

Examensarbete i geografisk informationsteknik nr 31

Simuleringar i planeringsprocessen med 3D-stadsmodeller

Emelie Ulin

Civilingenjörsutbildningen i Lantmäteri
Lunds Tekniska Högskola

Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap
Lunds Universitet





LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Simuleringar i planeringsprocessen med 3D-stadsmodeller

EXTM05 Master uppsats, 30 hp
Civilingenjörsutbildningen i Lantmäteri

Emelie Ulin

Handledare:
Lars Harrie & Karolina Pantazatou
Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap

September 20, 2021

Opponent: Christoffer Karlsson, L-programmet, LTH
Examinator: Andreas Persson, Institutionen för Naturgeografi och
Ekosystemvetenskaper, Lunds Universitet

Copyright © Emelie Ulin, 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 31
Tryckt av E-tryck, E-huset, 2021

Abstract

In Sweden, the urban planning process plays an important part of developing sustainable cities. Therefore, it is regulated by multiple requirements to ensure that nothing is built in areas where people may be negatively affected. The requirements are controlled at different stages in the process and there are recommended methods and guidelines on how to control them. Even if the requirements are controlled at different stages, multiple analyses have to be made in the early stages of the planning process. The reason is that a decision in an early stage can make it difficult to meet the requirements later. A small mistake can cause huge expenses. Today there are multiple simulation tools to control these requirements but many of them are quite advanced and the calculations can take a long time.

To be able to do many of these simulations, you need geographic data since existing conditions can influence what can be built. Tall buildings cause shadows and make it difficult to meet the daylight conditions, while big roads cause noise pollution which can be reduced by surrounding vegetation. To be able to use the data in simulation tools there are benefits if they are harmonized, so less time is spent on handling the data and more on the analyses and planning. One way to save geographic data is in the form of a 3D city model that can accurately represent urban physical environment. In addition, it has to be decided what data the 3D city model should store, in what level of detail and quality.

The purpose of this master's thesis was to study what a 3D city model should include to support the urban planning process and all simulations that are made. The thesis contains a description of the Swedish urban planning process, what requirements have to be taken into account and how the requirements are controlled. 3D city models are also explained with a few examples on how other countries have implemented them. A vision is presented showcasing how the relationship between 3D city models, urban planning process and simulation tools should be.

A case study was performed that investigates a small area in Malmö with the help of the simulation tool Spacemaker. Spacemaker creates building models that are then used for simulations that are made in the urban planning process. The geographic data used are from the 3D city model 3CIM which is under development as a part of a collaboration project between the three biggest cities of Sweden and Lund University. One of the suggested building models is chosen for export and then visualized with the 3CIM model.

The result of the study showed that it is possible to use a 3D city model for simulations in the early stages of the urban planning process. However, the simulation tools need to be able to support 3D city models for both import of input data and export of simulation results. In the later stages of the planning process, it is necessary to use information about the building's interior traits and, which that case, would require a higher level of detail than what is implemented in 3D city models today.

Sammanfattning

Samhällsbyggnadsprocessen är en viktig del av samhällsutvecklingen där flera krav ställs för att skapa goda och hållbara möjligheter för alla. Vid byggnation måste man undersöka de befintliga förhållanden så att man inte bygger på en olämplig plats, men även analysera bland annat buller från trafik som har direkt påverkan på människors hälsa. Alla kraven undersöks vid olika skeden i planeringsprocessen och man behöver redan i ett tidigt skede ta hänsyn till dem. I ett tidigt skede är det svårt att veta det slutliga resultatet och om man tar ett felaktigt beslut kan det innebära stora kostnader för att göra ändringar i den förslagna planen eller byggnaderna senare. Idag finns det flera simuleringsverktyg men många av dem är avancerade och simuleringarna tar tid att göra.

För att kunna utföra alla analyser som görs under planeringsprocessen behöver man tillgång till geodata, då befintliga förhållanden kan ha stor inverkan på vad som går att bygga. Höga byggnader skuggar och gör det svårt att uppfylla krav om dagsljus. Stora vägar ger ifrån sig mycket buller, men finns det mycket vegetation kan de dämpa bullret. Geodatan behöver därmed vara harmoniserade så det kräver mindre arbete för att få in dem i verktyg för analyser och mer tid att ägnas åt planering. Ett sätt att spara geodata är i form av en 3D-modell som är anpassad för städer. En 3D-stadsmodell som detta ska representera verkligheten och man behöver därmed bestämma vad för information den ska innehålla.

Syftet med examensarbetet var att undersöka vad en 3D-stadsmodell bör innehålla och hur den bör vara strukturerad för att stödja planeringsprocessen och de simuleringar och analyser som görs. I examensarbetet förklarades hur planeringsprocessen hanteras idag, de krav som ställs och hur kraven analyseras. Utöver planeringsprocessen beskrevs vad en 3D-stadsmodell är och hur olika länder har implementerat en. Därefter togs en vision fram som föreslår hur sambandet mellan 3D-stadsmodeller, planeringsprocessen och simuleringsverktyg kan se ut.

I fallstudien undersöktes ett mindre område i Malmö stad med hjälp av simuleringsverktyget Spacemaker. Spacemaker tar fram byggnadsförslag som man därefter kan använda för att utföra några simuleringar inom planeringsprocessens ramar. Den geodata som användes kommer från 3D-stadsmodellen 3CIM. 3CIM-modellen är från ett projekt för att ta fram en svensk nationell informationsmodell baserad på CityGML. 3CIM är för tillfället under utveckling. Ett av byggnadsförslagen som skapades i Spacemaker valdes ut och konverterades så att den kan visualiseras tillsammans med 3CIM-modellen.

Resultatet visade att man med hjälp av en 3D-stadsmodell kan utföra simuleringar i tidigare skeden av planeringsprocessen. Däremot behöver simuleringsverktygen vara mer anpassade för 3D-stadsmodeller vid import och export av data. Det hade också varit fördelaktigt om simuleringsresultaten kunde importeras in i en 3D-stadsmodell. Vid senare skeden i planeringsprocessen behöver man information om en byggnads interiöra egenskaper och, i det fallet, krävs en högre detaljgrad än vad implementerade 3D-stadsmodell har idag.

Förord

Denna studie är resultatet av det slutliga examensarbetet i geografisk informationsteknik för civilingenjör inom lantmäteri på Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet är skrivet och publicerat för institutionen på Naturgeografi och Ekosystemvetenskap på Lunds universitet.

Jag vill särskilt tacka mina två handledare Lars Harrie och Karolina Pantazatou från Lunds universitet för stort stöd genom hela examensarbetet. Jag har verkligen uppskattat er noggrannhet och de intressanta diskussionerna. När jag tyckte skrivandet kändes svårt så kändes det alltid mycket bättre efter varje möte.

Jag vill även tacka Per-Ola Olsson från Lunds universitet för att ha hjälpt mig med att omvandla Malmös data till en 3CIM-modell och snabbt fixat när fler data behövdes.

Jag vill också tacka er på Malmö stad som har visat engagemang för mitt examensarbete och hjälpt mig med alla mina frågor och insamling av data för fallstudien. Jag vill också tacka er som ställde upp på ett möte så att jag kunde få en bättre förståelse hur ni ser på detaljplane-processen.

Slutligen vill jag tacka Spacemaker för att jag fick använda ert program i fallstudien. Det har varit kul att testa de olika funktionerna och det var dessutom intressant att se hur programmet utvecklades under examensarbetets gång.

