vilka områden som var mest attraktiva utifrån närhet till bekvämligheter och service. För detta användes en parametrisk modell i Grasshopper där olika gruppers behov viktas mot varandra.

Efter slutförd analys påbörjades designprocessen som även den baserades på en parametrisk modell på grund av dess höga flexibilitet. Flera olika modeller togs fram och utvärderades utifrån solljus, vind och estetisk integration i närområdet. Olika exempel på modeller som genererades visualiseras nedanför i figur 3.8.



Figur 3.8. Olika designscenarier som genererades i samband med projektet (Fink & Koenig, 2019). Publicerat under CC BY 4.0.

De bästa modellerna utifrån resultaten från analys och simuleringar valdes ut och visualiserades med en Augmented Reality (AR) tillämpning. Detta gjorde att allmänheten kunde delta och ta del av resultatet via exempelvis sin telefon.

Slutsatsen från studien är att digitala verktyg kan öka effektiviteten inom stadsplanering. Med Grasshopper som plug-in erbjuds flera fördelar som exempelvis generering av olika

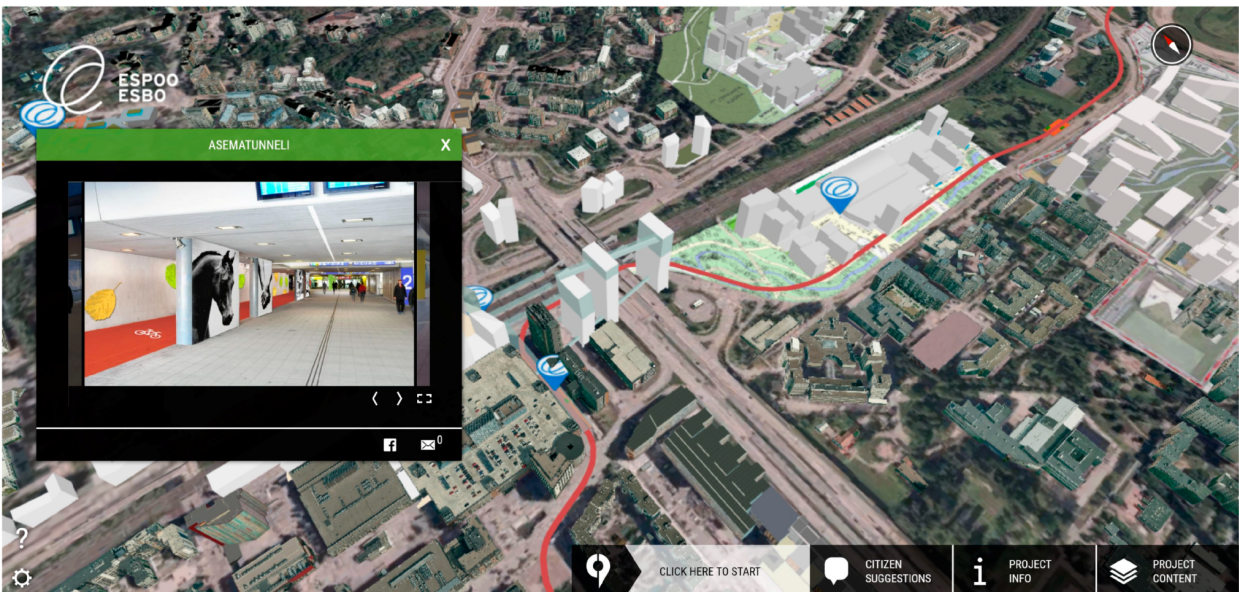
designscenarier. Nackdelarna med att använda digitala verktyg är svårigheten med att växla mellan olika applikationer och format, och detta kräver vidare utredning. Studien konkluderar att ett arbetssätt med obrutet informationsflöde och användning av digitala verktyg har stor potential.

4. 3D-stadsmodeller

I detta avsnitt introduceras 3D-stadsmodeller och dess standarder. Vidare behandlas databaser och lösningar för att hantera lagring av stadsmodeller.

4.1 Introduktion till 3D stadsmodeller

3D-stadsmodeller beskriver geometrin och strukturen av en urban miljö. Vad som definierar en 3D-stadsmodell är något tvetydig eftersom termen har använts i en rad olika fält för att beskriva allt från 3D-rekonstruktion till semantiska modeller. Vanligtvis kombinerar en 3D-stadsmodell icke-geometrisk data med urban 3D-geometri som vägar, träd, terräng och byggnadsmodeller. Dessa typer av modeller har ett brett användningsområde. Olika tillämpningsområden är exempelvis inom stadsplanering, visualisering och beslutsfattande (Julin et al., 2018). Nedan i figur 4.1 visas ett användningsområde för en 3D-stadsmodell i staden Espoo, Finland.



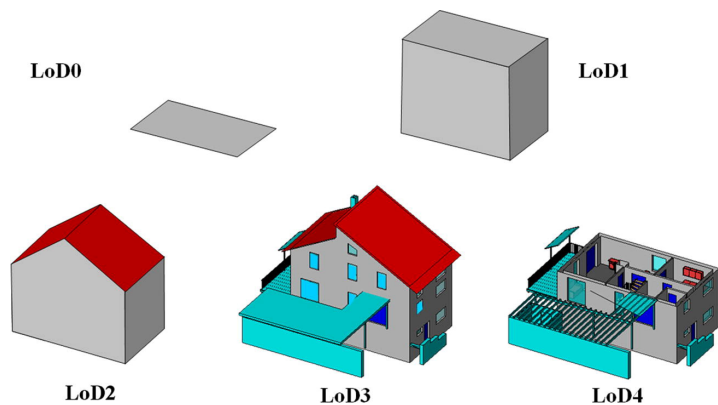
Figur 4.1. 3D-stadsmodell för att låta allmänheten lämna förslag kring planerad ny bebyggelse i staden Espoo (Julin et al., 2018). Publicerat under CC BY 4.0.

En typ av 3D-stadsmodell är den semantiska varianten. Semantisk 3D-modell är en virtuell modell som beskriver urban miljö genom att representera dataset som har kopplingar till den fysiska världen så som träd, vägar, byggnader och terräng. Målet med en semantisk 3D-modell är att beskriva dessa objekt från den fysiska miljön genom att avbilda deras tematiska, topologiska eller geometriska egenskaper (Kolbe & Donaubaer, 2021).

4.2 CityGML

CityGML är en informationsmodell med ett format baserat på XML från Open Geospatial Consortium (OGC) för att skapa och lagra semantiska 3D-stadsmodeller. CityGML förekommer i tre olika versioner, CityGML 1.0, 2.0 och 3.0, där CityGML 2.0 för närvarande är den version som främst används. Modellen kan representera objekt som förekommer i en stadsmiljö, såsom byggnader, vegetation och vägar. CityGML:s datamodell stödjer flera tillämpningar vilket möjliggör avancerade analyser och visualiseringar inom exempelvis stadsplanering, inomhus/utomhus-navigering och miljösimuleringar (OGC, 2012).

CityGML 2.0 innehåller fem detaljnivåer, så kallade LOD-nivåer (Level of detail), från 0-4, där objekten blir mer detaljerade för varje nivå, se figur 4.2. LOD0 i figuren nedan representerar en byggnad i horisontellt plan, där planet antingen representerar takets höjdnivå eller markens yta. I LOD1 representeras byggnader som ett block, antingen som solida eller med flera ytor. I LOD2 adderas en takstruktur till byggnaden. LOD3 är en utvidgning av LOD2 med mer detaljerade strukturer såsom fönster och dörrar. För sista nivå LOD4, möjliggörs representation och visualisering av en byggnads interiör, till exempel rum och möbler (Gröger & Plümer, 2012), se figur 4.2.



Figur 4.2. De fem LOD-nivåerna i CityGML 2.0 (Gröger & Plümer, 2012). Används med tillstånd.

CityGML är tänkt att vara en datamodell som kan användas världen över för olika tillämpningar. Modellen saknar dock en del information som krävs för att utföra vissa tillämpningar. Ett exempel på ett tillämpningsområde där informationen från datamodellen inte är tillräcklig är inom energiberäkningar för en byggnad. Viktig information som vad en byggnads användningsområde är, saknas i CityGML.

För att lösa de problem som kan uppstå med saknad av viktig information, kan en *Application Domain Extension* (ADE) användas. Med en ADE är det möjligt att hantera nya teman, klasser och attribut samtidigt som CityGML-strukturen bibehålls. En ADE kan användas för olika tillämpningsområden som exempelvis buller och energi (Biljecki et al., 2018). De kan även användas för att anpassa CityGML till nationella sammanhang, exempelvis den holländska 3D standarden IMGeo som har implementerats som en ADE (Van Den Brink et al., 2012). Ett svenskt exempel på en nationell ADE är 3CIM (Uggla et al., 2023, se avsnitt 4.3).

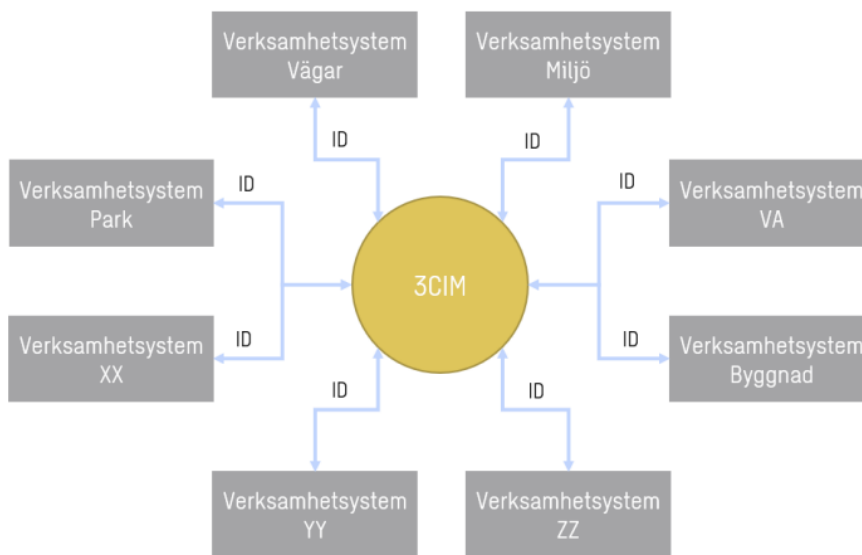
CityGML 3.0 är en nyare version av 2.0. Versionen innehåller flera ändringar och tillägg som gör standarden användbar för fler användargrupper och tillämpningsområden (OGC, 2023). En av de ändringar som har skett är att LOD numera består av fyra nivåer istället för fem. I föregående version representeras interiören i den femte nivån, men den kan i CityGML 3.0 representeras av de andra LOD-nivåerna. Modellen tillåter nu även inomhusinformation i de lägre LOD-nivåerna. I CityGML 2.0 definierar varje modul sig själv vilket ger upphov till redundans. Detta undviks i nyare version genom att flytta nästintill alla geometrier till en och samma modul som associeras med de semantiska koncepten *space* och *space boundaries*.

En ny funktion som lagts till i CityGML 3.0 som ökar stödet för versionshantering är modulen *versioning*. Modulen möjliggör användning av bitemporala tidsstämplar (Kutzner et al., 2020). Vidare har modulen attribut för att ange vilken version av en stadsmodell ett objekt tillhör. Med de nya attribut som tillkommer i CityGML 3.0 är det möjligt att betrakta en 3D-stadsmodells historia, och även att lagra scenarier (se avsnitt 5.4).

4.3 3CIM

I ett projekt (2020-2022) mellan Göteborgs stad, Malmö stad, Stockholms stad och Lunds universitet togs en gemensam informationsmodell för stadsmodeller fram, den så kallade 3CIM-modellen (Uggla et al., 2023). Syftet är att den ska fungera som en specifikation för en smart 3D-stadsmodell som kan användas för alla Sveriges kommuner som ett underlag för en

digital tvilling. 3CIM-modellen är en tunn modell med fokus på geometrierna. Denna data kan sedan lagras i en geodatabas. Exempel på data som modellen kan innehålla är kommunala geodata, kommunala masterdata, miljö- och trafikdata samt BIM-data. Med denna data kan sedan olika tillämpningar ske såsom klimat- och miljösimuleringar, stadsplanering och infrastrukturplanering. Inom kommunen finns många olika verksamhetssystem. En 3CIM-modell kopplar till de olika verksamhetssystemen genom unika IDn och motverkar därmed att information dubbellagras, se figur 4.3. Kopplingen sker genom att använda External Reference som är en del av CityGML Core module.



Figur 4.3. 3CIM koppling mellan de olika verksamhetssystem. (Smart Built Environment, 2023b).

3CIM innehåller alla teman från CityGML 2.0 som Bridge, Building, City Furniture, Transportation, Tunnel, Vegetation och Water inklusive temat Utility som är framtaget exklusivt för 3CIM (med hjälp av en CityGML ADE). Temat Building innehåller nya attribut som ID och Version för *Building*, och attributet status till *BuildingPart*. Attributet status gör det möjligt att visa om en byggnadsdel är planerad eller om den är gällande. Tilläggnig av ID- och versionsattribut är nytt för alla teman inom 3CIM. Vidare innehåller Transportation ändringar för att möjliggöra en koppling med nationella vägdatan (NVDB). Temat Vegetation inkluderar *SolitaryVegetationObject* och *PlantCover*. *SolitaryVegetationObject* innehåller attribut som höjd, diameter på stammen och diameter på kronan, för att möjliggöra visualiseringar och analyser. Nedan i figur 4.4 visas testdata över Malmö i Unreal Engine från 3CIM-projektet.



Figur 4.4. Visualisering av 3CIM testdata över Malmö i Unreal Engine där de vita byggnaderna är planerade byggnader (Uggla et al., 2023).

3CIM är baserat på CityGML 2.0 med tillägg av ADE för att göra anpassningar till svenska förhållanden inklusive koppling mot de nationella specifikationerna för geodata.

Nuvarande version av 3CIM har ett begränsat stöd för versionshantering. Detta implementeras genom att varje objekt har ett attribut som anger vilken version det är. CityGML 2.0 har ett svagt stöd för versionshantering och ytterligare tillägg av ADE hade krävts för att 3CIM:s informationsmodell ska ha stöd för detta. Målet är att 3CIM ska ha stöd för versionshantering och en framtida version av 3CIM kan komma att baseras på CityGML 3.0, då det kan uppfylla de krav som ställs på versionshantering inom stadstillämpningar (Eriksson et al. 2021).

4.4 Databaser för lagring av stadsmodeller

3D-stadsmodeller kan innehålla stora mängder data och i sin tur ge upphov till mycket stora filer på mellan tio till hundra gigabyte. För att hantera detta krävs effektiva verktyg och ett exempel på detta är 3DCityDB. 3DCityDB är en gratis geodatabas och är skapad för att hantera stora och komplexa CityGML-filer. Dess öppna källkodsmjukvara möjliggör import, hantering, analys, visualisering och exportering av virtuella 3D-stadsmodeller enligt CityGML-standard, med stöd för både version 1.0 och 2.0. Andra exempel på databaser för lagring av stadsmodeller är “CPA SupportGIS” och “Snowflake GO LOADER / GO PUBLISHER” (Yao et al., 2018). I kärnan är 3DCityDB en relationsdatabas. Databasen använder spatiala datatyper för att representera geometriska egenskaper i CityGML-objekt. För närvarande stödjer 3DCityDB två olika spatiala

databashanteringssystem. Den första är “Oracle Spatial/Locator” och den andra är öppen källkods-programmet “PostgreSQL” med en “PostGIS”-utvidgning.

Med 3DCityDB följer en rad olika verktyg. Ett av verktygen är CityGML importer/exporter. Verktyget gör det möjligt att läsa stora CityGML-filer på ett enkelt sätt. Medföljande är även en Plugin ADE-manager som möjliggör hantering och registrering av en ADE.

5 Representera tid och versioner i stadsmodeller

Ur ett scenario-perspektiv är versionshantering relevant då en 3D-modell kan komma att ändras flera gånger under en tidsperiod. Under exempelvis en planprocess kan många olika förslag förekomma och således skapas många versioner av en 3D-stadsmodell. Därmed krävs versionshantering för att effektivisera och underlätta lagring av många olika förslag och scenarier i en stadsmodell. I dagsläget finns ett svagt stöd för versionshantering. Problemet är att hela modeller återskapas istället för att uppdatera en redan befintlig modell. För att underlätta och effektivisera lagring av förslag i framtiden krävs det att verktyg får bättre stöd för versionshantering.