20 september 2021

Emelie Ulin

Innehållsförteckning

1 INTRODUKTION	1
1.1 BAKGRUND.....	1
1.2 PROBLEMBESKRIVNING	2
1.3 SYFTE	3
1.4 AVGRÄNSNINGAR	3
1.5 ANGREPPSSÄTT	3
1.6 DISPOSITION	4
2 PLANERINGSPROCESSEN I SVERIGE IDAG	4
2.1 DEL I DEN GLOBALA UTMANINGEN	4
2.2 PLANERINGSPROCESSEN	5
2.3 DIGITALISERING AV PLANERINGSPROCESSEN	5
2.3.1 <i>Digitalt först</i>	5
2.3.2 <i>Enhetlig digital tillämpning av plan- och bygglagen</i>	6
2.3.3 <i>Ramverk för digitalisering av detaljplaner</i>	6
2.3.4 <i>Behov av geodata i planeringsprocessen</i>	7
2.4 SIMULERINGSBEHOV I STADSPLANERING	8
2.4.1 <i>Behov av 3D-stadsmodeller för simuleringar i planeringsprocessen</i>	8
2.4.2 <i>Översvämningsrisk och skyfallshantering</i>	9
2.4.3 <i>Regler och krav på byggnader</i>	10
2.4.4 <i>Bebyggd area</i>	11
2.4.5 <i>Utmaning att uppfylla alla krav</i>	11
3 3D-STADSMODELLER OCH SIMULERINGSMÖJLIGHETER	12
3.1 3D-STADSMODELLER.....	13
3.1.1 <i>CityGML</i>	14
3.1.2 <i>3D-stadsmodeller i Sverige</i>	15
3.1.3 <i>3D-stadsmodeller i andra länder</i>	16
3.1.4 <i>Digitala tvillingar</i>	17
3.2 SIMULERINGAR MED HJÄLP AV STADSMODELLER OCH DIGITALA TVILLINGAR.....	17
3.2.1 <i>Simuleringar av sol- och dagsljus</i>	18
3.2.2 <i>Simuleringar av buller</i>	19
3.2.3 <i>Kvalitet på 3D-stadsmodeller</i>	21
3.3 SIMULERINGSVERKTYG	22
3.3.1 <i>Spacemaker AI</i>	22
4 VISION AV ANVÄNDNING AV 3D-STADSMODELLER FÖR ATT STÖDJA SIMULERINGAR I PLANERINGSPROCESSEN	22
5 FALLSTUDIE	23
5.1 STUDIEOMRÅDE.....	23
5.2 VAL AV SIMULERINGSVERKTYG	24
5.3 GEODATA FÖR SIMULERINGARNA.....	24
5.3.1 <i>Konvertering från Malmö baskarta till 3CIM stadsmodell</i>	25
5.3.2 <i>Bullerdata</i>	26
5.4 SIMULERING I SPACEMAKER.....	27
5.4.1 <i>Genererande av byggnadsmodeller</i>	27
5.4.2 <i>Bullersimuleringar</i>	28
5.4.3 <i>Sol- och dagsljussimuleringar</i>	28
5.4.4 <i>Jämförelse och slutligt val av förslag</i>	29
5.5 ANPASSNING AV DATA TILL 3CIM-MODELLEN.....	29

5.6 RESULTAT	30
5.6.1 Förslag på byggnader efter sol- och dagsljuskrav	30
5.6.2 Simuleringar i Spacemaker	31
5.6.3 Jämförelse av förslagen	34
5.6.5 Visualisering tillsammans med 3CIM	36
6 DISKUSSION.....	37
6.1 3D-STADSMODELLER FÖR EN NATIONELL OCH INTERNATIONELL HÅLLBAR UTVECKLING	37
6.2 ANVÄNDNING AV EN 3D-STADSMODELL I PLANERINGSPROCESSEN	37
6.3 SIMULERINGAR I PLANERINGSPROCESSEN MED EN 3D-STADSMODELL	39
6.4 3CIM FÖR SIMULERINGAR I PLANERINGSPROCESSEN.....	40
6.5 SIMULERING I SPACEMAKER.....	41
6.6 BEHÖVER PLANERINGSPROCESSEN FÖRÄNDRAS FÖR ATT OPTIMALT UTNYTTJA DE DIGITALA MÖJLIGHETERNA	42
7 SLUTSATSER	43
REFERENSER	45

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Samhällsbyggnadsprocessen i Sverige är i en ständig utveckling för att effektivisera planerandet då många aktörer är involverade. Information bör därför vara lätt att utbytas så alla berörda parter kan samarbeta och komma fram till en lösning av hög kvalitet snabbare (Boverket 2021a). Idag arbetar man med att digitalisera samhällsbyggnadsprocessen för att bl.a. göra information mer tillgänglig så att man effektivt kan skapa hållbara fysiska lösningar (Lantmäteriet 2018).

Sverige arbetar med att nå de globala målen till 2030 och ett av målen, mål 11, berör hållbara städer och samhällen (Globala målen 2021). Det innebär ett fokus på hållbar stadsutveckling och för att uppfylla målet ställs krav på hur stadsplaneringen hanteras. Planeringsprocessen i Sverige är indelad i flera olika steg där man behöver ta hänsyn till geodata och annan information för att uppfylla de krav som ställs.

Idag utvecklas flera verktyg som hanterar analyser och simuleringar. Programmen kan i sin tur användas i samhällsplaneringen för att uppfylla bl.a. de krav om mark- och vattenanvändning som ställs på detaljplaner. Däremot är det i vissa steg i planeringsprocessen svårt att uppfylla de krav som ställs, speciellt de som berör byggnadsprocessen. I byggnadsprocessen ställs krav (på buller, dagsljus, etc.) som kontrolleras vid olika tillfällen och där man i sena skeden är tvungen att göra förändringar (Cederström et al. u.å.). För att komma runt detta problem behöver flera simuleringar utföras i tidigare skeden.

För simuleringar och analyser behöver man tillgång till geodata (information som t.ex. byggnader, vägar och träd) och det är viktigt att de följer samma standarder för att kunna komplettera varandra. Simuleringar och analyser har olika behov av detaljnivå t.ex. vissa simuleringar kräver att en 3D-modell innehåller detaljer om fönster och tak. Modellen ska innehålla tillräckligt med information för att uppfylla krav från flera användningsområden.

Om alla geodata följer samma standarder så är de harmoniserade och kan lätt kombineras. Har man information om t.ex. terrängmodeller, vegetation, byggnader och vägar kan man skapa en 3D digital modell av den bebyggda miljön. Exempel på viktiga egenskaper i modellen är rumslig, temporal och grafisk information (Kolbe & Donaubaue 2021). Detsamma kan göras för städer och därmed skapa en digital stadsmodell i 3D. En 3D-stadsmodell representerar en stad och kan variera i detaljnivå t.ex. med att representera byggnader med enklare modeller eller inkludera detaljerad information som detalj på tak och fönster. En 3D-stadsmodell ger också möjlighet till simuleringar som kan användas till tillämpningar i den urbana planeringen. Några exempel på simuleringar som kan utföras över en stadsmodell: energiberäkningar för byggnader, studera de skuggor som skapas från större byggnader (skuggningsanalys) och hur mycket solljus som träffar en byggnad (solenergipotentialstudie, solljusstudie). Simuleringar kan även utföras över större områden för att t.ex. uppskatta risk för översvämningar i en stad (Biljecki et al. 2015a). Det finns flera verktyg för att utföra dessa simuleringar. Ett sådant program som har utvecklats är Spacemaker som ger möjlighet att snabbt skapa och analysera 3D-modeller för stadsplanering (Spacemaker AI u.å.a).

En 3D-stadsmodell ska kunna utnyttjas i flera delar av planeringsprocessen, det kan därför vara bra att ha en vision om hur en 3D-stadsmodell ska utformas för att stödja planeringsprocessen

och de simuleringar som kan tänkas göras. Stadsmodellen ska innehålla tillräckligt med information för att kunna underlätta utförandet av simuleringar. Det kan åstadkommas genom att hitta en balans mellan tillgängliga data och vad som är nödvändigt för att utföra simuleringarna.

3D-modeller är inte ett helt nytt koncept inom samhällsbyggnaden. BIM är en typ av modell som idag används inom byggnation, den är fokuserad på byggnadsprocessen och att modellera byggnader och infrastruktur i detalj (BIM Alliance u.å.). Om man vill modellera en stad med BIM innebär det hantering av stora datamängder av för hög detaljnivå än den som nödvändigtvis behövs för simuleringar och analys inom stadsplanering.

De tre största städerna i Sverige, tillsammans med Lunds universitet, har 2020 gått samman för att samarbeta och ta fram en gemensam informationsmodell för 3D-stadsmodeller. Informationsmodellen heter 3CIM (3 City Information Model) och innehåller 3D-geodata. Tanken är att denna modell ska ligga till grund för 3D-stadsmodeller för alla kommuner i Sverige. Det är därför viktigt att den är utvecklad på ett sätt att den stödjer flera olika tillämpningar som en kommun kan tänkas behöva (Smart Built Environment u.å.).

Denna studie inriktar sig på simuleringar i planeringsprocessen med 3D-stadsmodellen 3CIM och identifiering av geodata som behövs för att hantera de simuleringar som görs. Examensarbetet sker i samarbete med Malmö stad som är en av de tre städer som är involverade i 3CIM. Examensarbetets vision baseras på en modell som togs fram i Formas-projektet ”Öka potentialen för energi- och bullersimuleringar vid planering av stadsförtätningar”, och examensarbetet blir även ett bidrag till detta projekt.

1.2 Problembeskrivning

Idag arbetar de flesta större kommuner med att utforma egna 3D-stadsmodeller men samordningen mellan kommunerna är däremot låg. Det medför svårigheter att göra samarbeten som sker mellan kommuner eller på nationell nivå när det gäller urban 3D-geodata. Informationsmodeller bör vara utformade på ett sätt att ingen extra bearbetning eller hantering krävs för att föra över till andra system. I Sverige finns det ingen nationell standard för stadsmodeller men ett förslag har tagits fram som beskriver kraven för att åstadkomma utvecklingen av en fungerande modell i Sverige (Eriksson et al. 2020).

För en nationell standard behöver man komma fram till hur stadsmodellerna ska vara utformade. 3CIM arbetar med hur man kan skapa en sådan informationsmodell med åtanke att det ska vara anpassat till kommuner men även andra aktörer för att kunna stödja hela planeringsprocessen.

I stadsplaneringen är det många faktorer som behövs tas hänsyn till för att uppfylla de krav som kan ställas. Det bör därför vara möjligt att hantera dessa faktorer i olika scenario och vara lätt att ändra informationen i takt med hur staden utvecklas. Stadsmodellen bör därför vara utformad på ett sätt att den är tillämpningsbar i många områden inom planeringsprocessen. Simuleringar ska kunna utföras och resultatet ska kunna lagras i stadsmodellen och därefter visualiseras med andra verktyg.

1.3 Syfte

Syftet med examensarbetet är att studera 3D-stadsmodeller och om de kan stödja planeringsprocessen med fokus på simuleringar i detaljplanering. Se vad för arbete som behövs för att föra över 3CIM-modellen mellan olika program, och se om informationen kan hantera krav inom planeringsprocessen. Frågeställningar som specifikt kommer tas upp är följande:

- Hur ska 3D-stadsmodellen vara utformad för att stödja undersökningar om buller och dagsljus i detaljplanering? Är 3CIM-modellen anpassad detaljplanering?
- Vad för arbete krävs det för att få in 3CIM-modeller i ett simuleringsverktyg som Spacemaker? Innehåller 3CIM-modeller de data som behövs för simuleringar i Spacemaker?

1.4 Avgränsningar

Studieområdet som har valts är en aktuell detaljplan i Malmö stad där planarbetet planeras att starta april 2021. När examensarbetet skrivs är 3CIM under utveckling, vilket innebär att de datamängder som hanteras är begränsade från vad som finns tillgängligt och vad som anses lämpligt för området som studeras. I studien utvärderas datamängderna i simuleringsprogrammet Spacemaker. Inga andra simuleringsprogram används.

3D-stadsmodeller kan tillämpas inom flera användningsområden som både visualisering och simulering. Examensarbetet kommer däremot bara behandla simuleringar som kan utföras i detaljplaneprocessen. Dessutom studeras dataflöden mellan program, inte simuleringsresultaten för att se om de är korrekta. Planeringsprocessen innehåller flera krav och rekommendationer som simuleringar kan användas till och berör utsidan samt insidan av byggnader. I denna studie behandlas inga simuleringar inuti byggnader.

1.5 Angreppssätt

Examensarbetet inleds med en litteraturstudie om hur planeringsprocessen hanteras idag och vilka krav som förväntas att hanteras under planeringen. Litteraturstudien berör även 3D-stadsmodeller och hur de kan användas till simuleringar.

Som en produkt av litteraturdelen tas en vision fram för hur en 3D-stadsmodell kan vara utformad för att stödja simuleringar i planeringsprocessen. Fallstudien utförs på ett studieområde i Malmö stad. Testdata är från ett urval av teman enligt en preliminär version av 3CIM som anses lämpligt för studien. 3CIM, som är baserad på CityGML, anpassas till det valda simuleringsverktyget Spacemaker. Därefter görs simuleringar av ny byggnation inom det aktuella området. Simuleringarna tar hänsyn till de krav som ställs i planeringsprocessen. Resultatet exporteras och konverteras tillbaka till CityGML. Därefter visualiseras de befintliga byggnader (3CIM) tillsammans med de nya byggnaderna som skapades.

I diskussionen utvärderas processen av att få in 3CIM-modell i ett simuleringsverktyg, och därefter importera resultatet in i 3CIM-modellen. I diskussionen tas det även upp vad 3D-stadsmodeller skulle kunna bidra till i planeringsprocessen. I slutsatsen besvaras frågeställningarna enligt det som tas upp i fallstudien och diskussionen.

1.6 Disposition

Detta examensarbete är indelat i en teoretisk och en praktisk del. Den teoretiska delen innehåller kapitel 1 *Introduktion* som beskriver bakgrunden och problemställningen till examensarbetet, därefter syftet och de avgränsningar som görs och slutligen angreppssätt. Kapitel 2 och 3 innehåller detaljerad beskrivning av planeringsprocessen samt teori kring stadsmodeller och standarden CityGML. Vision om hur en 3D-stadsmodell kan stödja simuleringar tas upp i kapitel 4 med förslag på hur den kan vara utformad för att möta de svenska speciella behoven.