5.1 Representera tidsdimensionen

Ett versionshanteringssystem används för att underlätta informationsflödet i samhällsplaneringsprocessen. Objekt som kan behöva versionshantering är ofta byggnader, vägar och broar. Detta är på grund av att deras geometri och attribut kan ändras, till skillnad från naturobjekt såsom sjöar och floder som ofta är förhållandevis statiska. Vid skapandet av en geodatabas med versionshantering så kan tidsstämpeln för ändringar hanteras på olika sätt. Transaktionstid anger när ändringen sker i databasen och verklig tid anger när ändringen sker i verkligheten. En blandning av dessa sätt kallas för bitemporal tid (Eriksson et al., 2021).

5.2 Olika stadier av händelsebaserad versionshantering

Initialt var alla GIS-data statiska. Detta begränsade alla objekt till att endast visa ett tillstånd, det vill säga, mestadels det nuvarande och mest relevanta tillståndet. Med denna teknik var det möjligt att visa både dåtida och framtida tillstånd, men endast ett tillstånd åt gången. Dock saknades möjlighet att göra jämförelse mellan de olika tillstånden (Worboys, 2005).

En utveckling av den statiska GIS-tekniken var att behandla spatiotemporala modeller som ögonblicksbilder. Dessa ögonblicksbilder visar ett tillstånd vid en viss tidpunkt, se figur 5.1.



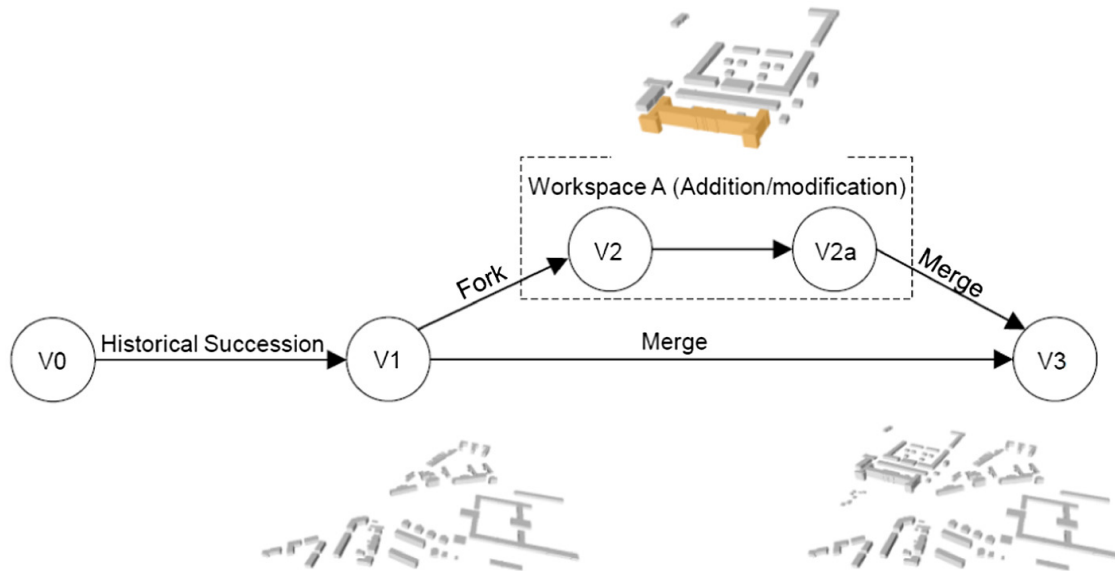
Figur 5.1. Ögonblicksbilder över Lorensborg i Malmö. T.v 1960, 1975 och t.h 2022 (Lantmäteriet, 2023).

Ögonblickssekvenser är ofta indexerade så att tidslinjen kan visualiseras linjärt. Den temporala strukturen kan dock variera beroende på vilket tillämpningsområde. Väderfenomen kan ofta vara cykliska medan tillkomst eller ändring av administrativa gränser oftast är en diskret ändring som träder i kraft vid en viss tidpunkt. Ögonblickssekvensstrukturen tillåter frågeställningar för att exempelvis få reda på hur ett objekt såg ut vid en viss tidpunkt eller när ett objekt ändrade tillstånd (Worboys, 2005).

Nästa steg i utvecklingen av spatiotemporala informationssystem var att fokusera på händelser i relation till objekt, attribut och förhållanden, istället för de temporala sekvenserna där objektet ingår. Detta sätt att hantera kronologisk data benämns som objektändring. Exempel på operationer som kan användas på ett objekt är skapande, återupptagande, försvinnande, återuppträdande, omvandling och borttagning (Worboys, 2005).

Ett ytterligare stadium av utvecklingen kombinerar de föregående stadierna. Både händelser och handlingar hanteras och kan delas in och definieras på en rad olika sätt beroende på vilken filosofi eller definition som används. Generellt brukar långvariga objekt såsom hus och människor delas in i "fortlöpande"-kategorin medan till exempel väder och jobb delas in i "händelser"-kategorin. Händelser kan delas in i ytterligare två kategorier beroende på om en händelse är skapad av en människa eller om den förekommer naturligt (Worboys, 2005).

I nedanstående figur 5.2 ses ett exempel på scenarioutveckling ur ett objektändringsperspektiv. Objektet ändras över ett antal olika versioner och olika operationer används såsom förgrening och sammanslagning för att representera objektet över tid.



Figur 5.2. Exempel på scenarioutveckling ur ett objektändringsperspektiv (Chaturvedi et al., 2017). Används med tillstånd.

5.2 Product Lifecycle Management- system

Livscykel är ett användbart begrepp angående planering, insamling, förvaring och publicering av data. Begreppet används inom “product management” och refereras som product lifecycle (PLC). PLC beskriver och hanterar data som används under en produkts livscykel, alltså från produktion, underhåll och eventuell förstörelse. Detta sätt att modellera livscykeldata förekommer inom BIM-världen där fokus ligger på byggnader (byggnadsinformationsmodell). Kortfattat är det en digital modell av den information som genereras och förvaltas under byggnadens livscykel (Tarandi, 2015). Denna data kan bestå av exempelvis geodata. Idag används standarden PLCS (Product lifecycle support) för att underlätta datatransparens under hela produktens livscykel, det vill säga datan kring produkten hålls tillgänglig för alla parter som har tillgång till den. Ett system baserat på livscykler är ett alternativ till ett händelsebaserat versionshanteringssystem.

5.3 Versionshantering i stadsmodeller

Stödet för versionshantering varierar mellan olika programvaror och dataformat. Många kommuner och städer som använder CityGML för stadsmodeller väljer att lagra och hantera modellerna i 3DCityDB. 3DCityDB är ett öppet källkods-projekt som gratis erbjuder implementering av databasschema ovanpå en standard spatial relationsdatabas. För tillfället stödjer 3DCityDB inte versionshantering, dock finns det redan idag modifierade versioner som tillåter det. CityGML 3.0 har stöd för objekt som kan ändras över tid och skulle 3DCityDB stödja

CityGML 3.0 så kan det resultera i bättre versionshantering. Två programvaror som är väldigt populära inom GIS är ArcGIS Pro och QGIS. Båda dessa stödjer temporal information, om än i begränsad omfattning. Huvudsakligen används den temporala informationen i till exempel animeringssyfte och inte på en egenskapsnivå (Eriksson & Harrie, 2021).

Möjligheten att kunna dela spatiotemporal data med olika verktyg och ta fram data för en stad under en given tidsperiod bedöms vara essentiell. Pfeiffer et al. (2013) föreslår en modell med ett modifierat CityGML-schema och användning av eventbaserad modellering. Detta gör det möjligt att följa utvecklingen av ett objekt och lägga till temporal information om byggnaden. Nackdelen är att objekten endast kan existera i bestämda tillstånd (Chaturvedi et al., 2017). Ett annat förslag föreslås av Morel och Gesquiére (2014) som även den är baserad på ett modifierat CityGML-schema. Modifikation utgörs av ett tillägg av "tags" och "flags" som möjliggör förändring av ett objekt över tid. Nackdelen med denna metod är möjligheten att ha flera scenarion samtidigt stöds inte.

5.4 Versionshantering i stadsmodeller som grund för scenariohantering

När städer växer och utvecklas ökar behovet av att kunna spara dessa förändringar över tid i en semantisk stadsmodell. I denna stadsmodell kan varje objekt i staden representeras av en egen livscykel. Versionshantering av dessa objekt möjliggör samexistens av många scenarion med olika versioner. Utifrån detta kan scenarion förgrenas och skapa nya versioner, eller återförenas med den ursprungliga versionen i en sammanslagning. Exempel på detta kan ses i figur 5.2, där det illustreras olika historiska versioner som förgrenas för att göra tillägg och ändringar. Därefter slås förgreningen samman med den ursprungliga versionen och skapar en ny version.

Vid skapande av scenarier inom stadsplanering genereras ofta flera olika förslag för att hitta det mest optimala. För att kunna använda scenarier på ett effektivt sätt bör de lagras i en stadsmodell. I stadsmodellen är det viktigt att visa vilken version scenariot tillhör, exempelvis om det är ett befintligt scenario med befintliga byggnader eller om det är något som har lagts fram som ett förslag med planerade byggnader. Detta medför fördelar kring medborgardialog då medborgarna kan ta del av de förslag som läggs fram och framföra synpunkter kring dessa.

Eriksson et al. (2021) utvärderar användning av versionsmodulen i CityGML 3.0 mot tre uppställda krav, där ett var att hantera parallella scenarier för beskrivning av en 3D-stadsmodell. Utvärderingen av CityGML 3.0 visade att det är möjligt att erhålla information om när ett objekt har ändrats i databasen och när en ändring har skett för objekt i verkligheten. Undersökningen resulterade i att alla kraven uppfylldes, förutom möjligheten att kunna hämta information från en

specifik transaktionstid för en byggnads geometri. Då CityGML 3.0 uppfyller kravet för parallella alternativ för beskrivning av en 3D-stadsmodell, är det möjligt att göra olika typer av analyser för utvärdering av olika scenarier (Eriksson et al., 2021).

6 Val av verktyg för scenariohantering

Processen för scenariohantering består av en rad olika steg, se figur 1.1. Då verktyg för parametrisk design inte stödjer CityGML-format, måste stadsmodelldata bearbetas och omvandlas till annat format (till exempel shapefile-formatet) med hjälp av ett konverteringsprogram. Därefter kan ett scenario skapas med hjälp av ett verktyg för parametrisk design. Detta scenario avses sedan att exporteras för att lagras tillsammans med stadsmodellen. Geodatabaser kan stödja CityGML-formatet, men då verktyg för parametrisk design generellt inte kan exportera till detta format krävs det att data återigen bearbetas och konverteras. Ytterligare skript kan krävas för att få in de extra attribut som lagts till i informationsmodellen med en CityGML ADE, då verktyg för att importera dessa till en stadsmodell saknas.

6.1 Val av verktyg för parametrisk design

För att genomföra scenariohantering med hjälp av parametrisk design krävs ett program som kan hantera detta. Det finns därför krav på ett sådant program som måste uppfyllas för att programmet ska vara användbart i denna studie. Kraven består av att verktyget måste klara följande:

- skapa scenario för stadsplanering
- stödja parametrisk design
- ha ett enkelt användargränssnitt
- hantera geodata korrekt, till exempel hantera koordinatsystem så som SWEREF 99 13 30.

För att genomföra denna studie valdes CityEngine som verktyg för parametrisk design. CityEngine är kapabel till att skapa en rad olika scenarier inom stadsplanering med hjälp av parametrisk design och programmet har ett förhållandevis enkelt användargränssnitt och skriptspråk. Utöver detta hanteras geodata i olika koordinatsystem korrekt och det går enkelt att ändra parametrarna för ett objekt, exempelvis höjden på en byggnad, i realtid. CityEngine uppfyller alla kraven ovan och det är tillräckligt för denna studie.

6.2 Val av verktyg för lagring av stadsmodelldata

För lagring av stadsmodelldata i en geodatabas krävs verktyg. Verket består av en programvara och måste uppfylla nedanstående krav för att vara användbart:

- hantering, lagring och stöd av CityGML-formatet och XSD-tillägg (för lagring av ADEn)
- smidig import/export av CityGML-data.

I studien väljs 3DCityDB som verktyg för lagring då det kan hantera båda kraven ovan. Dessutom kommer 3DCityDB med ett importer/exporter verktyg som möjliggör enkel import/export av stora datamängder.

6.3 Val av verktyg för konvertering av data

För att konvertera data till rätt format krävs en programvara som kan hantera detta, t.ex. Ett ETL-verktyg (Extract, Transform, Load). Följande krav måste uppfyllas av programmet:

- hantering av geografisk information
- stöd för många olika filformat
- möjlighet att konvertera mellan olika filformat.

En programvara som uppfyller detta är ETL-verktyget FME och därmed väljs som verktyg. FME är en programvara skapad av Safe Software som kan hantera geografisk information (Safe Software Inc., n.d. a). Plattformen gör det möjligt att exempelvis byta filformat och koordinatsystem genom att sätta ihop ett led av transformationer. Plattformen har stöd för över 450 olika format (Safe Software Inc., n.d. b).

6.4 Val av verktyg för solinstrålning

För att utföra simulering av solinstrålning krävs ett verktyg. Följande krav måste uppfyllas för att möjliggöra meningsfull användning av verktyget:

- öppen källkod
- enkelt användargränssnitt med tydliga parametrar som går att justera utefter behov.

Ett öppet källkodsprogram som stöttar analys av irradiation är QGIS-pluginet UMEP (the Urban Multi-Scale Environment Predictor).

7 Fallstudie

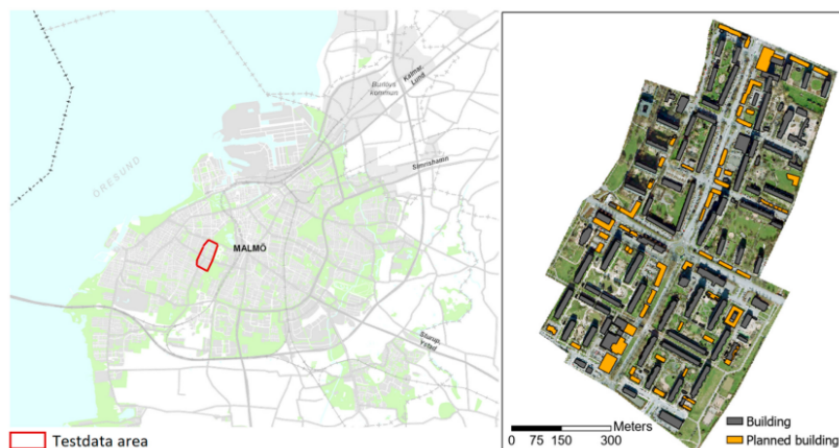
I fallstudien skapas scenarier tillsammans med 3CIM-data för att visa hur processen för scenariohantering ser ut och hur parametrisk design i kombination med analyser (i detta fall: analys av solenergi) kan användas inom stadsplanering. Fallstudien har en inriktning mot ett förtätningsområde där det är värdefullt att ta fram flera olika alternativ (scenarier) för nybyggnationen. Dessa scenarier bör sedan lagras i en stadsmodell för att möjliggöra visualiseringar och analyser som sedan kan ligga till grund för beslutsfattande och dialog med medborgare.

7.1 Testområde

I projektet önskade vi att använda 3CIM-data och därför var vi begränsade till områden där testdata tagits fram. Lorensborg i Malmö valdes som testområde på grund av tidigare kännedom om området samt att området är ett förtätningsområde där scenariohantering är speciellt intressant.

Lorensborg är ett bostadsområde inom stadsdelen Hyllie i Malmö (Figur 7.1). Bostadsområdet består i dagsläget enbart av flerfamiljshus varav tre stycken är höghus. Dessa höghus sticker upp över det lokala landskapet med en höjd på över 40 meter fördelade på 16 våningar. Området byggdes i stor del på slutet av 1950-talet i samband med anläggningen av det närliggande Malmö Stadion och världsmästerskapet i fotboll 1958. I området finns det en förskola och en grundskola och beträffande tjänster och utbud så finns det mindre kommersiell verksamhet såsom kiosker och detaljhandel. Området är i dagsläget utformat med ett genomfartsled i sydvästlig-nordöstlig riktning och parallellgator utmed detta huvudled som delar upp området i två delar. Ytorna mellan flerfamiljshusen är oftast grönområde och marken utmed vägarna är hårdgjord.

Lorensberg håller på att förtätas vilket kan ses med de orangea markeringarna i figur 7.1. Planförslaget föreslår att de hårdgjorda ytorna och grönområden med lågt rekreativt värde, ska utgöra basen för den planerade förtätningen i området. Parallellgatan ska tas bort och gång-, cykel-, och kollektivtrafik ska ges högre prioritet (Malmö Stad, 2022a).