Den teoretiska delen följs upp med en praktisk del där en fallstudie utförs på det utvalda studieområdet. Resultatet följs av en diskussion där resultaten från den praktiska delen diskuteras och jämförs med det som tas upp i den teoretiska delen. Sista delen innehåller slutsatser som tar upp de frågeställningar som nämnts i syftet.

2 Planeringsprocessen i Sverige idag

2.1 Del i den globala utmaningen

Sverige har ett ansvar att uppfylla målen om en hållbar utveckling innan år 2030, och flera av målen kan relateras till stadsplanering. Dessa mål har tagits fram för att minska ojämlikheter och orättvisor, främja fred och rättvisa men också för att lösa klimatproblem (Globala målen u.å.). Målen påverkar även hur städer planeras för att göra de så inkluderande, säkra och hållbara som möjligt. Världens befolkning fortsätter att öka och många flyttar in till städer, det ställer därmed nya krav som berör ekologisk, ekonomisk och social hållbarhet. Mål 11 om hållbara städer och samhällen inkluderar stadsutveckling och planering av bostäder, infrastruktur m.fl. (Globala målen 2021).

I Sverige har man också en vision om hur digitaliseringen kan bidra till utveckling och hållbarhet, men också ökad förståelse för den fysiska miljön. Det har bidragit till framtagande av ramverk och specifikationer i Sverige, men också deltagande i samarbeten med både FN och EU för att öka tillgången till geodata (Lantmäteriet u.å.a).

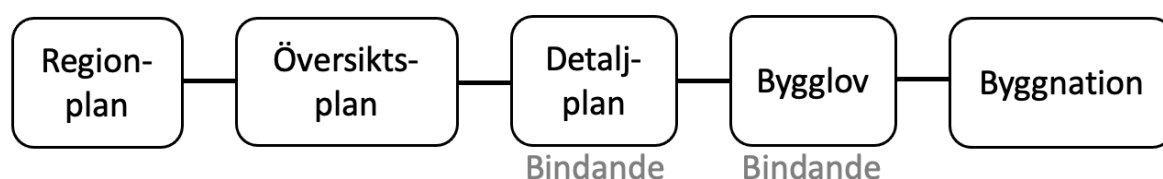
Från de globala målen har Förenta nationerna, FN, tagit beslut om ett strategiskt ramverk för nationella geodata och informationssystem och att den kan delas in i nio inriktningar (UN-GGIM 2018). De nio inriktningarna fungerar som en vägledning för att nå en hållbar social, ekonomisk och miljömässig utveckling och FN illustrerar de som pusselbitar för att visa att alla aspekter är viktiga och att de fungerar tillsammans. Ramverket fokuserar på vad regeringar kan göra, men kan även användas på regional och lokal nivå. Tanken är att öka samarbetet mellan den offentliga och privata sektorn för att stärka användningen av geodata (UN-GGIM u.å.).

År 2007 tog Europeiska unionen fram ett direktiv gällande geodata för att skapa en gemensam infrastruktur för alla europeiska länder. INSPIRE, *Infrastructure for spatial information in Europe*, innehåller bestämmelser för att göra det möjligt att dela öppen geodata mellan länderna. Direktivet har implementerats i flera stadier och ska vara fullt implementerad 2021. Tanken är att öka samordningen av information som berör flera länder för att ta viktiga beslut

snabbare (Europa Commission 2021). Lantmäteriet har ansvar över samordningen för att genomföra INSPIRE i Sverige. Som ett resultat i detta arbete har Geodataportalen tagits fram. (Lantmäteriet u.å.b).

2.2 Planeringsprocessen

Planeringsprocessen kan beskrivas som en kedja där planeringen sker i flera olika steg (se Figur 2.1). Plan- och bygglagen (PBL, SFS 2010:900) reglerar det svenska planeringssystemet i de tidigare stegen: regionplan, översiktsplan, områdesbestämmelser och detaljplan. De stegen som är juridiskt bindande enligt PBL är områdesbestämmelser och detaljplaner (Boverket 2021b).



Figur 2.1. Illustration över hela samhällsbyggnadsprocessen i Sverige

Det är krav att alla kommuner ska ha en översiktsplan och den ska gälla hela kommunen. Planen ska innehålla en detaljerad beskrivning av kommunens strategier för en hållbar utveckling. Det innebär en beskrivning av mark- och vattenanvändningen inom kommunen. Översiktsplanen ska även ta hänsyn till allmänhetens intressen och riksintressen (Boverket 2020e). Om det är ett område inom kommunen som man vill utreda mer i detalj kan man göra en fördjupad översiktsplan, den är inte juridiskt bindande (Lunds kommun 2020).

Därefter görs detaljplaner som är detaljerade planer på ett mindre område och kan till storlek t.ex. avse ett kvarter eller en tomt. I planeringsprocessen görs bedömningar för att avväga enskilda intressen med omgivningen och miljön (Malmö stad 2021b). I detaljplan kan man reglera och bestämma hur marken ska användas och gränser på allmän plats, kvartersmark och vattenområde måste finnas med. Regleringar kan vara specifika som att t.ex. bestämma storlek och höjd på byggnader (Boverket 2020f).

I planeringsprocessen är det många aktörer med olika roller inblandade för att uppfylla de krav som ställs i plan- och bygglagen. Några exempel på ovanstående aktörer är bl.a. kommunen, länsstyrelsen, exploatörer och arkitekter. Med många inblandade är det viktigt att samverka mellan de olika stegen fungerar (Boverket 2020c).

2.3 Digitalisering av planeringsprocessen

2.3.1 Digitalt först

Lantmäteriet tog, på uppdrag av Regeringen, under 2018 fram en rapport *Digitalt först* för att identifiera de hinder som finns för digitaliseringen inom samhällsbyggnadsprocessen. Deras bedömning är att det främsta hindret är att informationen inte är samlad och att det fortfarande finns delar av processen som inte sköts digitalt. För att ändra det behöver nationella myndigheter ta ett större ansvar och samordna så att det finns ett tydligt juridiskt ramverk för att standardisera information (Lantmäteriet 2018).

Lantmäteriet tog fram förslag på lösningar och hade en målbild att innan 2025 ta fram en digital obruten process för att öka stödet för bostadsbyggandet. Målbilden är indelad i fyra mål som tagits fram från en analys av den befintliga planeringsprocessen. De aktörer som berörs av målbilden är kommuner, Boverket och Lantmäteriet (Lantmäteriet 2018).

Det första effektmålet är ”*Informationen är enhetlig, nationellt tillgänglig och i digital form*”. Tanken är att det ska finnas en nationell plattform där samhällsbyggnadsinformation är samlad i georefererad form som gör det möjligt för flera aktörer att använda den i sina tjänster. Det ska finnas ett juridiskt ramverk som stödjer ökad tillgänglighet, användbarhet och öppenhet av information. De resterande målen tar upp automatisering inom processen, hur ärenden kan ske digitalt och att information ska samlas så den är åtkomlig för flera aktörer (Lantmäteriet 2018).

2.3.2 Enhetlig digital tillämpning av plan- och bygglagen

Boverket var en av de aktörer som ansågs vara berörda i *Digitalt först* och de tog fram egna delmål utifrån de resultat som Lantmäteriet kom fram till för att uppfylla målet om en digital obruten process. De har speciellt arbetat med vilka ändringar som kan göras för att skapa en enhetlig tillämpning av PBL i digital miljö. Deras fokus var att skapa förutsättningar att hantera data på lokal, regional och nationell skala, där satsningar har gjorts på översiktsplaner, detaljplaner och byggregler (Boverket 2020a).

I rapporten beskriver Boverket att det bör finnas krav på digital översiktsplaneinformation och detaljplaneinformation. Även om översiktsplanen inte är lika reglerad som detaljplan då den inte är formellt bindande, kan översiktsplanen innehålla flera beslut och fördjupningar. De anser även att det är viktigt att det finns kompatibilitet mellan översiktsplanen och detaljplanen då båda innehåller information och georeferering som kan vara utformad på samma sätt. Vid kompatibilitet kan detaljplanen t.ex. i sin tur jämföras med översiktsplan och ge besked om detaljplanen bryter mot översiktsplanen eller inte (Boverket 2020a).

Boverket anser att den digitala detaljplanens funktionalitet måste bestämmas så att alla aktörer både under och efter planeringsprocessen kan ha tillgång och utnyttja informationen som tas fram. De aktörer som anses ansvariga för att reda ut dessa frågor är Lantmäteriet och Boverket i samarbete med andra aktörer som är involverade i planeringsprocessen (Boverket 2020a).

2.3.3 Ramverk för digitalisering av detaljplaner

Regeringen bestämde i december 2020 att alla detaljplaner ska digitaliseras enligt Boverkets föreskrifter (BFS 2020:5) om detaljplan, och därmed gälla från 1 januari 2022. Tanken är att skapa snabbare handläggningsprocesser och e-tjänster som uppfyller medborgares behov (Boverket 2020b). Digitaliseringen gäller både nya detaljplaner och befintliga detaljplaner.

På grund av de nya föreskrifterna så behövs det läggas mer tid till att göra digitaliseringen möjlig. Digitaliseringen sker i alla led i processen: nationella, regionala och kommunala nivå. Många kommuner i Sverige samarbetar för att organisera hur de olika stegen i planeringsprocessen hanteras t.ex. översiktsplaner för en bättre medborgardialog och skapandet av digitala verktyg för detaljplaner (Boverket 2021c).

I Sverige finns det en standard hur detaljplaner ska XML-kodas för att spara information om gränser, områden och bestämmelser (SS 637040:2016). Med en standard görs det möjligt med

ett digitalt överföringsformat utbyta och dela information mellan aktörer under detaljplanprocessen. Dessutom beskriver standarden hur utbytet går till och hur programvaror ska utformas för att göra det möjligt (Svenska Institutet för Standarder 2016).

2.3.4 Behov av geodata i planeringsprocessen

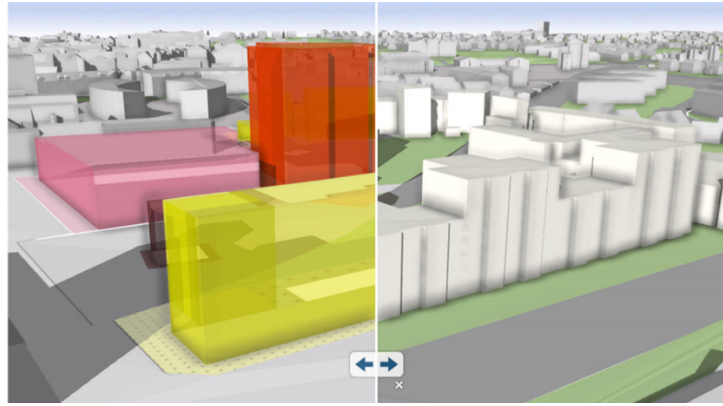
Lättillgängligt geodata i planeringsprocessen kan medföra både tids- och kostnadsbesparingar för alla berörda. Med en ökad kvalitet på geodata kan det också bidra till en mer snabb och säker process. I sin tur effektiviseras planeringsprocessen som gör det möjligt att öka bostadsbyggandet. Lantmäteriet har tagit fram ett förslag för att nationellt tillgängliggöra geodata då dagens lösningar endast täcker 10% utav de datamängder som behövs. För att lösa detta är ett förslag att ta fram en nationell geodataplattform för att hantera de återstående geodata på en nationell nivå (Lantmäteriet 2019).

För att ta fram en geodataplattform behöver det finnas förutsättningar som nationella specifikationer. Ramverk tillsammans med specifikationer gör det möjligt för aktörer inom samhällsbyggnadsprocessen att arbeta tillsammans och på ett likartat sätt. De nationella specifikationerna ses som en central del inom processen och delas in i fyra typer: informationsspecifikation, dataproduktionsspecifikation, specifikation för leverans till Nationell geodataplattform och specifikation för att söka och hämta referensdata (Lantmäteriet u.å.c).

Det finns nytta i att ha digital detaljplaneinformation om man följer Boverkets föreskrifter om detaljplan och de nationella specifikationerna. Information blir inte bara tillgänglig inom organisationen, det är även lättare att t.ex. ta fram kartor och kartjänster. Tidigare fanns det inte krav om att kommuner behövde digitalisera detaljplaneinformation. De kommuner som valde att digitalisera hade inga specifikationer att följa och nivån på digitalisering kunde skilja sig mellan kommuner (Boverket 2020b).

I maj 2021 kom Lantmäteriet ut med nya specifikationer för detaljplaner som följer standarden för datautbyte för detaljplaner (SS 637040:2016). Alla detaljplaner som påbörjas efter nyårsskiftet 2021–2022 ska följa de nya specifikationerna och de kan även användas för specifika planbestämmelser. Kvalitet på insamlade data kommer också valideras när de levereras till Nationella geodataplattformen. Anledningen till de olika kraven är att det finns skillnader mellan insamlingsmetodik och kvalitet över tid samt mellan kommuner (Lantmäteriet 2021).

Med geodata kan man göra om grundkartan till en 3D-modell som kan uppdateras med verkligheten. Den behöver också innehålla information som statistik, stadsplanering och planeringsriktlinjer. Om modellen innehåller korrekta geodata kan processer automatiseras då man inte behöver lägga ner tid att tolka data. Detaljplaner borde dessutom presenteras som 3D-modeller för visualiseringar. 3D-modeller skapar större förståelse för plandokumentet än om det sparas i pappersform (Smart Built Environment 2017). En utmaning uppstår däremot vid visualisering av 3D-detaljplaner. En 3D-detaljplan ska inte visa en lösning, utan den ska visa de möjligheterna som finns inom detaljplanen. I Judge & Harrie (2020) undersöker de detta problem och tar fram olika lösningar på hur man kan visualisera en 3D-detaljplan för att inte skapa några missförstånd. En av lösningarna var att använda ett verktyg där man kan jämföra en detaljplan med en illustration för ökad förståelse (se Figur 2.2).



Figur 2.2. Bilden visar hur ett slider-verktyg kan användas för att göra 3D-detaljplaner tydligare. Bilden är tagen från Judge & Harrie (2020). © 2020 Stephanie Judge och Lars Harrie. Använd under CC BY 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

I samhällsbyggnadsprocessen är det inte bara översiktsplaner och detaljplaner som behöver data, utan även nybyggnadskartor. Nybyggnadskartor skapas som underlag för bygglovsansökan vid t.ex. nybyggnation och tillbyggnation. Nybyggnadskartor innehåller information som fastighetsgränser, befintliga byggnader, vägar, höjdkurvor och ledningar (Mittbygge 2019). I ett projekt av Smart Built Environment (2018) vill man gå från 2D-kartor i pappersform till att skapa en geodatamodell i 3D. Om modellen är i 3D är det lättare att konvertera innehållet till BIM, detta kan i sin tur effektivisera bygglovsprocessen.