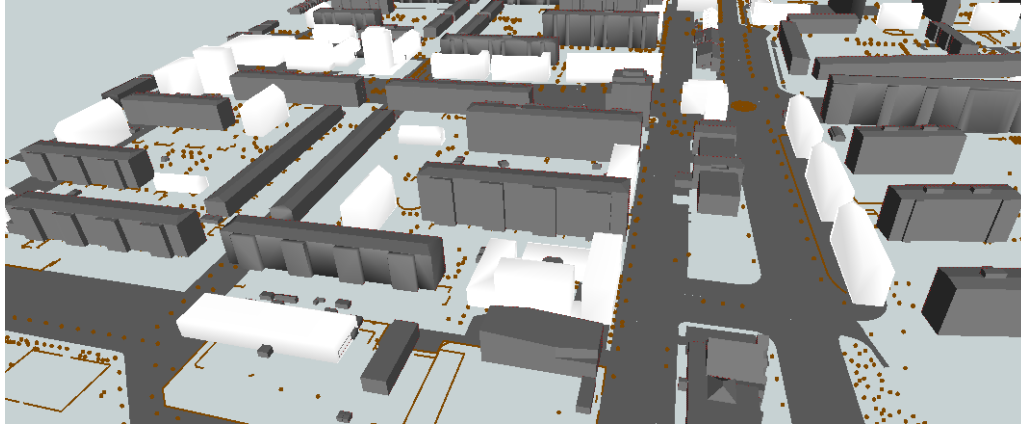
Figur 7.1. T.v. testområdets lokalisering i Malmö stad. T.h. 3CIM testdata över befintliga och planerade byggnader (Uggle et al., 2023).

Planförslaget innebär en ökning av cirka 1550 bostäder. Därtill tillkommer andra samhällsfunktioner såsom förskolor, parkeringshus och andra specialboende. Planen innebär även att införa nya bostadstyper som till exempelvis radhus för att bryta flerfamiljshusnormen. Ytor för service och företag på bottenplan skapas för att underlätta för de boende i området och öka tryggheten. Därmed ska förutsättningar skapas för en attraktiv stad (Malmö stad, 2022a).

7.2 Befintliga data

I projektet används flera datakällor från olika aktörer vilket beskrivs nedan. Den databas som byggs upp ska ligga i Malmö stads officiella koordinatsystem Sweref 99 13 30.

3CIM-data tillhandahölls på efterfrågan av 3CIM-projektet. Datan inkluderar sex olika teman från 3CIM och består av byggnad, ledningsnät, markdetaljer, transport, tunnel och vegetation (figur 7.2). 3CIM datan i Lorensborg ligger i koordinatsystemet Sweref 99 13 30.



Figur 7.2. Visualisering av 3CIM-testdata i FME. Vita byggnader är planerade och grå byggnader är befintliga.

Tema byggnader

Data i temat för byggnader är lik CityGML-formatet, dock med några skillnader. Skillnaderna består av två extra attribut “ID” och “Version” för byggnader, och attributet “status” för byggnadsdelar (Ugla et al., 2023). Byggnaderna består av endast en byggnadsdel och geometrin för dessa objekt lagras i byggnadsdelen. Status för befintlig bebyggelse är “befintlig”, och “planerad” för planerad bebyggelse.

Tema ledningsnät

För tema ledningsnät så är enbart dagvattenbrunnar inkluderade som punktobjekt. Detta för att stödja analyser såsom skyfallsmodellering.

Tema markdetaljer

Temat för markdetaljer innehåller objekt tagna från den kommunala baskartan och innefattar stödmur, mur, staket och fordonsramp.

Tema transport

Temat transport består av manuellt digitaliserad 2D-data i form av polygoner där z-koordinaten är noll. Datan är digitaliserad utifrån den kommunala baskartan. Polygonerna delas in i olika segment där varje segment är tänkt att utgöra en väglänk i Nationella vägdatatabasen (NVDB). Transport består av föräldern *TransportationComplex* som representerar ett segment i LOD1. För att kunna dela upp segmenten i LOD2-LOD3 används barnen *TrafficArea* och *AuxilliaryTrafficArea* och kopplas ihop med föräldern genom *ParentID*. Alla gator är uppdelade i ett segment per väglänk enligt NVDB, men för rondeller och mer komplexa korsningar är detta inte möjligt.

Tema tunnel

I testområdet förekommer två tunnlar som faciliterar gång- och cykelvägpassage under en väg med fordonstrafik. Data för detta ingår i temat "Tunnel". Enbart golvytan för tunnelarna är inkluderade.

Tema vegetation

Det sjätte och sista temat är vegetation och innehåller *PlantCover* och *SolitaryVegetationObject*. *PlantCover* omfattar gräsytor och planteringar såsom häckar och rabatter. Data för dessa är baserade på baskartan och okulära tolkningar från ortofoton. Objekt under kategorin *SolitaryVegetationObject* är modellerade som solitärer och omfattar mestadels större vegetation, däribland träd. Träddatan är baserad på den kommunala baskartan och hämtar information och geometrisk position från Fastighets- och gatukontoret.

Detaljplan

För att visualisera det detaljplanelagda området används en georefererad detaljplan över en del av området som underlag för fallstudien. Data hämtades från Malmö stads stadsatlastjänst. Detaljplanen som används är "Detaljplan för del av fastigheten Hålsjön 2 m.fl. i Hyllie i Malmö, Dp 5539". Detaljplanen vann laga kraft 2018-12-11 (Malmö stad, 2018).

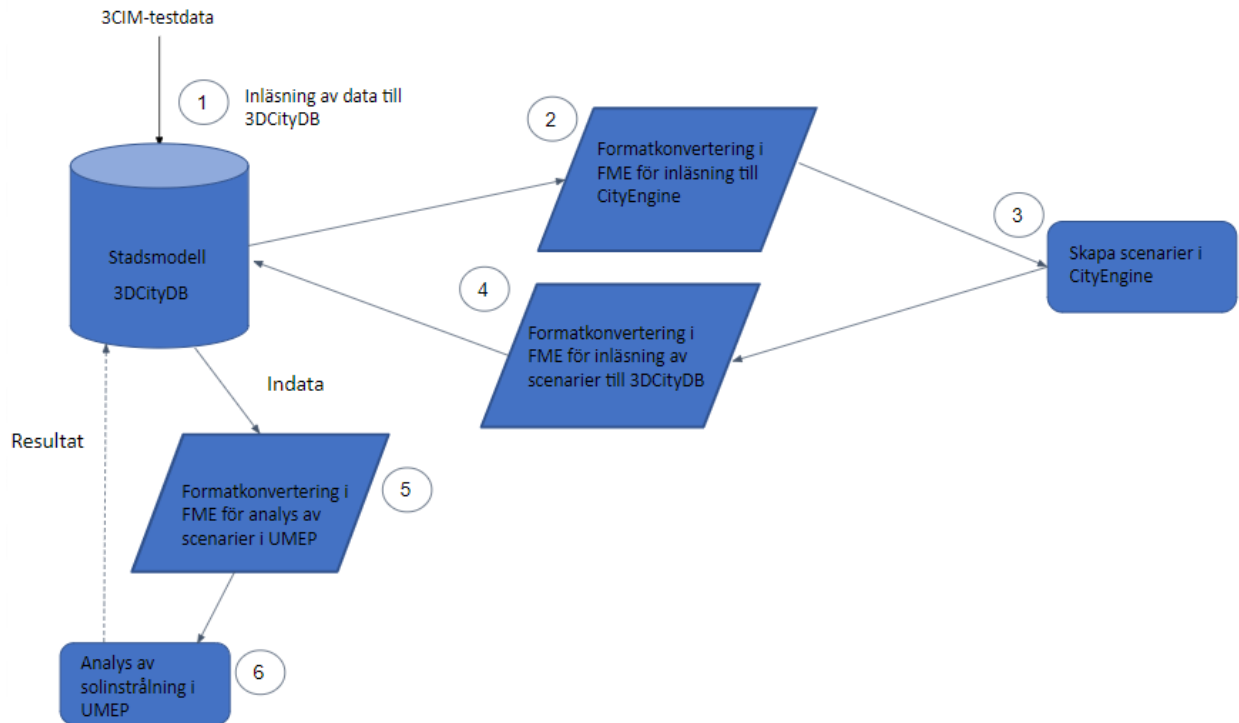
Detaljplanen georefererades i FME med en affin transformation där koordinater i Sweref 99 13 30 hämtades från Malmö Stadsatlas. Kanter av byggnader valdes som gemensamma punkter då dessa är lätta att lokalisera både i detaljplanen och i Malmö Stadsatlas.

Höjdmodell

Höjdmodellen över området är hämtad från Lantmäteriet med SLU:s "get"-tjänst. Modellen heter "Markhöjdmodell 1+" och består av rikstäckande höjddata i ett raster med en meters upplösning baserat på laserskannade data. Höjdmodellens koordinatsystem var Sweref 99 TM och koordinatsystemet transformerades med hjälp av FME till Sweref 99 13 30.

7.3 Arbetsflöde

Målet med arbetsflödet för scenariohantering i fallstudien visualiseras i figur 7.3 nedan. Processen består av sex olika steg där de olika stegen beskrivs mer ingående nedan. Varje avsnitt nedan är kopplade till ett steg i figuren i kronologisk ordning.



Figur 7.3. Målet för arbetsflödet för scenariohantering. Streckad pil visualiserar steg som ej genomfördes i fallstudien.

7.3.1 Inläsning av data till 3DCityDB

Testdatan lästes in med hjälp av 3DCityDB:s importeringsverktyg. På grund av tekniska problem med 3CIM-testdata följde de 3CIM-specifika attributen inte med.

Nedan i figur 7.4 visas hur ett utsnitt av testdatan ser ut i 3DCityDB i CityGML 2.0-format. Utsnittet är från tabellen *building* och innehåller de tre CityGML-klasserna *AbstractBuilding*, *Building* och *BuildingPart* där attributet *objectclass_id* beskriver vilken av klasserna objektet tillhör. Tabellen byggs upp av en trädliknande struktur där *building_parent_id* pekar på föregående objekt i trädet. Det objekt som finns i toppen av trädet har värdet *null* för *building_parent_id*. Alla objekt i databasen har ett unikt ID, där de med samma *building_root_id* tillhör samma byggnad.

	id [PK] integer	objectclass_id integer	building_parent_id integer	building_root_id integer	class character varying (256)	class_codespace character varying (4000)
1	3049	26	[null]	3049	[null]	[null]
2	3050	25	3049	3049	[null]	[null]
3	3051	26	[null]	3051	[null]	[null]
4	3052	25	3051	3051	[null]	[null]
5	3053	26	[null]	3053	[null]	[null]
6	3054	25	3053	3053	[null]	[null]
7	3055	26	[null]	3055	[null]	[null]
8	3056	25	3055	3055	[null]	[null]
9	3057	26	[null]	3057	[null]	[null]
10	3058	25	3057	3057	[null]	[null]

Total rows: 840 of 840 Query complete 00:00:00.685

Figur 7.4. Testdata i pgAdmin. Varje rad visar ett objekt med olika komponenter i kolumnerna. Totalt 840 objekt i tabellen för *building*.

7.3.2 Formatkonvertering i FME för inläsning till CityEngine

Testdatan exporterades från 3DCityDB i CityGML 2.0-format med hjälp av dess exporteringsverktyg. På grund av de tekniska problem med 3CIM-testdata används den ursprungliga CityGML-filen vid inläsning till CityEngine för att få med 3CIM-specifika attribut.

CityEngine stöttar dock inte CityGML 2.0-formatet och en konvertering genomfördes där datan omvandlades till shape-filer med hjälp av FME. Endast *buildingpart* valdes ut och kopplades ihop med 3CIM ADE, se bilaga 1. Detta för att inkludera data av intresse, till exempelvis “status” som talar om vilka byggnader som är gällande och vilka som är planerade och inte finns i nuläget.

I konverteringen behövs även tas hänsyn till geometriska aspekter, framförallt rotationen på trianglarna som bygger upp 3D-objekten. Dessa rotationer beskriver normalens riktning och således vilken sida som ska vara synlig (framsida) och inte synlig (baksida). Dessa definierades likadant för alla polygoner för att medföra korrekt visualisering.

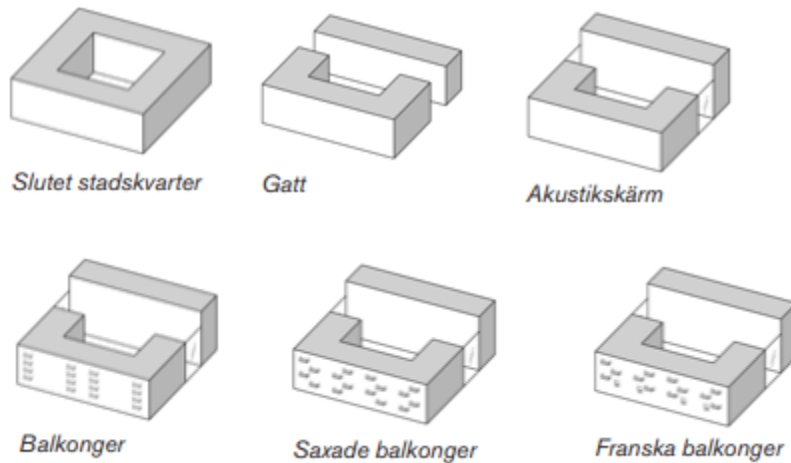
Markmodellen “Markhöjdmodell 1+” från Lantmäteriet lades in. En del av markmodellen klipptes ut i storlek av detaljplanen, för att möjliggöra att detaljplanen följer markmodellen. Detaljplanen lades in som en textur bestående av en rasterad bild (i formatet GeoTIFF) för den urklippta delen av markmodellen.

7.3.3 Skapande av scenarier med olika typer av byggnadstypologi i CityEngine

Vid skapande av scenarier så existerar det olika typer av byggnadstypologier som en planerare kan använda. De vanligaste typologierna är enskilda hus, radhus och flerfamiljshus. Enskilda hus ger ägaren störst frihet att själv utforma huset och störst andel privatliv. Radhus är mer kostnadseffektiva än enskilda hus då radhus delar väggar och tak med varandra. Radhus bidrar till en mer gemensam livsstil än enskilda hus och mer privatliv än lägenheter. Flerfamiljshus är mest kostnadseffektivt då alla boende delar på resurser såsom värme, el och vatten och de ger en högre grad av gemenskap än enskild bostad och radhus. Då detta arbete täcker en detaljplan där det endast är planerat med flerfamiljshus, så läggs fokus på flerfamiljshustypologier nedan.

När kvarter med flerfamiljshus planläggs är det viktigt att tänka på dess utformning ur en rad perspektiv, såsom buller, dagsljus, energianalyser och den upplevda levnadsmiljön. För att maximera dessa aspekter kan flerfamiljshus planeras och utformas på olika sätt (se figur 7.5). Då det har börjat byggas i mer bullerutsatta områden är slutna stadskvarter en typ av utformning som isolerar innergården från buller och ger lägenheterna en tyst sida. Ur ett solljusperspektiv är detta mindre önskvärt då det skuggar stor del av innergården. För att öka insläppet av dagsljus kan det planeras för större fönster men detta i sin tur minskar energieffektiviteten (Cederström et al., 2020).

En annan typ av utformning än det slutna stadskvarteret är till exempelvis byggnader med typologin gatt (Figur 7.5). En utformning med gatt har oftast en öppen gata eller gångväg som går genom kvarteret. Detta ökar öppenheten och anslutning till närområdet och resulterar även i mer dagsljusinsläpp, vilket är positivt, och mer buller, vilket är negativt. För att mildra de negativa effekterna med gatt har denna typ av utformning börjat kombineras ihop med akustiskskärmar. Detta minskar bullret på innergården utan att begränsa ljusinsläppet. Andra typer av planeringsverktyg för att minska buller och öka dagsljusinsläpp är: placering av balkonger, takvinklar, olika typer av fasader och markbeläggningar, bara för att nämna några få (Boverket, 2016).



Figur 7.5. Illustrationen visar olika typer av byggnadstypologier för planering av flerfamiljshus (Cederström et al., 2020).

7.3.3.1 Hantering av scenarier i CityEngine

För att skapa scenarier i CityEngine går det dels att använda programmets olika verktyg och dels genom att skriva CGA-skript. Programmet har verktyg som gör det möjligt att skapa 2D-polygoner som kan utvidgas på höjden och därmed bli ett 3D-objekt. Det är möjligt att slå ihop och dela på objekt. CityEngine har även andra verktyg för att exempelvis skapa vägar eller göra analyser, till exempel beräkna area och avstånd, men även möjlighet att göra en enkel siktanalys.