2.4 Simuleringsbehov i stadsplanering

2.4.1 Behov av 3D-stadsmodeller för simuleringar i planeringsprocessen

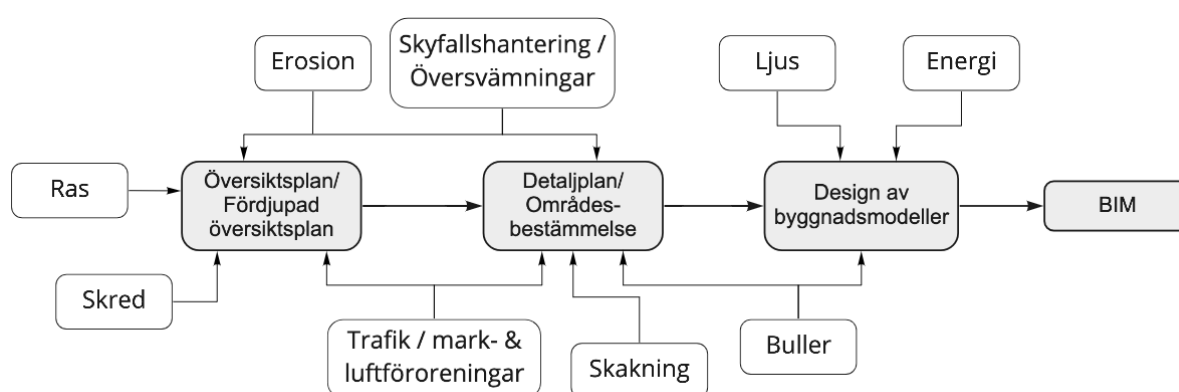
Vid fysisk planering bestämmer man hur mark- och vattenhantering ska utvecklas, men det innebär också att man behöver ta hänsyn till olika samhällsintressen. Enligt plan- och bygglagen (PBL, SFS 2010:900) ska de olika intressena vägas mot varandra i en demokratisk process och samtidigt ta hänsyn till enskilda rättigheter. Många olika krav och rekommendationer behöver vägas in i varje beslut som en kommun gör. Länsstyrelsens uppgift är att se till att de statliga intressena uppfylls och ser till att t.ex. frågor angående hälsa, risker och säkerhet har hanterats (Boverket 2021b). Vissa krav och rekommendationer är tekniska och kräver beräkningar och analyser för att uppfyllas. Det i sin tur skapar behov av program som kan hantera analyser och simuleringar.

Översiktsplanen ger en bra syn på vad för mål man har över en hel kommun men också hela staden, den vägleder hur mark- och vattenområden ska användas men även den byggda miljön (Boverket 2021c). I PBL 3 kap. 5§ står det även att det ska framgå i översiktsplanen om kommunens syn på risk för skador och hur de ska minskas eller upphöra t.ex. översvämningar. Fördjupad översiktsplan följer samma process som en översiktsplan men är inte bindande. Den fördjupade översiktsplanen gör det möjligt att utreda ett avgränsat område och studera vissa frågor mer detaljerat (Lunds kommun 2020).

Detaljplaner är en detaljerad plan där man vill ha information om hur området inom detaljplanen ser ut nu och hur den förhåller sig till omkringliggande områden. Det innebär att man behöver tydlig information som mark- och vattenanvändning men även information om det t.ex. finns träd. Vid en detaljplan kan man ta hänsyn till fler detaljer vilket i sin tur kräver mer geodata.

Vid utformning av byggnader ställs även andra krav som påverkar hur byggnaderna formas för att göra den lämplig för sitt ändamål och uppfylla PBL 8 kap. 1§. Byggnader ska även ha de tekniska egenskaperna som nämns i PBL 8 kap. 4§ som bland annat berör skydd med hänsyn till hygien, hälsa och miljön, och skydd mot buller.

De olika stegen i planeringsprocessen kräver flera typer av analyser och simuleringar på geodata. En 3D-stadsmodell ska innehålla information och geodata som används i flera användningsområden. När allt är samlat i ett system kan det i sin tur underlätta planeringsprocessen. En stadsmodell ger också möjlighet att ta hänsyn till byggkrav som t.ex. buller, dagsljus, eftersom man lättare kan undersöka kraven samtidigt. I Figur 2.3 illustreras en generell beskrivning vilka analyser och simuleringar görs i planeringsprocessen där en 3D-stadsmodell kan användas.



Figur 2.3. Exempel på dagens analyser och simuleringar i planeringsprocessen där en 3D-stadsmodell kan användas.

Följande delar innehåller en mer detaljerad beskrivning av olika rekommendationer och krav som ställs inom stadsplanering där tillämpningen av simuleringar skulle kunna användas.

2.4.2 Översvämningsrisk och skyfallshantering

I Sverige sker översvämningar oftast nära vattendrag, sjöar och längs kusten, men kan också orsakas av skyfall. Extrem nederbörd i tätorter är ett problem i Sverige som i sin tur orsakar kostnader för samhället. Alla kommuner behöver ta hänsyn till och införa åtgärder från de risker de har och hur deras situation ser ut (MSB 2020). Extrem nederbörd är regn som statistiskt orsakar översvämning en gång under en lång period t.ex. en gång på 100 år. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, MSB, har översvämningskarteringar för att hjälpa kommuner och länsstyrelser i planering och karteringar visar bl.a. översvämningar för vattendrag för 100-årsflöden och 200-årsflöden (MSB 2021).

Förtätning av städer kan minska de ytor där vatten tas upp (t.ex. parkområden eller bar mark) och på så vis leda till ökade risker för översvämning vid skyfall. Därför ställs höga krav på att infiltration av vatten hanteras korrekt i planeringen och man behöver därför planera för de risker som kan uppstå. Man förväntar sig att klimatet kommer förändras så att extrema regn blir allt vanligare (MSB 2017). Ett exempel på en översvämningsolycka skedde 2014 då Malmö utsattes för ett skyfall som orsakade stora skador och kostnader (ungefär 160 miljoner kronor). Efter det har dagvattenhanteringen varit en viktig del i planerandet i Malmö (SMHI 2019).

Hantering av översvämningsrisk nämns i plan- och bygglagen, PBL. Länsstyrelsen har som uppgift enligt 11 kap. 10 § 2 st. 5p. PBL att överpröva kommunens beslut gällande detaljplan eller områdesbestämmelse om bebyggelse eller byggnadsverk är olämpligt för översvämningsrisker. Boverket anser därmed att kommunen ska analysera översvämningsrisken i översiktsplanering (Boverket 2020h).

I Stockholms län gjordes en skyfallskartering 2020 där det även beskrivs hur man kan tolka resultaten. Den höjdmodell som används är Lantmäteriets nationella höjdmodell med en geometrisk upplösning på två meter för att studera både 100-årsregn och 500-årsregn. Utöver en höjdmodell definieras 150 olika marktyper och jordarter för att ta hänsyn till markinfiltration i länet. Dessutom tar man hänsyn till hur hög vattenhastighet och vattendjup det kan uppstå inom områdena. I resultatet fick man ut information om den maximala översvämningsutbredningen för båda årsregnen, maximalt vattendjup, vattnets maximala strömhastighet och flödesvektorer för att se hur vattnet rör sig. Utöver 2D-visualisering går det även att visualisera i 3D. I resultatet kom de fram till att denna typ av skyfallskartering kan användas som underlag för översiktsplaner och detaljplaner. Med denna kartering kan man lokalisera områden som har högre risk för översvämningsrisker och kan därmed användas för t.ex. analyser om räddningstjänstens framkomlighet (Sweco 2020).