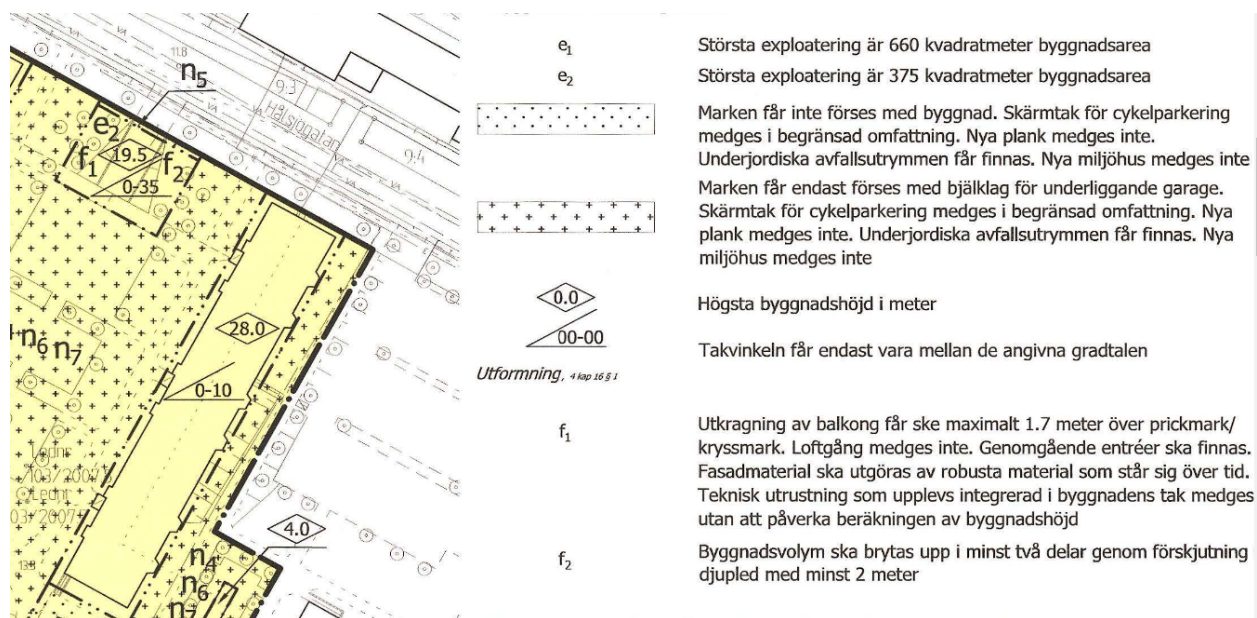
Till skapade 2D-polygoner eller exempelvis importerade byggnaders fotavtryck kan ett CGA-skript appliceras. Ett CGA-skript kan innehålla olika parametrar som bestämmer till exempel byggnadshöjd, takvinkel, antalet våningar och användningsområdet för en byggnad. Skriptet kan innehålla regler om vilken byggnadstypologi byggnaderna ska utformas efter, till exempel slutet stadskvarter. Det är även möjligt att få fram rapporter över potentiell bruttoarea eller andelar för de olika användningsområdena en byggnad kan ha. De importerade fotavtrycken kan innehålla attribut som kan kopplas ihop med CGA-skriptet och därmed göra det enkelt att snabbt visualisera en hel stad. De olika parametrarna från skriptet går att ändra på i CityEngines gränssnitt och därmed är det enkelt att parametriskt designa olika typer av byggnader.

För att skapa scenarierna nedan krävs importerad data i shapefiler och CGA-skript som beskriver hur byggnaderna ska utformas. Scenarierna kommer även följa vissa riktlinjer, exempelvis kommer scenario nummer ett att följa det detaljplanelagda området medan scenario två och tre frångår detaljplanen och utforskar andra byggnadstypologier med hjälp av CityEngines inbyggda

funktioner. Målet är att de olika scenarierna ska ha liknande bruttoarea, men följa olika byggnadstypologier.

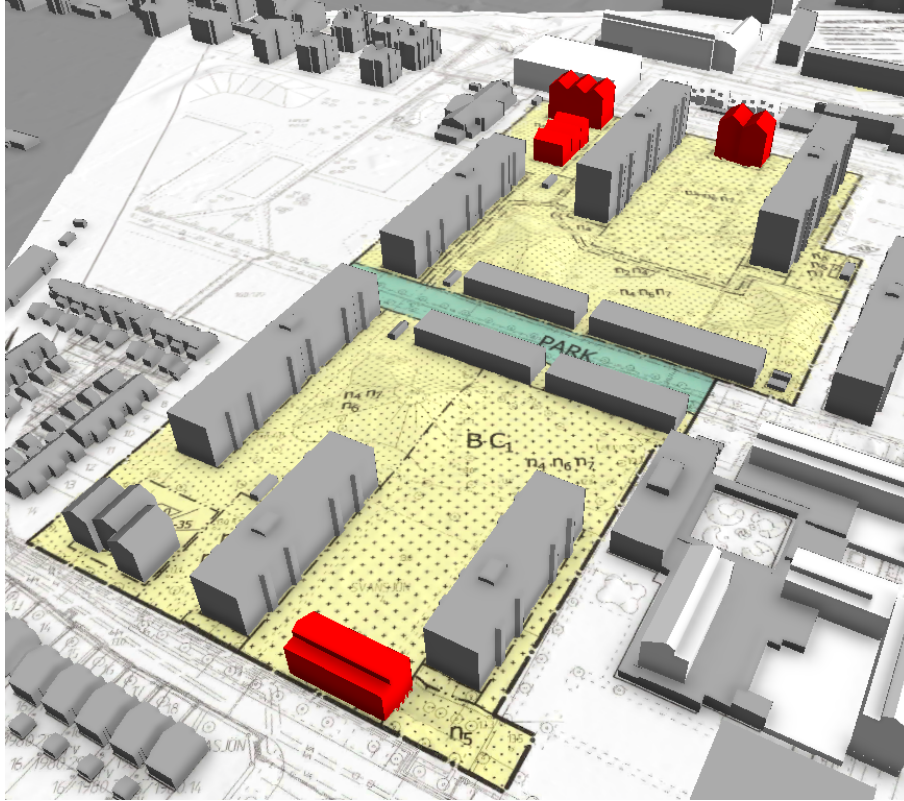
7.3.3.2 Scenario 1 - detaljplan

Scenario 1 utgörs av de planerade byggnaderna i testdatan från 3CIM-projektet. Scenariot följer detaljplanen *DP5539 - Plan del 1* (Malmö stad, 2018), se figur 7.6. Detaljplanen innehåller olika begränsningar såsom högsta tillåtna byggnadshöjd, begränsning av takvinkel och största tillåtna byggnadsarea, se figur 7.6 nedan.



Figur 7.6. Detaljplan över en del av testområdet (Malmö stad, 2018).

Nedan i figur 7.7 visualiseras scenario 1. Testdatan innehåller ett attribut för status med ett värde som är "Gällande" eller "Planerad". Genom att koppla ihop attributet med ett CGA-skript (bilaga 2) var det möjligt att visualisera byggnaderna i olika färger beroende på statusattributet. Alla planerade byggnader i scenario 1 är flerfamiljshus. Dessa är antingen placerade så att de tillsammans med befintlig bebyggelse bildar en innergård med gatt, eller bildar sitt eget byggnadskvarter (figur 7.7). De är även anpassade efter områdets byggnadshöjd där inga av de planerade byggnaderna är högre än befintlig bebyggelse.



Figur 7.7. Scenario 1 med markmodell och detaljplan som textur. Planerade byggnader inom detaljplanelagt område visualiseras som röda, gällande byggnader som grå och planerade byggnader utanför visualiserad detaljplan som vita.

De planerade byggnaderna tillför en viss bruttoarea som beräknades:

- Lott nummer 1 med 18 meters höjd och 35 grader vinkel på tak. BYA: cirka $460 m^2$
- Lott nummer 2 med 12 meters höjd och 35 grader vinkel på tak. BYA: cirka $400 m^2$
- Lott nummer 3 med 19.5 meters höjd och 35 grader vinkel på tak. BYA: cirka $510 m^2$
- Lott nummer 4 är ospecificerad enligt detaljplan med ungefärlig höjd på 12 meter och takvinkel på cirka 35 grader. BYA: cirka $400 m^2$.

$$\text{BTA totalt: } \frac{18 * 460 + 12 * 400 + 19.5 * 510 + 12 * 400}{2,4} \approx 11594 m^2$$

Den rekommenderade minsta rumshöjd från Boverket är 2,4 meter². I beräkningarna ovan gjordes en förenkling där värdet för golvtjockleken bortsågs från.

7.3.3.3 Scenario 2

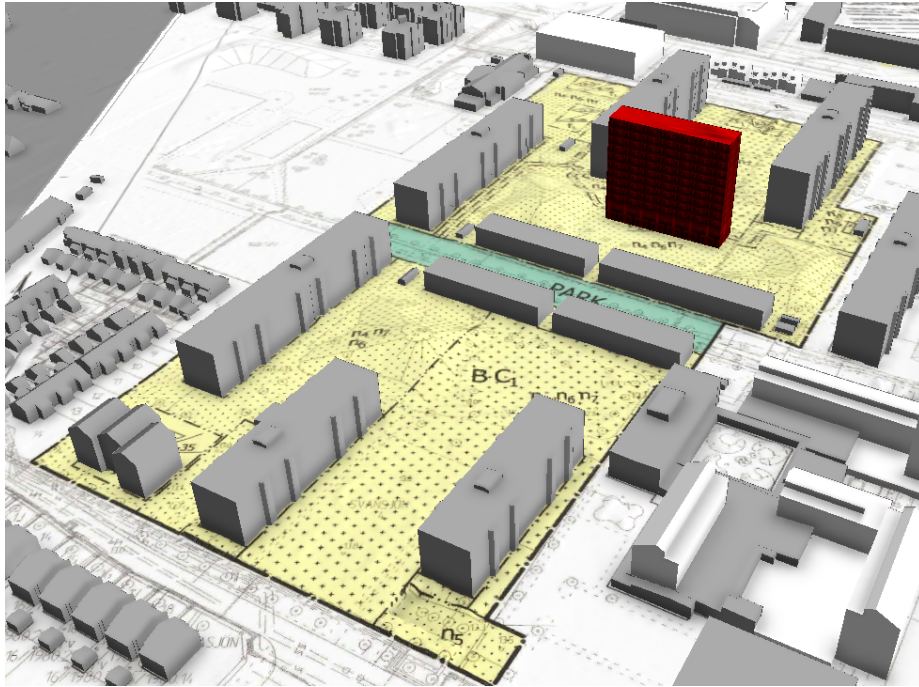
För detta scenario valdes det att frångå detaljplanen och utveckla ett scenario efter en annan byggnadstypologi. Istället för mindre flerfamiljshus föreslås ett större flerfamiljshus med platt tak och 19 stycken våningar. Husets utseende och takutformning valdes utifrån hur liknande bebyggelse i området ser ut. Den högsta bebyggelsen i Lorensborg är för närvarande 16 våningar hög och denna planerade byggnad på 19 våningar hade således blivit områdets nya högsta punkt. Huset i scenario 2 har ungefär samma boarea som de planerade husen i scenario 1. Följande beräkningar och antagande gjordes för scenario 2:

En byggnad med sidorna 12,5 och 50 meter har en BYA på $12,5 * 50 = 625 m^2$ och behöver cirka 19 våningar med rumshöjd på 2,4 meter för att nå upp i samma bruttoarea som de planerade byggnaderna i scenario 1 med $11594 m^2$.

Byggnaden placerades i detaljplanelagt område i en befintlig innergård, se figur 7.8. Placeringen valdes på grund av den stora öppna ytan och adekvat avstånd till redan befintlig bebyggelse. Då den planerade byggnaden i detta scenario är ganska hög, och således skuggar en stor del av innergården, placerades byggnaden med intentionen att skapa ett gatt mellan byggnaden och befintlig bebyggelse för att maximera ljusinsläpp till innergården. CGA-skriptet för scenario 2 redovisas i bilaga 3.

2

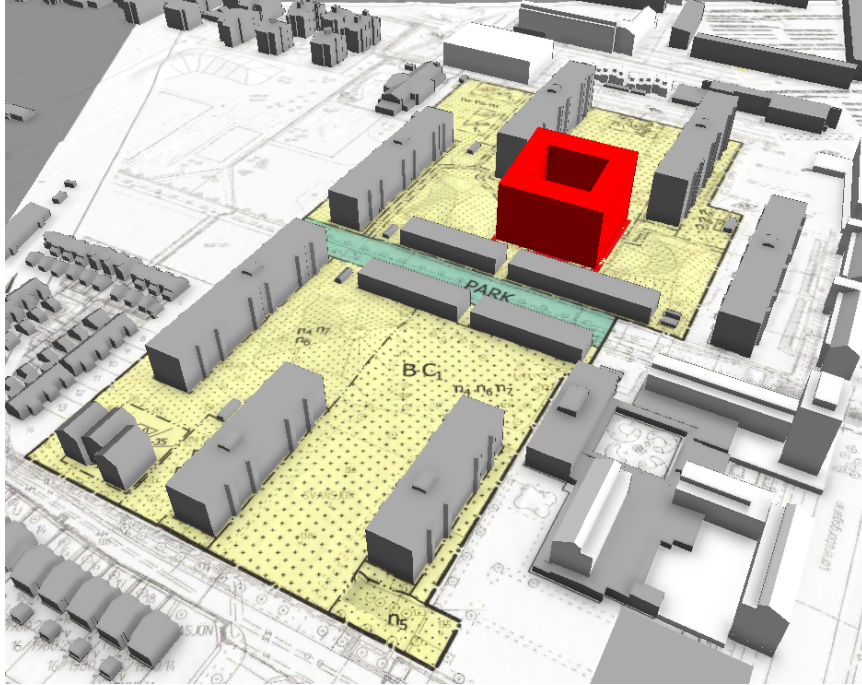
<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/rumshojd/#:~:text=Rumsh%C3%B6jd%20i%20bost%C3%A4der,och%20souterr%C3%A4ngv%C3%A5ningar%20samt%20i%20k%C3%A4llare.>



Figur 7.8. Scenario 2 i CityEngine. Den 19 våningar höga planerade byggnaden ses i mitten av bilden med röd fasadtextur.

7.3.3.4 Scenario 3

För Scenario 3 skapas ett scenario med ungefär samma bruttoarea som scenario 2. Scenariot utformades med en annan bostadstypologi jämfört med scenario 1 och 2. Den skapade modellen utformades med en sluten innergård och har 8 våningar exklusive takvåning. Fördelen med denna typologi är att bullernivån potentiellt blir lägre, men solljuset påverkas då risken är stor att en del av innergården skuggas. Våningshöjden anges till 2,4 meter enligt krav från Boverket. Modellen designades med en taklutning på 10 graders lutning. Nedan i figur 7.9 visualiseras scenario 3 tillsammans med befintliga data. CGA-skriptet för scenario 3 redovisas i bilaga 4.



Figur 7.9. Visualisering av scenario 3 i rött i CityEngine.

Det skapade scenariot hade en byggnadsarea på $1440,72 \text{ m}^2$. Detta resulterade i en potentiell bruttoarea på $11525,75 \text{ m}^2$ exklusive takvåning, se figur 7.10.

Report	N	%	Sum	%	Avg	Min	Max	NaNs
BTA	8	0.00	11525.75	0.00	1440.72	1440.72	1440.72	0

Figur 7.10. Bruttoarea för scenario 3.

7.3.4 Formatkonvertering i FME för inläsning av scenarier till 3DCityDB

För att läsa in och lagra de skapade scenarierna tillsammans med befintlig stadsmodell i 3DCityDB måste en export och formatkonvertering ske, då CityEngine saknar stöd för CityGML. De skapade scenarierna exporteras till Esri geodatabase (GDB). Därefter konverteras filen med hjälp av FME från GDB till CityGML med tillägg av 3CIM-ADE, se bilaga 5. Vid denna konvertering läggs specifika 3CIM attribut till, exempelvis status-attributet, som får ett värde utifrån vilket scenario objektet tillhör. Här sätts även objektets ID och dess LOD-nivå, i detta fall LOD-nivå 1.

När formatkonverteringen var utförd, lästes datan in och lagrades tillsammans med befintlig stadsmodell i 3DCityDB. Inläsningen skedde med hjälp av ett FME-skript som är framtaget i 3CIM-projektet och finns tillgängligt på FME Hub.³ I figur 7.11 nedan visas lagring av scenario 3, där status-attributet har satts till Scenario3.

	id [PK] bigint	buildingid character varying (1000)	buildingpartstatus character varying (1000)
1	14265	e86b91b1-ca6d-4e99-a356-cf476169559f	Scenario3

Figur 7.11. Scenario 3 i 3DCityDB visualiserat med pgAdmin.

7.3.5 Formatkonvertering i FME för solinstrålningsanalys av scenarier i UMEP

För att utföra solinstrålningsanalys i UMEP exporterades data från databasen i CityGML 2.0-format. QGIS-UMEP stödjer inte CityGML 2.0 och datan behövde därmed konverteras. UMEP kräver en ytmodell (*digital surface model*, DSM) av byggnader och terräng och en konvertering till detta format utfördes i FME, se bilaga 6.

7.3.6 Analys av solinstrålning i UMEP

7.3.6.1 Process för solinstrålningsanalys i UMEP

Analysen av de olika scenarierna krävde följande indata:

- Ytmodell över byggnader och terräng
- fasadraster (wall height raster)
- Riktningraster (wall aspect raster)
- meteorologiska data.

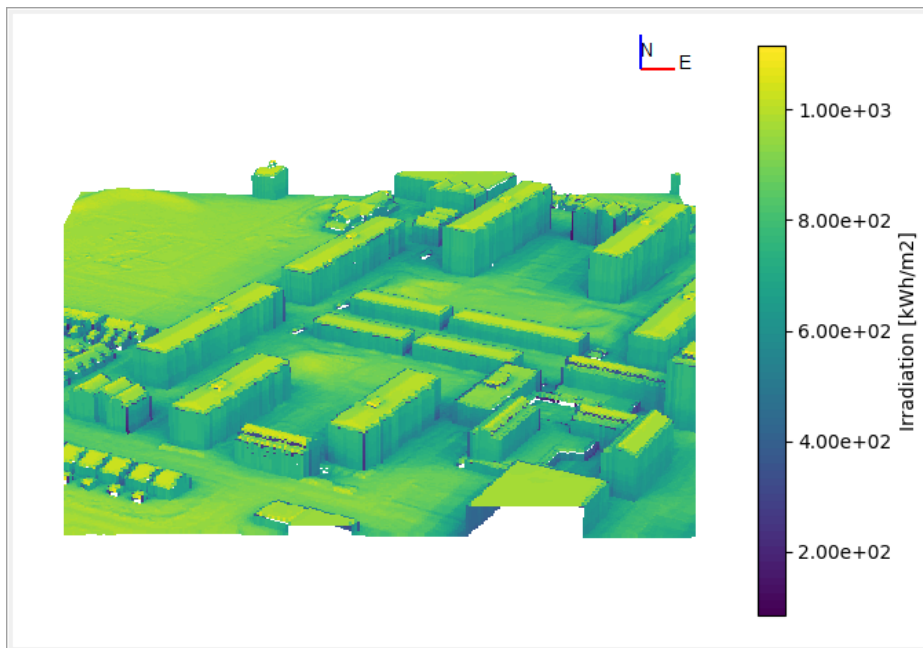
Wall height raster och wall aspect raster skapades med hjälp av QGIS-UMEP verktyget Urban Geometry: Wall height and Aspect. Verktöget identifierar vägg-pixlar och deras höjd utifrån den skapade DSM:en i steget ovan. Indata för den meteorologiska datan bestod av exempeldata från UMEPs handledning. Datan innehöll meteorologiska uppdateringar för varje timme över ett helt år.

³

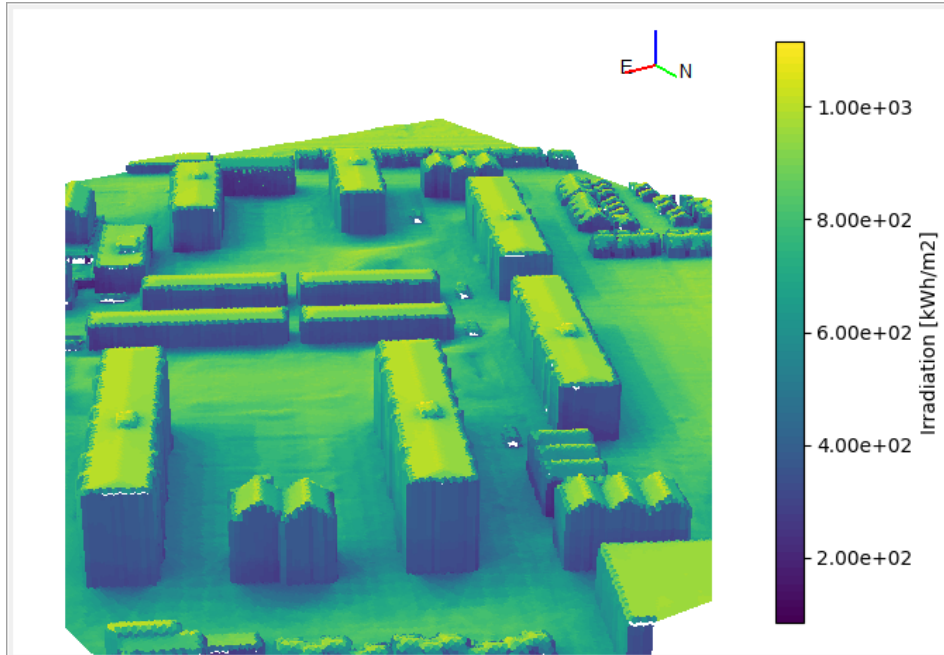
(<https://hub.safe.com/publishers/3cim/templates/fme-workspace-for-att-skriva-3cim-utokad-citygml-fil-till-3dcitydb>)

7.3.6.2 Analys av scenario 1

Nedan i figur 7.12 och 7.13 redovisas resultatet över solinstrålningsanalysen för scenario 1. Irradiansen är som störst för de öppna ytorna och hustaken med värde på över $1000 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år}$. Väggar och ytor riktade mot norr får väldigt låg irradians, med värden som uppgår till cirka $200 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år}$.



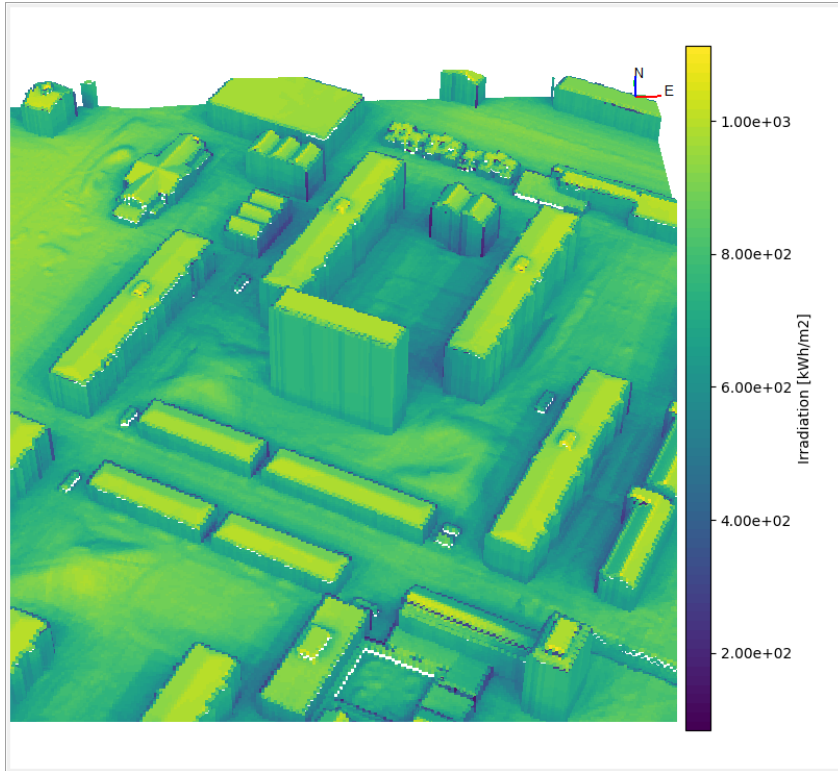
Figur 7.12. Analys av solinstrålning för scenario 1 (söderläge). Scenario 1 följer detaljplanen för området.



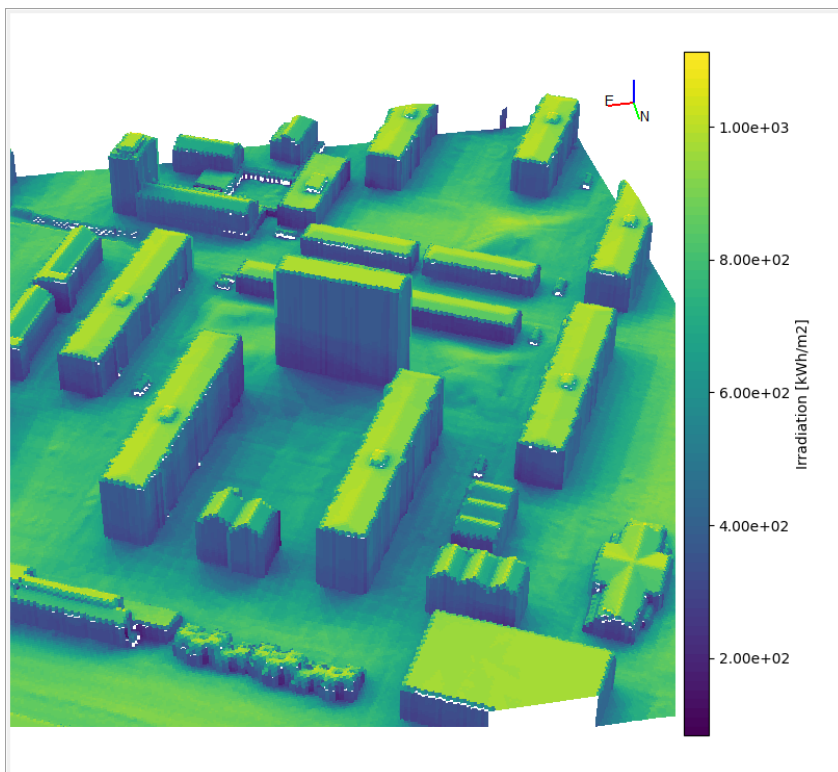
Figur 7.13. Analys av solinstrålning för scenario 1 (norrläge). Scenario 1 följer detaljplanen för området.

7.3.6.3 Analys av scenario 2

Irradiansen för scenario 2 redovisas nedan i figur 7.14 och 7.15. Figurerna visar att irradiansen är störst för taken i söderläge och uppskattas till cirka 1000 kWh/m^2 per år. Den planerade höga byggnaden i mitten för scenario 2 påverkar dock omkringliggande byggnader och resulterar i en ökad skuggning av innergården. Detta visualiseras i nedanstående figurer då irradiansen för dessa skuggade områden och generellt för ytor i norrläge, endast har en irradians på cirka 200 kWh/m^2 per år.



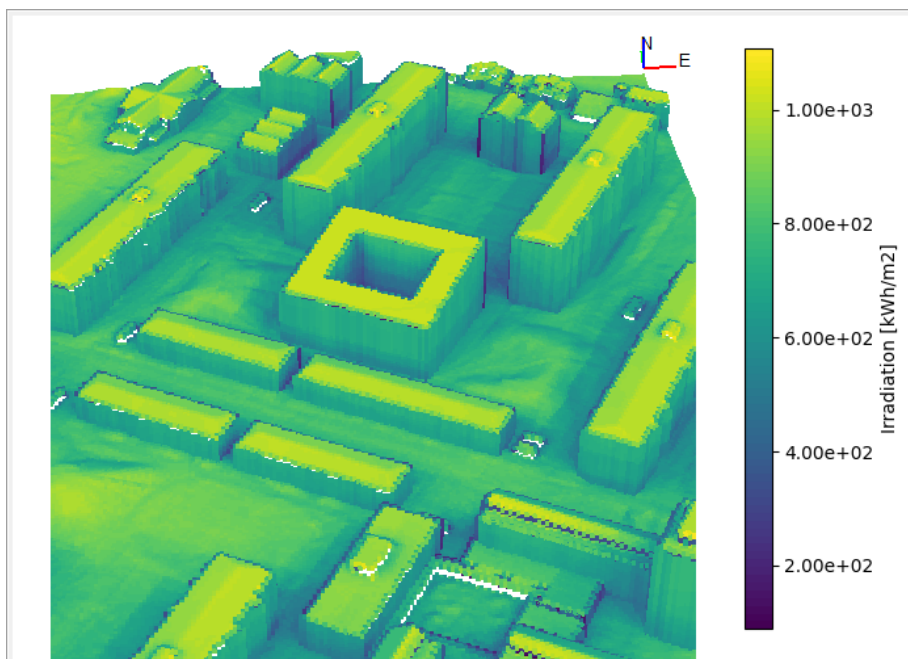
Figur 7.14. Analys av solintråning för scenario 2 (söderläge). Scenario 2 följer inte detaljplanen och har istället ett stort flerfamiljshus med liknande bruttoarea som de planerade byggnaderna från detaljplanen.



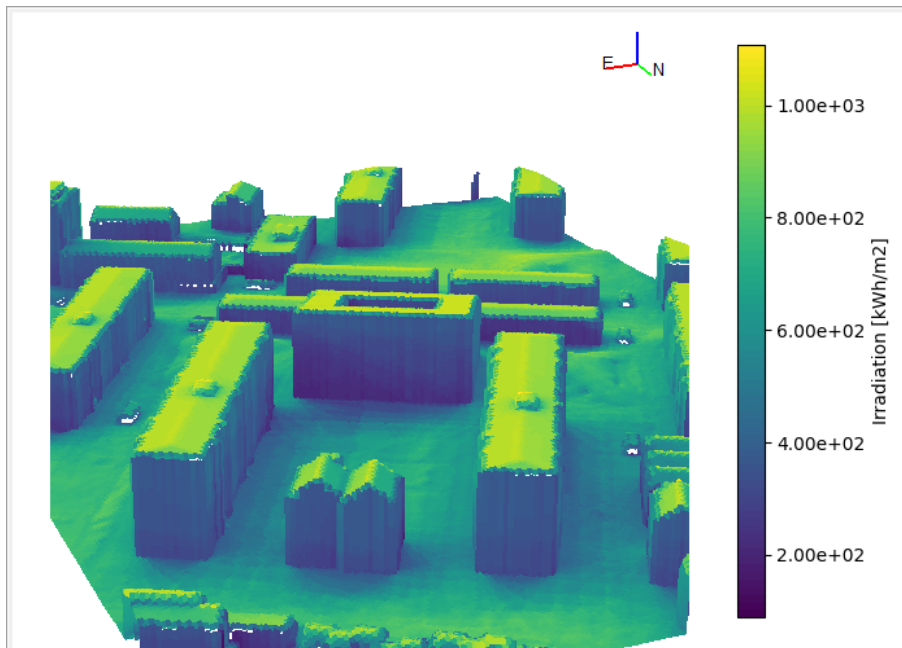
Figur 7.15. Analys av solinstrålning för scenario 2 (norrläge). Scenario 2 följer inte detaljplanen och har istället ett stort flerfamiljshus med liknande bruttoarea som de planerade byggnaderna från detaljplanen.

7.3.6.4 Analys av scenario 3

Irradiansen för scenario 3 redovisas nedan i figur 7.16 och 7.17. Som det går att urskilja ur figurerna blir irradiansen för det skapade scenariot över 1000 kWh/m^2 per år för taket. För scenariots innergård och byggnadens nordliga sida blir irradiansen relativt låg med värden nedåt 200 kWh/m^2 per år.



Figur 7.16. Analys av solinstrålning för scenario 3 (söderläge). Scenario 3 följer inte detaljplanen och har istället ett stort flerfamiljshus med sluttande tak i söderläge och har liknande bruttoarea som de planerade byggnaderna från detaljplanen.



Figur 7.17. Analys av solinstrålning för scenario 3 (norrläge). Scenario 3 följer inte detaljplanen och har istället ett stort flerfamiljshus med sluttande tak i söderläge och har liknande bruttoarea som de planerade byggnaderna från detaljplanen.