I 3CIM-projektet kommer de särskilt ta hänsyn till skyfallshantering och i fallstudien kommer en skyfallsmodellering undersökas (Smart Built Environment u.å.).

2.4.3 Regler och krav på byggnader

Boverkets byggregler (BBR, BFS 2011:6) är en författning innehållandes föreskrifter och allmänna råd som berör plan- och bygglagen (PBL, SFS 2010:900) och plan- och byggförordningen (PBF, SFS 2011:338). Föreskrifterna gäller för nya byggnader, mark- och rivningsarbete och obebyggda tomter som förses med en eller fler byggnader. De allmänna råden som nämns i BBR är generella rekommendationer och anger hur man lämpligen kan eller bör handla för att uppfylla föreskrifterna. I BBR sätts krav som påverkar t.ex. bostäders utformning. Utöver det ställs krav som man kan använda simuleringar för att uppfylla t.ex. kapitlen om bullerskydd och dagsljus.

De krav som gäller buller nämns i avsnitt 7 Bullerskydd och vad som gäller allmänt från BFS 2013:14 nämns i stycket 7:1. Kraven som ställs gäller byggnader som t.ex. bostäder och att de ska utformas så att störande ljud som kan orsaka skada på människors hälsa ska undvikas. Ljud kan orsakas av installationer inom byggnader som hiss, men också utifrån som restauranger och trafik. För det senare fallet behövs ljudisolering mot yttre ljudkällor och beräkningar behövs göras för att uppfylla de tillåtna ljudnivåerna.

Det ställs också krav om buller i Förordning (2015) om trafikbuller vid bostadsbyggnader. Enligt 3 § 1 st. 1p. ska buller från spårtrafik och vägar inte överskrida 60dBA ekvivalent ljudnivå vid en byggnads fasad. För uteplatser i anslutning till byggnad gäller det i 3§ 1 st. 2p. 50dBA ekvivalent ljudnivå och maximal ljudnivå på 70dBA. Ekvivalent ljudnivå är det genomsnittliga exponeringen av trafikbuller på ett helt dygn. Maximal ljudnivå är det högsta tillåtna buller som förekommer sällan (Trafikverket 2020)

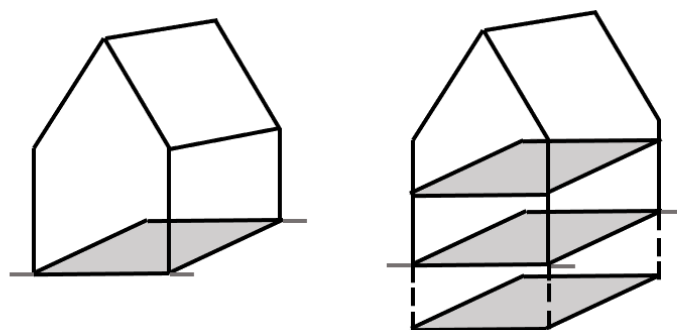
Krav om ljus (dagsljus, solljus) tas upp i avsnitt 6.3 i BBR och innebär att byggnader ska utformas så att ljusförhållanden inte är skadliga och påverkar människans hälsa negativt. Det

finns krav att utrymmen som människor vistas mer i ska utformas så att det finns god tillgång till direkt dagsljus. Direkt dagsljus definieras som ljus genom fönster som är direkt mot det fria. Liknande krav gäller även direkt solljus som är ljus som lyser in i ett rum utan att ha reflekterats. För bostäder gäller att ett rum eller del av rum som människor vistas i ska ha tillgång till direkt solljus. För solljus finns det ingen rekommenderad metod eller värde att gå efter men man kan använda rapporten *Solklart* skriven av Boverket (1991) som ledning. I *Solklart* var kraven att man vid vår- och höstdagjämningen mellan 9.00-17.00 ska ha minst 5 timmars direkt solljus i bostaden samt på lekytor och sittplatser i närheten.

Det finns flera krav som ställs på byggnader. I fallstudien kommer endast buller, dagsljus och solljus simuleras.

2.4.4 Bebyggd area

Area och volym för byggnader kan vara definierade på flera sätt och olika termer används beroende vad som eftersöks. När man tar fram byggnadsmodeller är det viktigt att ha förståelse för vilka termer som vanligtvis används. Det finns en standard om hur dessa termer ska definieras och vilka förkortningar som används (SS 21054:2020). I Figur 2.4 illustreras två av termerna. Byggnadsarea (BYA) är den area en byggnad upptar på marken. Bruttoarea (BTA) kan förenklat beskrivas som den totala arean för varje enskild våning där man räknar arean utifrån byggnadens utsida (Boverket 2021d).



Figur 2.4. Area i byggnader kan definieras på flera sätt. Illustrationerna visar förenklat hur man kan beräkna byggnadsarea och bruttoarea. Byggnadsarea (BYA) är till vänster och bruttoarea (BTA) är till höger.

I detaljplanebestämmelser för flerbostadshus används oftast BTA för att definiera utnyttjandegraden (Boverket 2016). Utöver de krav som ställs i plan- och bygglagen och i Boverkets byggregler, så ställs det krav på hur mycket som ska byggas. Prioritering av hög exploateringsgrad, byggnadensitet och stora byggnader ställs utav politiker och exploitörer (Kanters et al. 2021).

2.4.5 Utmaning att uppfylla alla krav

Cederström et al. (u.å.) skriver att det ofta är svårt att uppfylla de krav och rekommendationer som sätts av de byggregler vi har idag. I handboken fokuserar de på tre aspekter: buller, dagsljus och energi. De nämner att de tre aspekterna hanteras i olika skeden i planeringsprocessen, men när man bara fokuserar på en aspekt i ett tidigt skede så kan de uppstå brister i de som hanteras senare. Ökas medvetenheten om de problem som kan uppstå kan det ändra hur planeringsprocessen tas hand om idag. Svårigheterna att uppfylla dagsljus beskrivs även i

Jellinek et al. (2019) där de ser en konflikt med förtätning och hur mycket man kan exploatera med minimering av hälso- och miljörisker. Ett problem uppstår vid utformning för att skapa en god stadsbyggnad, t.ex. smalare gator anpassad för gående påverkar också tillgång till sol- och dagsljus.

I studien av Kanters et al. (2021) har man undersökt hur stadsplanerare i två kommuner, Malmö stad och Lunds Kommun, hanterar sol- och dagsljus i planeringen. Man kom fram till att man prioriterar det i ordningen: dagsljus inomhus, sol- och dagsljus utomhus och produktion av aktiv solenergi. En detaljplan ska vara designad så att de krav som ställs vid ett senare tillfälle kan uppfyllas. Stadsplanerarna i studien upplever att kraven som ställs är svåra att tolka på ett enhetligt sätt vilket medför komplikationer i senare stegen i planeringsprocessen. Det innebär att om kraven inte kan uppfyllas så kan kommunen stå för kostnaderna för de konsekvenser som uppstår. I Kanters et al. kom man fram till att tillgången till verktyg behöver förbättras. Planerarna har inte tillgång till mer avancerade verktyg eller saknar den kompetens som behövs för att utnyttja dem. Man vill kunna göra snabba analyser av olika alternativ i alla stadier i planeringen. För simuleringar vill man inte bara kunna göra sol- och dagsljussimuleringar, utan också simuleringar av vind och andra faktorer som påverkar mikroklimat.