7.3.6.5 Jämförelse av scenarier

Analyserna av scenarierna visar att de nordliga sidorna av byggnaderna fick låg irradians. De befintliga byggnaderna påverkas negativt av de byggnader som skapas i scenario 2 och 3, då innergården för befintliga byggnader delvis skuggas. Bebyggelsen för scenario 1 är av lägre höjd jämfört med de andra skapade scenarierna och skuggar inte befintlig bebyggelse i samma utsträckning som scenario 2 och 3. Scenario 3 som har ett tiogradigt lutande snett tak mot söder har högre irradians jämfört med andra platta tak i söderläge.

Översiktligt för de tre scenarierna så varierar irradiansen mellan 200 kWh/m^2 och strax över 1000 kWh/m^2 . Den högsta irradiansen går att observera i scenario 3 där det lutande och icke skymda taket producerar värden på strax över 1000 kWh/m^2 . Detta bedöms vara ett ganska troligt och rimligt värde då andra källor, såsom Malmö stads verktyg “solkartan”, uppskattar liknande värden för området.

8 Diskussion

8.1 Processen att ta fram, lagra och analysera scenarier

Processen för scenariohantering innehåller en rad olika steg med flera konverteringar mellan olika format. Det första steget i processen innebar inläsning av data till 3DCityDB. Med 3DCityDB följer ett importering/exporteringsverktyg och pluginet ADE-manger som möjliggör hantering av ADE:er. I detta steg uppstod tekniska problem med befintliga data vilket gjorde att de 3CIM-specifika attributen inte följde med. 3DCityDB:s importeringsverktyg fungerar bra för att enbart importera CityGML-data.

I detta arbete krävdes en ADE från 3CIM-projektet för att förlänga dataformatet CityGML 2.0, i syfte att stötta fler funktioner, exempelvis versionshantering och koppling till olika verksamhetssystem. En ADE besitter en viss datastruktur, och skulle denna inte stämma överens med den data som ska förlängas, uppstår tekniska kompatibilitetsproblem. Dessa problem innebär att de 3CIM-specifika attributen faller bort. Detta bekymmer påverkade processen även i detta arbete och fick lösas genom FME-skript där attribut av intresse kopplades till datan manuellt. Således är det viktigt att datastrukturen i ADE:n stämmer överens med CityGML-datan, eller använda ett annat dataformat som stöttar fler av de funktioner som 3CIM vill åstadkomma, exempelvis CityGML 3.0.

För inläsning av data till CityEngine behöver data konverteras till ett annat format då CityEngine inte har stöd för CityGML. I detta arbete föll valet på att konvertera CityGML till shape-filer. Vid konvertering till shape-filer tillåts max tio tecken för attributnamn. Detta medför att viktig information faller bort och nya attributnamn måste ges för att behålla viktig information. Det mest optimala hade varit om CityEngine har stöd för CityGML eller om möjligheten finns att läsa direkt från 3DCityDB.

Vid skapande av scenarier i CityEngine finns det många olika möjligheter. CityEngine har en rad olika verktyg för att parametriskt designa nya byggnader och modeller. Genom att skapa CGA-skript är det möjligt att sätta upp regler som modeller kan genereras utefter. Det är även möjligt att sätta upp regler för ett område där modellerna som skapas inom detta område ska följa uppsatta regler. I ett CGA-skript kan rapporter ta fram för att få ut information om exempelvis modellernas potentiella BTA, BYA och hur stor andel de olika användningsområdena av en byggnad har. Med den information som rapporterna ger, har CityEngine verktyg för att ta fram diagram över informationen. I fallstudien användes en detaljplan som georefererades. En fördel hade varit om detaljplanen var maskinläsbar då dess attribut, såsom bestämmelser och tomter,

hade kunnat kopplats ihop med ett CGA-skript och därmed hade byggnader enkelt kunnat genereras.

CityEngine saknar stöd för att exportera modellerna i CityGML-format vilket medför att en formatkonvertering måste utföras. 3DCityDB:s importeringsverktyg har enbart möjlighet att hantera CityGML-data och inte data som är utvidgad med en ADE. För att importera scenarier användes därmed ett FME-skript som är framtaget i 3CIM-projektet. En fördel hade varit om verktyget stödjer ADE:er då det hade underlättat processen eller om CityEngine kan exportera direkt till 3DCityDB i rätt format.

I den utförda fallstudien används QGIS-UMEP för att analysera de skapade scenarierna. I detta steg krävdes en formatkonvertering. Möjligheten att utföra analyser på skapade scenarier är god, men att lagra resultatet från simuleringarna i stadsmodellen är en svårighet som kräver vidare utveckling. Generellt sett för hela processen är att stöd för CityGML saknas. För att CityGML som format ska vara mer användbart i en scenariohanteringsprocess, bör stödet för detta format i olika verktyg ökas. En frågeställning kring analys av solinstrålning är hur stora ytor som uppnår ett visst värde. Enheten för analysen är kilowattimmar per kvadratmeter, men från UMEP hade det istället varit intressant om det gick att ta fram data kring hur stora ytorna med god solinstrålning är. I dagsläget gick det endast att få fram detta okulärt.

Generativ design är en designmetod som kombinerar parametrisk design, simuleringar och optimeringar. Denna metod hade underlättat processen genom att analyser sker direkt på framtagna förslag. Ingen formatkonvertering krävs för att se vilket förslag som uppfyller ställda krav. Parametrisk design har dock fördelen att det är mer detaljstyrt medan generativ design fokuserar på helhetsperspektivet.

8.2 Struktur för lagring av geometri för byggnader

En byggnad kan delas upp i byggnadsdelar baserat på flera anledningar. Exempelvis så kan en uppdelning ske utifrån fysiska aspekter som till exempel höjd ovanför mark och antal våningar ovanför mark. En uppdelning kan även ske på grund av olika användningsområden eller på grund av tidsaspekten, exempelvis en del av en byggnad är från 1920 och en annan från 1950 (Eriksson et al., 2018). En svårighet är att olika programsystem och informationsmodeller hanterar byggnadsdelar och byggnader på olika vis. Inom t.ex. de tre geodata-specifikationerna CityGML, INSPIRE BU och Svensk geoprocess (SGP) (föregångaren till de nationella specifikationerna) är det möjligt att dela upp en byggnad i olika byggnadsdelar (Eriksson et al., 2018).

CityGML 2.0 tillåter lagring av geometrin på både byggnadsdel och byggnad. De nationella specifikationerna för byggnader (NS byggnad,) framtagna av Lantmäteriet, kräver att minst en del av en byggnad måste ha geometrin lagrad under byggnadsdel. NS är en semantiskt rik modell med många attribut jämfört med 3CIM. För 3CIM är det därmed rekommenderat att geometrin lagras under byggnadsdel för att underlätta konvertering mellan NS byggnad och 3CIM (Smartbuilt, 2023a). För 3CIM används inte attribut som takvinkel och taktyp. Vid skapandet av scenarier i CityEngine är det möjligt att modellera olika taktyper och takvinklar. Det hade därmed varit fördelaktigt om möjligheten fanns att lagra denna information i 3CIM.

Vid lagring av de skapade scenarierna i 3DCityDB lagras geometrin för objekten under *Building*. Detta medför bland annat att statusattributet inte blir synligt vid visualiseringar och det är således inte möjligt att urskilja vilka scenarier de olika byggnaderna tillhör. Utifrån de olika användningsområden som nämns ovan kan lagring av geometrin under byggnadsdel vara fördelaktigt.

8.3 Versionshantering

För att underlätta informationsflödet i samhällsplaneringsprocessen kan ett versionshanteringssystem användas. I Worboys (2005) diskuteras olika stadier av händelsebaserad versionshantering. Ett stadium är att visa ögonblicksbilder från olika tidpunkter för att visa hur en förändring över tid har skett. Ett mer avancerat sätt att hantera händelsebaserad utveckling är att fokusera på hur enskilda objekt ändrar sig över tiden där både händelser och handlingar kopplade till objektet hanteras. Chaturvedi et al. (2017) (jfr figur 5.2) visar ett exempel på hur scenarioutveckling kan se ut ur ett objektändringsperspektiv. För en scenariohanteringsprocess är det önskvärt att skapa olika versioner av ett scenario där det i sin tur är möjligt att utföra operationer såsom förgreningar och sammanslagningar.

CityGML 2.0 saknar stöd för versionshantering och i 3CIM har ett statusattribut tillkommit för byggnadsdelar, som visar om en byggnad är gällande eller planerad. I fallstudien vid skapande av scenarier lades ett värde till för statusattributet som visade vilket scenario byggnaden tillhörde. För 3CIM rekommenderas det att ett ytterligare attribut läggs till i form av ett versionsattribut som möjliggör ännu mer differentiering. Flera versionsattribut i kombination med statusattribut underlättar scenariohanteringen då det enklare går att manövrera flera parallella scenarion i databasen och befintliga och planerade byggnader kan samexistera i olika förgreningar. Detta hade i sin tur effektiviserat planeringsfasen för ett projekt eftersom okomplicerad manövrering

av alla skapade förslag möjliggör enkel analys av dessa. Analyser av exempelvis buller och dagsljus är essentiella för att säkerställa att bland annat boverkets krav uppfylls.

I CityGML 3.0 tillkommer versionshantering där objekt får attribut utefter vilken version av stadsmodellen de tillhör. Ur ett scenariorhanteringsperspektiv hade detta attribut underlättat för skapande och lagring av scenarier då det dels hade gjort det möjligt att titta tillbaka på olika scenarier som skapats. Det hade även tillåtit sammanslagning av olika versioner, och scenarier som skapas för att sedan realiseras i verkligheten kan lätt bli en del av befintlig stadsmodell. Därmed behöver en hel stadsmodell bara uppdateras och inte återskapas.

8.4 Potentialen med scenariorhantering

Scenariorhantering är ett kraftfullt digitaliseringsverktyg som, inom ramarna av samhällsbyggnadsprocessen, kan användas i en rad olika ändamål. Framförallt är det en viktig metod för att hantera osäkerhet och förutsäga framtida potentiella scenarier i en samhällsbyggnads- och samhällsplaneringskontext. Användning av scenariometoder möjliggör uppskattning och estimering av potentiella beslut och/eller lagstadgade krav. Detta är således en nyckelmetod för att granska och identifiera de viktigaste faktorerna i samhällsutvecklingen. Det är även ett möjligt beslutsunderlag som hjälper beslutsfattare att utveckla mer robusta och hållbara lösningar.

Enligt studien gjord av Kanters et al. (2021), vittnar en stadsplanerare om svårigheten att framgångsrikt väga alla intressen och hitta en balans mellan att bygga bra och att uppfylla ställda krav, tidigt i processen. Här har scenariorhantering en stor potential då det möjliggör tidiga analyser, till exempel analys av solinstrålning. Cederström et al. (2020) poängterar att det är viktigt att analyser utförs tidigt i processen för att uppfylla de krav som ställs, vilket skulle kunna gå att realisera med scenariorhantering liknande det vi gjort i fallstudien.

Byggnadsutformningar lägger grunden till hur olika scenarier kan se ut. Olika byggnadsutformningar påverkar viktiga faktorer såsom buller, dagsljus och solinstrålning. Till exempel så kan byggnader i ett slutet stadskvarter producera ett lägre bullervärde, men samtidigt ge negativa effekter för sol- och dagsljus. Detta är ett vanligt problem då många städer håller på att förtätas samtidigt som Boverket fortsätter att ställa höga krav. Därmed är det viktigt med analyser och effektiv scenariorhantering i ett tidigt skede för att säkerställa att exempelvis den mest optimala placeringen eller byggnadsutformningen för förtätningen väljs.

I framtiden kommer utökad stöd för fler dataformat innebära ökad integration mellan exempelvis databas och analysverktyg. Detta medför en effektivisering av planeringsprocessen då många olika versioner av ett scenario kan visualiseras, analyseras och jämföras. En effektivisering av detta slag skulle accelerera processen och möjligtvis korta ned tiden det tar från ritbord till första spadtaget. Ett exempel på detta är om fallstudiens analys av solinstrålning direkt kunde utföras i 3DCityDB och visualiseras för att få en överblick av resultatet. Ytterligare förbättring hade inneburit att denna typ av analys går att spara ned i databasen och kopplas till rätt scenario.

8.5 Parametrisk design

Parametrisk design är en metod som i en samhällsbyggnadskontext kan användas för att generera olika byggnadsförslag, och i förlängning stadsmodeller, utifrån angivna parametrar. Vid nybyggnation ställs det krav i detaljplanen för bland annat byggnaders utformning, byggnadshöjd och exploateringsgrad. Parametrisk design kan hantera och justera dessa parametrar enligt behov. Detta leder till ett enkelt skapande av olika scenarier. Användaren kan utvärdera dessa designförslag och uttrycka designelement av intresse som variabler.

CityEngine är ett verktyg baserat på arbetssättet parametrisk design och tillämpas för att skapa scenarier med byggnadsförslag. I denna fallstudie användes detta program för att skapa och visualisera tre skilda scenarier med olika byggnadsförslag. Ett CGA-skript per scenario skapades för att reglera och hantera utvalda parametrar. Dessa skript är en central del av hur parametrisk design fungerar och kan variera i svårighetsgrad. Ju fler parametrar som en byggnad utgörs av, desto mer kan användaren detaljstyra byggnadens utformning, till exempel genom att dra med musen på ett simpelt reglage som reglerar en viss aspekt av byggnaden.

Detta arbetssätt i kombination med CityEngine fungerar redan idag på ett tillfredsställande sätt och är ett kraftfullt verktyg med stor användning. Ett exempel på detta är bland annat bostadsprojektet i Beni-Suef, Egypten, som Badwi et al. (2022) undersökte. Detta bostadsprojekt planerades och genomfördes med hjälp av CityEngine och parametrisk design och innehöll 3D-modeller med förslag på 156 nya bostadshus fördelade över 28 hektar. Studien ansåg att bostadsprojektet var lyckat men att det var en utmaning med att uttrycka designelement i kod (CGA-skript) och betonade importansen av att utveckla LOD-nivåerna så objekt kan representeras verklighetstroget under noggrann granskning.

För denna fallstudie, som bedrevs på 3CIM-testdata från Lorensborg i Malmö, upplevdes en liknande situation som Badwi et al. (2022) beskrev. I sin helhet fungerar parametrisk design på ett kraftfullt och enkelt sätt, men i dess detaljerade användning i CityEngine hade det underlättat

med ett användargränssnitt som kan facilitera i alla fall de mest basala parametrarna automatiskt. Då ett gränssnitt saknas, måste utvalda parametrar kodas fram för varje byggnad. Skript kan naturligtvis återanvändas, men kräver ändå en del arbete för att det ska fungera. En annan önskvärd funktion hade varit att kunna få en statistisk överblick över en byggnads viktigaste fakta, exempelvis dess byggnadsarea.

8.6 Scenariohantering som en del av en digital planeringsprocess

Efter beslut av regeringen ska alla nya detaljplaner vara maskinläsbara och tillgängliga digitalt. I scenariohantering kan en detaljplan användas som underlag när scenarier skapas för att till exempel veta var en byggnad får placeras. I fallstudien används en georefererad detaljplan som underlag där ett scenario skapas utefter detaljplanen. En digital detaljplan underlättar digitalt arbete, så även för den utförda fallstudien i detta arbete. För vidare arbete med scenariohantering är en digital detaljplan att föredra och förslag på detta hade inneburit georefererade detaljplaner eller till och med 3D-detaljplaner med modeller uppbyggda av förslagsvis 3CIM-data.

Projektet 3CIM syftade till att ta fram en gemensam informationsmodell för stadsmodeller som kan användas av alla Sveriges kommuner. En standardiserad stadsmodell ökar effektiviteten i framtagandet av dessa modeller och leder till enhetlig utformning och underlättande av datautbyte. Fallstudien visade på att det finns en möjlighet att skapa scenarier och konvertera dessa till CityGML med utvidgning av 3CIM-ADE för att sedan lagras i en stadsmodell. Arbetssätt i fallstudien är ett exempel på hur 3CIM-standardisering fungerar och hur potentiell användning i en digital planeringsprocess skulle se ut.

Vid planering av ny bebyggelse och framtagande av nya detaljplaner är det viktigt att delge information om processen som medborgare och intressenter kan ta del av. Scenariohantering kan bli en del av den digitala planeringsprocessen genom scenarier som tas fram och läggs fram som förslag. Scenarier som lagras i en stadsmodell kan visualiseras och ge medborgarna möjligheten att ta del av förslagen. Detta kan i sin tur leda till en ökad medborgardialog där synpunkter på framlagda förslag kan framföras och tilliten till kommunen ökar.

Ett exempel på modern medborgardialog är fallstudien från Wien där medborgarna kunde ta del av olika scenarier med byggnadsförslag via en AR-applikation (Fink & Koenig, 2019). En slutsats av fallstudien är att användning av sådana digitala verktyg visar stor potential. För fallstudien i detta arbete kring Lorensborg rekommenderas en liknande lösning för att förbättra medborgardialogen. I dagsläget har det förekommit många klagomål från allmänheten i

Lorensborgsområdet att Malmö stad har informerat alldeles för dåligt och inte tagit hänsyn till det allmänna intresset (Malmö stad, 2022b).

9 Slutsatser

Nedan ses de frågeställningar som arbetet baseras på.

Kan den föreslagna processen (figur 1.1) användas för att stödja scenariohantering i samhällsplanering med parametrisk design?

Processen för scenariohantering med hjälp av parametrisk design består av en rad olika steg (figur 7.3, avsnitt 7.3). Första steget i processen bestod av inläsning av data till 3DCityDB. Därefter exporteras och formatkonverteras data i FME för inläsning till CityEngine. I CityEngine skapas scenarier av intresse med hjälp av parametrisk design. Dessa exporteras sedan och formatkonverteras i FME för att återinföras till 3DCityDB. När scenariot är infört i 3DCityDB är det möjligt att utföra analyser och då krävs ytterligare formatkonverteringar då stöd för CityGML saknas.

Ovanstående arbetssätt har implementerats och utvärderats i detta arbete och slutsatsen landar i att det i dagsläget krävs för många konverteringar mellan olika format. Arbetsprocessen är inte särskilt användarvänlig och i många fall uppstår bekymmer med databortfall på grund av alla konverteringar. Önskvärt för processen är att fler dataformat stöds, förslagsvis CityGML.

Vilka tekniska krav ställs för parametrisk design och scenariohantering i stadsplanering?

För parametrisk design och scenariohantering i stadsplanering ställs en del krav för att möjliggöra effektiv användning. Följande tekniska krav ställs:

- ökat stöd för vanliga format för att undvika konverteringar, såsom CityGML
- ökat stöd för lagring av scenarier
- ökat stöd för parametrisk design
- ha ett enkelt användargränssnitt
- hantera geodata korrekt, till exempel koordinatsystem så som SWEREF 99 13 30.

Identifiera några verktyg som uppfyller dessa krav?

I detta arbete identifierades följande verktyg:

- CityEngine
- Grasshopper
- Spacemaker

I arbetet användes CityEngine då programmet uppfyller ställda krav från avsnitt 6.1.

Hur sker datautbyte i en stadsmodell mellan en geodatabas och valt verktyg för parametrisk design?

Datautbyte mellan geodatabas och valt verktyg för parametrisk design, i detta fall CityEngine sker genom formatkonvertering i FME, då stöd för CityGML saknas i CityEngine. 3DCityDB stödjer inte data utökat med 3CIM utan inläsning av en ADE, och ett FME-skript krävs för att importera denna typ av data. Om stödet för fler format ökar kommer det innebära att färre konverteringar krävs, vilket är önskvärt.

Vad krävs för att lagra scenarier i en geodatabas?

För att lagra scenarier i en geodatabas har detta arbete identifierat en del områden som underlättar denna process:

- hantering, lagring och stöd av CityGML-formatet och XSD-tillägg (för lagring av ADEn)
- smidig import/export av CityGML-data
- tydlig versionshantering, specifikt vid många versioner av ett scenario.

Hur kan scenarierna i geodatabasen utnyttjas för en analys av solinstrålning?

Scenarierna kan exporteras från databasen för användning i syfte av analys av solinstrålning. För att denna analys ska vara genomförbar krävs det att en formatkonvertering sker. I detta arbete användes QGIS UMEP och detta krävde en rad konverteringar för att få fram de nödvändiga indata-parametrarna som krävs för en sådan analys. För att processen ska bli smidigare dras slutsatsen att analyser integrerade i databasen är önskvärt där resultatet av analysen kan lagras och visualiseras.

Referenser

- Badwi, I. M., Ellaithy, H. M., & Youssef, H. E. (2022). 3D-GIS Parametric Modelling for Virtual Urban Simulation Using CityEngine. *Annals of GIS*, 28(3), 325–341.
<https://doi.org/10.1080/19475683.2022.2037019>
- Biljecki, F., Kumar, K., & Nagel, C. (2018). CityGML Application Domain Extension (ADE): overview of developments. *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 3(1).
<https://doi.org/10.1186/s40965-018-0055-6>
- Boverket. (n.d.). *Digitalisering av planeringsprocessen*.
<https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/digitalisering/digitalisering-av-planeringsprocessen/>
- Boverket. (2016). *Rätt tätt - en idéskrift om omförtätning av städer och orter*.
<https://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/publikationer/2016/ratt-tatt/>
- Boverket. (2020a). *Dagsljus*.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/ljussolljus/dagsljus/>
- Boverket. (2020b). *Solljus*.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/ljussolljus/solljus/>
- Boverket. (2021a). *Begränsning av markens utnyttjande*.
https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/planbestammelser/egenskapsbestammelser/_begransning/
- Boverket. (2021b). *Olika skeden i byggander*.
https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/ekosystemtjanster/metod_byggande/skeden/
- Boverket. (2021c). *Så planeras Sverige*.
<https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/sa-planeras-sverige/>

Boverket. (2021d). *Utnyttjandegrad*.

https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/planbestammelser/egenskapsbestammelser/_utnyttjandegrad/

Boverket. (2022a). *Det ska finnas plats för livet i en tät stad!*.

<https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/stadsutveckling/fortatning-av-stader/>

Boverket. (2022b). *Detaljeringsgrad och omfattning*.

<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/planbestammelser/att-reglera-med-planbestammelser/detaljeringsgrad/>

Boverket. (2023). *Digitalisering av befintlig detaljplaneinformation*.

<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/digitalisering/#:~:text=Relaterad%20information-,Digitalt%20tillg%C3%A4nglig%20och%20enhetlig%20information,2020%3A5>

Cederström, C., Hellekant Nilsson, M., Marlevi, L., & Stenman Norlander, Å. (2020). *Att hantera buller, dagsljus och energi i stadsplanering och arkitektur – en handbok*.

<https://whitearkitekter.com/se/wp-content/uploads/sites/3/2020/06/Buller-Dagsljus-Energi-low.pdf>

Chaturvedi, K., Smyth, C. S., Gesquière, G., Kutzner, T., & Kolbe, T. H. (2017). Managing Versions and History Within Semantic 3D City Models for the Next Generation of CityGML. *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*, 191–206.

https://doi.org/10.1007/978-3-319-25691-7_11

Eriksson, H., Harrie, L., & Paasch, J. M. (2018). WHAT IS THE NEED FOR BUILDING PARTS? – A COMPARISON OF CITYGML, INSPIRE BUILDING AND A SWEDISH BUILDING STANDARD. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*.

<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-4-w10-27-2018>

Eriksson, H., & Harrie, L. (2021). Versioning of 3D City Models for Municipality Applications: Needs, Obstacles and Recommendations. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(2), 55. <https://doi.org/10.3390/ijgi10020055>

- Eriksson, H., Sun, J., Tarandi, V., & Harrie, L. (2021). Comparison of versioning methods to improve the information flow in the planning and building processes. *Transactions in Gis*, 25(1), 134–163. <https://doi.org/10.1111/tgis.12672>
- ESRI. (n.d.). *ArcGIS CityEngine*
<https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-cityengine/overview>
- Europa Comission. (n.d.). *About INSPIRE*.
<https://inspire.ec.europa.eu/about-inspire/563>
- Fink, T., & Koenig, R. (2019). Integrated Parametric Urban Design in Grasshopper / Rhinoceros 3D Demonstrated on a Master Plan in Vienna. In *Blucher Design Proceedings*.
https://doi.org/10.5151/proceedings-ecaadesigradi2019_398
- Gröger, G., & Plümer, L. (2012). CityGML – Interoperable semantic 3D city models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 71, 12–33.
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.04.004>
- Julin, A., Jaalama, K., White, J. C., Pouke, M., Ylipulli, J., Vaaja, M., Hyyppä, J., & Hyyppä, H. (2018). Characterizing 3D City Modeling Projects: Towards a Harmonized Interoperable System. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(2), 55.
<https://doi.org/10.3390/ijgi7020055>
- Kanters, J., Gentile, N., & Bernardo, R. (2021). Planning for solar access in Sweden: routines, metrics, and tools. *Urban, Planning and Transport Research*, 9(1), 347–367.
<https://doi.org/10.1080/21650020.2021.1944293>
- Kolbe, T. H., & Donaubauer, A. (2021). Semantic 3D City Modeling and BIM. *The Urban Book Series*, 609–636. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8983-6_34
- Kutzner, T., Chaturvedi, K., & Kolbe, T. H. (2020). CityGML 3.0: New Functions Open Up New Applications. *Pfg – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 88(1), 43–61. <https://doi.org/10.1007/s41064-020-00095-z>

Lantmäteriet. (n.d.a). *Detaljplan*.

<https://www.lantmateriet.se/sv/nationella-geodataplattformen/datamangder/befintliga-och-paborjade-datamangder/detaljplan/>

Lantmäteriet. (n.d.b). *Exempel på nyttan med öppna data*.

<https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/vara-produkter/oppna-data/exempel-pa-nyttan-med-oppna-data/>

Lantmäteriet. (n.d.c). *Frågor och svar om EU-kommissionens beslut om Öppna data-direktivet*.

<https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/vara-produkter/oppna-data/fragor-och-svar-om-eu-kommissionens-beslut-om-oppna-data-direktivet/#faq=bd72>

Lantmäteriet. (n.d.d). *Smartare samhällsbyggnadsprocess*.

<https://www.lantmateriet.se/sv/smartare-samhallsbyggnadsprocess/>

Lantmäteriet. (2023). *Min karta*.

<https://minkarta.lantmateriet.se/>

Lindberg, F., Grimmond, C. S. B., Gabey, A., Huang, B. Q., Kent, C. W., Sun, T., Theeuwes, N., Jrv, L., Ward, H., Capel-Timms, I., Chang, Y., Jonsson, P. R., Krave, N., Liu, D., Meyer, D., Olofson, K. F. G., Tan, J., Wstberg, D., Xue, L., & Zhang, Z. (2018). Urban Multi-scale Environmental Predictor (UMEP): An integrated tool for city-based climate services. *Environmental Modelling and Software*, 99, 70–87.

<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.09.020>

Lindberg F, Grimmond CSB, A Gabey, L Jarvi, CW Kent, N Krave, T Sun, N Wallenberg, HC Ward. (2019). *Urban Multi-scale Environmental Predictor (UMEP) Manual*. University of Reading UK, University of Gothenburg Sweden, SIMS China.

<https://umep-docs.readthedocs.io/>

Malmö Stad. (2018). *DP5539 - Plan del 1*.

https://kartor.malmo.se/Planvisaren?plan=DP5539_1.pdf

Malmö Stad. (2022a). Planprogram 6050 Lorensborg och Bellevuegården.

Malmö stad. (2022b). Pp 6050 Samrådsredogörelse.

Morel, M., & Gesquière, G. (2014). Managing Temporal Change of Cities with CityGML. *HAL (Le Centre Pour La Communication Scientifique Directe)*.
<https://doi.org/10.2312/udmv.20141076>

Naturvårdsverket. (n.d.). *God bebyggd miljö - Sveriges miljömål*.
<https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/god-bebyggd-miljo/>

OGC. (2012). *OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard 2012*.

OGC. (2023, 2 mars). *CityGML*.
<https://www.ogc.org/standard/citygml/>

Parish, Y. I. H., & Müller, P. (2001). *Procedural modeling of cities*.
<https://doi.org/10.1145/383259.383292>

Pfeiffer, M., Carré, C., Delfosse, V., Hallot, P., & Billen, R. (2013). VIRTUAL LEODIUM: FROM AN HISTORICAL 3D CITY SCALE MODEL TO AN ARCHAEOLOGICAL INFORMATION SYSTEM. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, II-5/W1*, 241–246.
<https://doi.org/10.5194/isprsannals-ii-5-w1-241-2013>

Rhino3d. (2009). *house2_2*.
https://www.rhino3dhelp.com/wp-content/uploads/2009/10/house2_2.jpg

Riksbanken. (2020). *Så betalar svenskarna*.
<https://www.riksbank.se/sv/betalningar--kontanter/sa-betalar-svenskarna/sa-betalar-svenskarna-2020/1.-betalningsmarknaden-digitaliseras/kontanterna-tappar-mark/>

Robert McNeel & Associates. (n.d.). *Rhino in Architecture, Engineering, and Construction*.
www.rhino3d.com. <https://www.rhino3d.com/for/architecture/>

Safe Software Inc. (n.d.a). *About Safe Software*.
<https://www.safe.com/about/>

- Safe Software Inc. (n.d.b). *Technology, Industry, and Data Type Data Integration Solutions*.
<https://www.safe.com/solutions/#key-capabilities>
- Smart Built Environment. (2023a). *3CIM mätanvisningar Tema Byggnad*
- Smart Built Environment. (2023b). *3CIM Slutrapport*
- Spacemaker Software. (n.d.a). *Early-stage planning. Reimagined*.
<https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/products/spacemaker/pdf/fy23-spacemaker-flyer-architect-en.pdf>
- Spacemaker Software. (n.d.b). *What is Spacemaker?*
<https://www.autodesk.com/products/spacemaker/overview>
- Steinø, N., & Obeling, E. (2014). Developing a Parametric Urban Design Tool: Some Structural Challenges and Possible Ways to Overcome Them. *Architecturae et Artibus*, 6(1), 51-57.
<http://www.wa.pb.edu.pl/Numer--19--1-2014.html>
- Ugglå, M., Olsson, P., Abdi, B., Axelsson, B., Calvert, M., Christensen, U., Gardevärn, D., Hirsch, G., Jeansson, E., Kadric, Z., Lord, J., Loreman, A., Persson, A., Setterby, O., Sjöberger, M., Stewart, P., Rudenå, A., Ahlström, A., Bauner, M., . . . Harrie, L. (2023). Future Swedish 3D City Models—Specifications, Test Data, and Evaluation. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(2), 47.
<https://doi.org/10.3390/ijgi12020047>
- UNDP. (2022, October 18). *Mål 11: Hållbara städer och samhällen - Globala målen*.
<https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/mal-11-hallbara-stader-och-samhallen/>
- Tarandi, V. (2015). A BIM Collaboration Lab for Improved through Life Support. *Procedia Economics and Finance*, 21, 383–390. [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(15\)00190-2](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(15)00190-2)
- Van Den Brink, L., Stoter, J., & Zlatanova, S. (2012). MODELING AN APPLICATION DOMAIN EXTENSION OF CITYGML IN UML. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-4/C26, 11–14. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xxxviii-4-c26-11-2012>

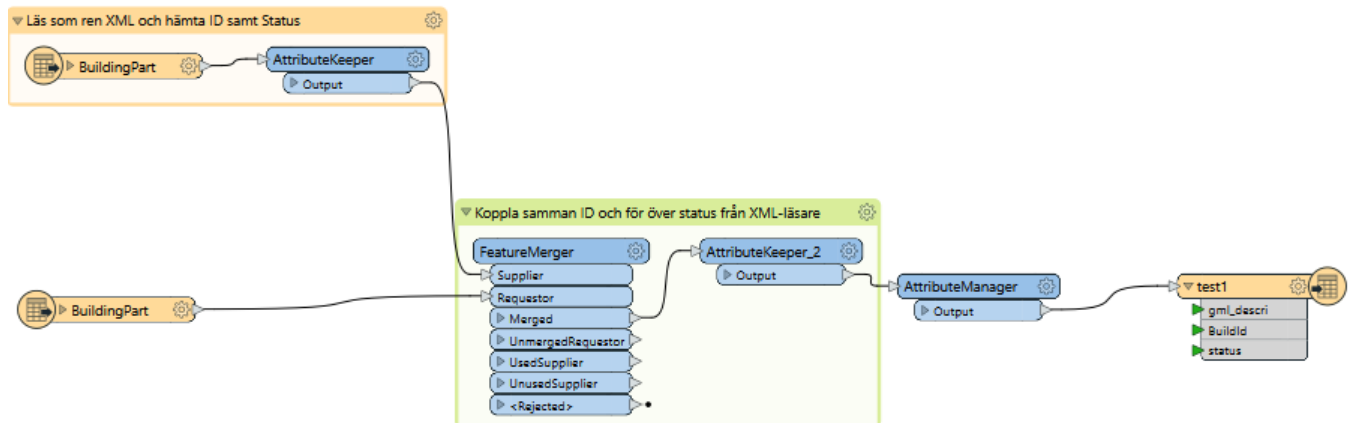
Varela, E. N., Öhrling, K., & Moscati, A. (2022). Analysis of the Challenges in the Swedish Urban Planning Process: A Case Study about Digitalization. *Sustainability*, 14(24), 16333. <https://doi.org/10.3390/su142416333>

Worboys, M. (2005). Event-oriented approaches to geographic phenomena. *International Journal of Geographical Information Science*, 19(1), 1–28. <https://doi.org/10.1080/13658810412331280167>

Yao, Z., Nagel, C., Kunde, F., Hudra, G., Willkomm, P., Donaubaauer, A., Adolphi, T., & Kolbe, T. H. (2018). 3DCityDB - a 3D geodatabase solution for the management, analysis, and visualization of semantic 3D city models based on CityGML. *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s40965-018-0046-7>

Bilaga 1

FME-skript över formatkonvertering från CityGML till shapefiler för inläsning till CityEngine. BuildingPart läses in som både XML och CityGML. Status-attributet förs över från XML-läsaren. Namnen för attributen ändras då shapefiler endast tillåter namn med tio tecken.



Bilaga 2

Nedan redovisas CGA-skriptet för scenario 1 i avsnitt 7.3.3.2. Skriptet beskriver vad för färg byggnaderna i scenario 1 ska få utefter värde på statusattribut. Planerade byggnader tilldelas färgen vit och gällande byggnader färgen grå.

```
version "2022.0"

attr status = "status"

@StartRule
Lot -->
    color("#FFFF00")
    setColor

setColor -->
    case status == "Planerad" : color("#ffffff")
    case status == "Gällande" : color("#9c9c9c")
    else : color("#9c9c9c")
```

Bilaga 3

Nedan visas CGA-skriptet för scenario 2 i avsnitt 7.3.3.3. Skriptet innehåller regler i form av olika parametrar såsom höjd och antalet våningar. Detta för att kunna ta fram olika byggnadsförslag. CGA-skriptet hanterar även texturer för framtagna objekt.

```

version "2022.0"
import Building_Mass_texturizer:"/ESRI.lib/rules/Buildings/Building_Mass_Texturizer.cga"
@Handle(shape=Mass)
@Range(0,height)
attr height = 10
@Range(0,angle)
attr angle = 0

attr floor_height = 2.5

@StartRule
Lot1 -->
    extrude(height) Mass

@StartRule
Lot2 -->

    extrude(height) Mass

Mass -->
    Building_Mass_texturizer.Generate
    split(y) { ~floor_height : Floor }*

    comp(f) {top : Top | bottom : Reporting | side : Wall
    }

Wall -->
    Building_Mass_texturizer.Generate

Reporting -->
    report("FloorArea", geometry.area)

```

Bilaga 4

Nedan visas CGA-skriptet som används för att skapa scenario 3 i avsnitt 7.3.3.4. Skriptet innehåller regler i form av olika parametrar såsom höjd och antalet våningar. Detta för att kunna ta fram olika byggnadsförslag. CGA-skriptet innehåller även regler för att få fram potentiell bruttoarea för skapat scenario.

```

version "2022.0"

@Range(min=0, max=30)
attr height = 19.2

attr frontWidth = 10
attr rightWidth = 10
attr backWidth = 10
attr leftWidth = 10
attr frontDepth = 10
attr off = -2
attr floorHeight = 3
attr nbrFloors = 1
@Hidden
attr plotArea = 0

@StartRule
shape0 -->
  offset(off,inside)
  shape0(frontWidth,rightWidth,backWidth,leftWidth)
  { shape : Footprint | remainder : NIL }

@StartRule
shapeU -->
  offset(off,inside)
  shapeU(frontDepth,rightWidth,leftWidth)
  { shape : Footprint | remainder : NIL }

@StartRule
shapeL -->
  offset(off,inside)
  shapeL(frontDepth, leftWidth)
  { shape : Footprint | remainder : NIL }

Footprint -->
  extrude(height) Mass

Mass -->
  split(y) {~floorHeight : Floor}*
  comp(f) {top: Top
  | all : X }

Floor --> comp(f){ bottom: reverseNormals FloorBottom }

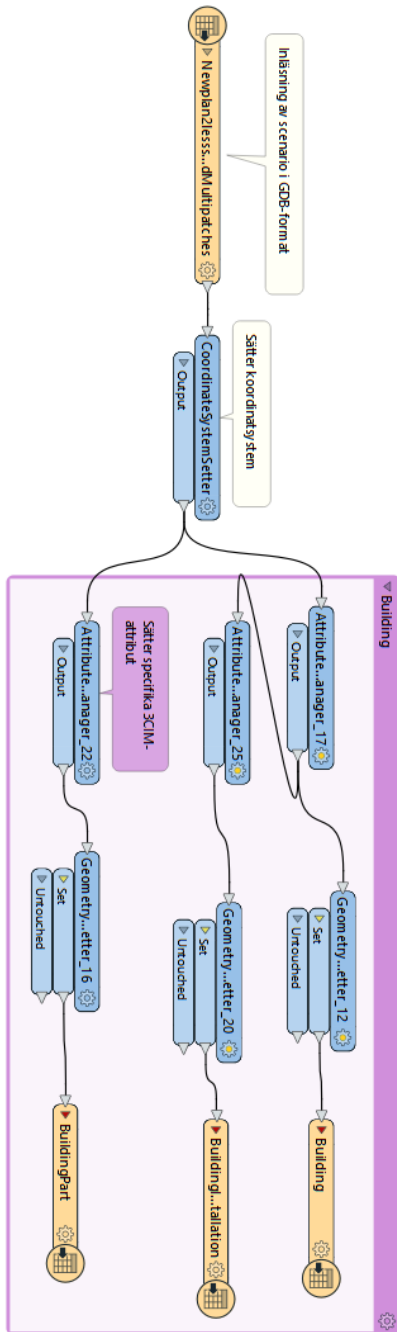
FloorBottom -->
  report("BTA",geometry.area)
  report("FAR",geometry.area/plotArea)

Top -->
  roofShed(-10)

```

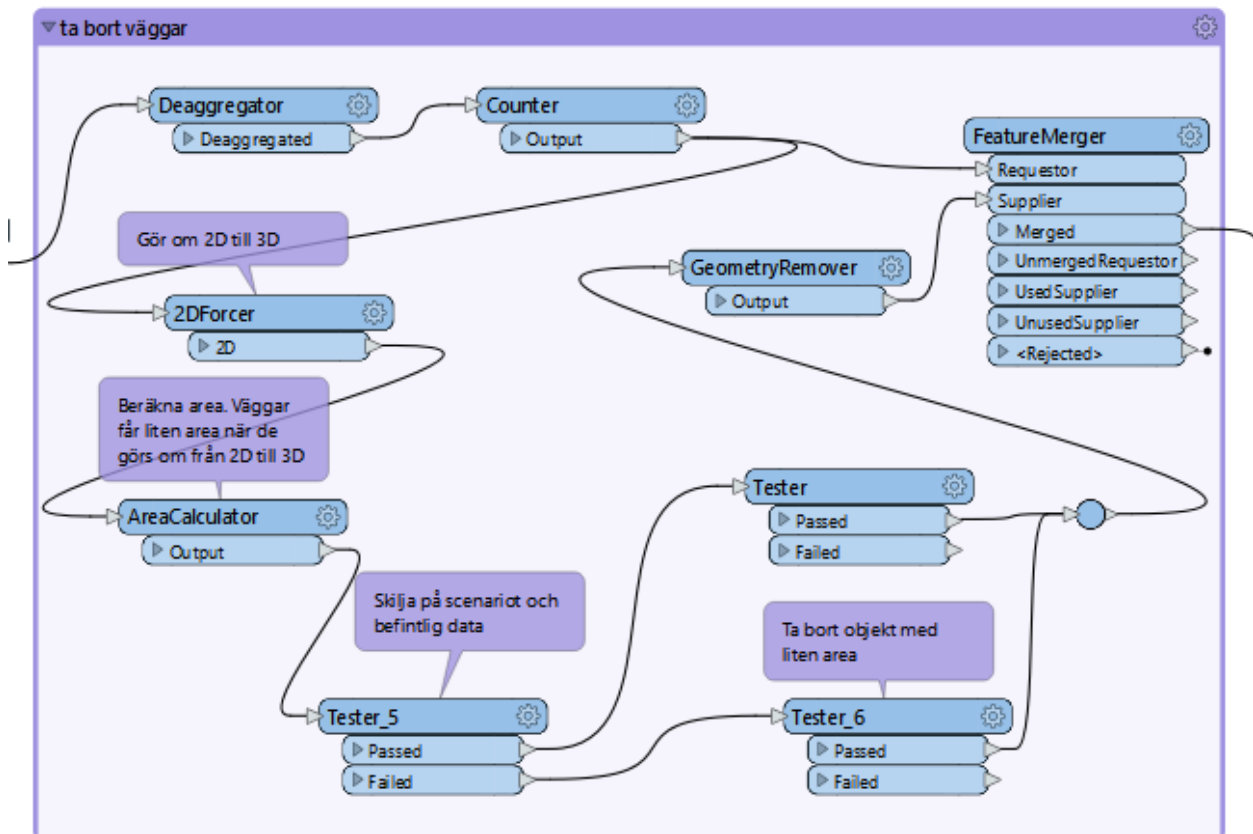
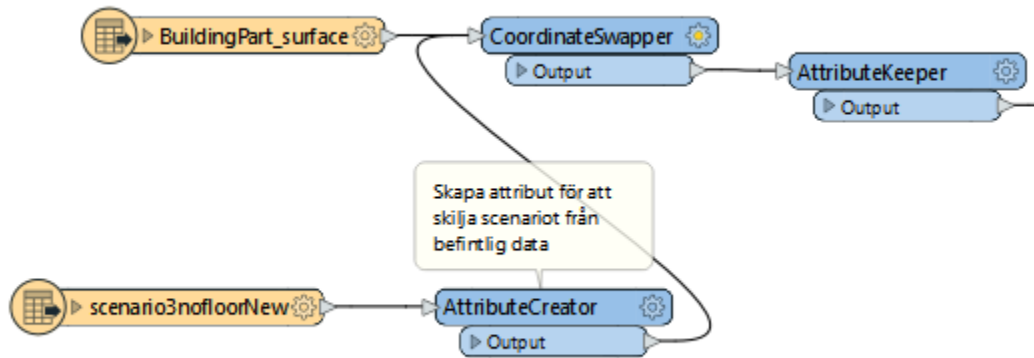
Bilaga 5

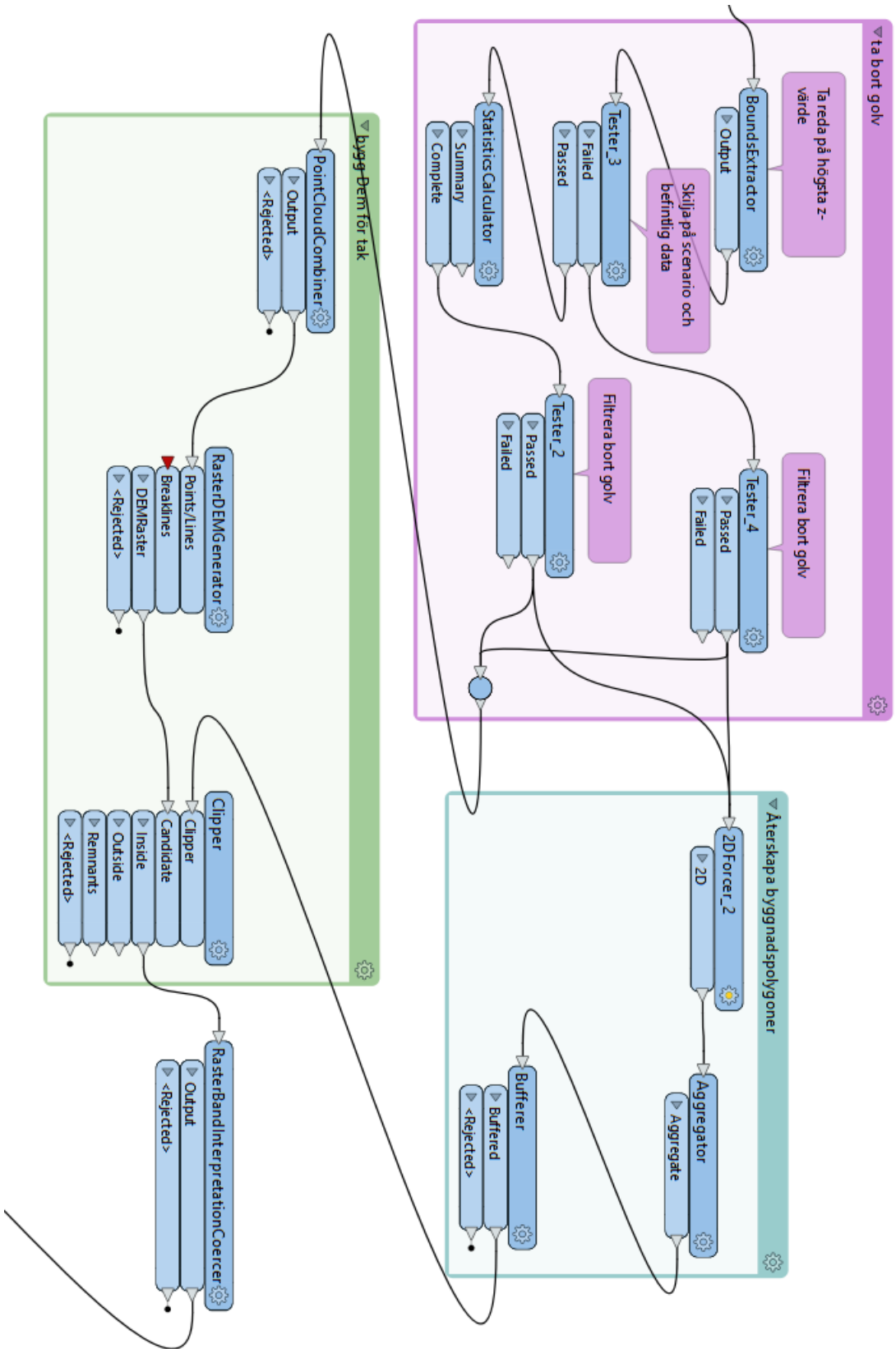
Nedan redovisas FME-skript över formatkonvertering från ESRI Geodatabase till CityGML med tillägg av 3CIM ADE. I detta skript väljs först ett koordinatsystem, i detta fall Sweref 99 13 30. Sedan sätts de specifika 3CIM-attributen såsom status-attributet som tilldelas ett värde utefter vilket scenario det tillhör. Slutligen konverteras det till CityGML 2.0 med tillägg av 3CIM-ADE.

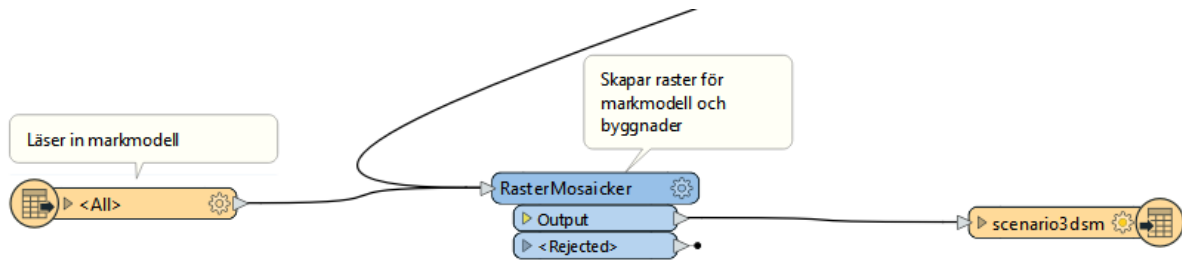


Bilaga 6

Nedan redovisas figurer över ett FME-skript för att konvertera markmodell och byggnader till en gemensam ytmodell (DSM). Skriptet filtrerar bort golv och väggar från byggnader så att endast taket blir kvar. Detta kombineras sedan med markmodellen för att skapa ett gemensamt raster.







Institutionen av naturgeografi och ekosystemvetenskap, Lunds Universitet

Student-examensarbete (seminarieuppsatser) i geografisk informationsteknik.

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

Serie examensarbete i geografisk informationsteknik

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

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

35. Sophia Bladh & Ylva Kjellberg (2023) Enhetlig visualisering av geotekniska data och geokonstruktioner - En intervju- och implementeringsstudie
36. David Andersson & Beatrice Ekström (2023) Scenariohantering med parametrisk design i planeringsprocessen