Buller nämns i plan- och bygglagen (SFS 2010:900) och miljöbalken (1998:800), där båda nämner att det ska undersökas i den tidigare delen av planeringsprocessen. I PBL 4 kap. 33 a § står det beskrivet om en detaljplan avser en eller flera bostadsbyggnader ska planbeskrivningen innehålla en redovisning för det buller som omgivningen avger. Dessutom får kommunen i en detaljplan enligt PBL 4 kap. 14 § endast bestämma lov eller startbesked om åtgärder som förebygger buller i omgivningen har vidtagits. Enligt miljöbalken 9 kap. 12 § får verksamheter som kan påverka människans hälsa inte bedrivas utan att kommunen har lämnat tillstånd. Krav om buller gäller även för planläggning som avser byggnader, PBL 2 kap. 6 a §, och bygglov som avser nybyggnad eller tillbyggnad, PBL 9 kap. 40 §.

Krav om dagsljus tillgång nämns först i BBR, då krav om dagsljus räknas som tekniskt egenskapskrav sker kontrollen av dagsljus först vid startbeskedet. Tekniska byggnadskrav kontrolleras i startbeskedet då man vill se att byggherrens lösning kan uppfylla kraven. Detsamma gäller för energihushållning, dessutom finns det även krav i BBR om tillvägagångssättet då en energideklaration ska göras inom två år efter byggnaden togs i drift (Cederström et al. u.å.).

Vissa krav kan lättare tas i beaktning när det finns möjlighet att göra simuleringar genom program, men det kräver geodata och/eller modeller. Ett sätt att spara geodata är i form av en 3D-stadsmodell. I följande kapitel beskrivs vad en 3D-stadsmodell är och hur den kan vara utformad för att stödja simuleringar i planeringsprocessen.

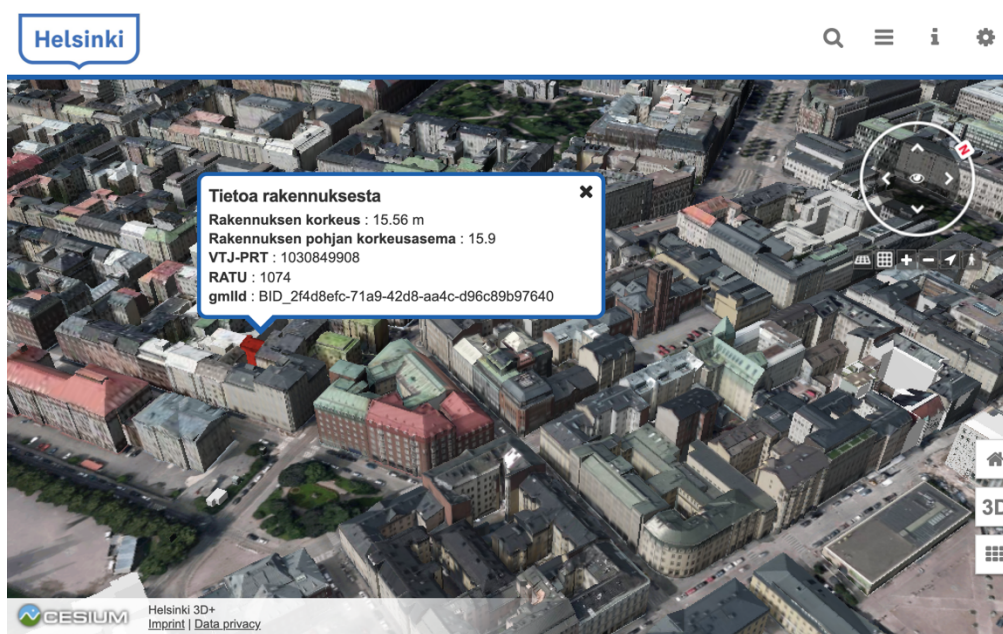
3 3D-stadsmodeller och simuleringsmöjligheter

Genom åren har det utvecklats flera tekniker för att återskapa stadsmiljöer på ett enklare sätt. Användningsområden har därmed ökat, då det är lättare för olika myndigheter och organisationer att skapa egna modeller som dessutom kan användas till simuleringar av olika slag. För användning är inte bara de geometriska och grafiska aspekterna viktiga, men även objektens semantik. Alla geodata är inte alltid samlade hos en enda leverantör utan flera, det innebär att en användare kan behöva hämta data från leverantörer. Problem kan uppstå från

detta då data kan ha samlats vid olika tidpunkter med olika metoder, som i sin tur gör det svårt när man behöver kombinera dessa data (Gröger & Plümer 2012). Det finns därför ett behov av att skapa standardiserade stadsmodeller som stödjer flera användningsområden.

3.1 3D-stadsmodeller

En 3D-stadsmodell beskriver geometri och struktur på en stadsmiljö. Det finns ingen exakt beskrivning vad modellen ska innehålla för att anses som en 3D-stadsmodell. Termen används för flertalet olika exempel som återskapande av miljön från exempelvis fotogrammetri (t.ex. bilder från en drönare) och semantiska modeller (Julin et al. 2018). En semantisk modell presenterar objekt som egna entiteter av den fysiska världen. Varje objekt är strukturerat och innehåller information bl.a. om vad det är för något, geometrisk form, utseende och hur den förhåller sig till andra objekt (Kolbe & Donaubaue 2021). Figur 3.1 visar ett objekt (byggnad) i en semantisk 3D-stadsmodell som man har klickat på för att få information.



Figur 3.1. Bilden visar ett markerat objekt och dess information. Bilden är från den semantiska informationsmodellen av Helsinki 3D+, hämtad 28 juni 2021, från <https://kartta.hel.fi/3d/#/> © 2020 Helsingfors Stad. Använd under CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

I Julin et al. (2018) beskrivs det hur man i sex städer i Finland (Esbo, Helsingfors, Uleåborg, Tammerfors, Åbo & Vanda) har arbetat med att ta fram olika 3D-stadsmodeller för att uppfylla olika behov. I studien utvärderades de projekt som har gjorts i 13 olika plattformar som kan delas in i tre kategorier: GIS/CAD-program, virtuella jordglober och spelmotorer. Julin et al. kommer fram till att GIS/CAD-program fokuserar mer på information och tar hänsyn till geografiska koordinatsystem. I projekten som undersöktes varierade de modellerna som gjordes i GIS/CAD-programmen mellan LOD1 och LOD3. De modeller som gjordes på virtuella jordglober och spelmotorer användes till mer specifika användningsområden där städernas 3D-data användes som grund eller referens. Modellerna gjorda på spelmotorer fokuserade mer på fotorealistisk visualisering och tog sällan hänsyn till geografiska koordinatsystem och semantisk information. De var anpassad för användning som liknar spelande och utforskning.

3.1.1 CityGML

CityGML är en informationsmodell skapad av Open Geospatial Consortium (OGC) som en gemensam standard för att definiera semantiska 3D-stadsmodeller. Modellen kan användas i olika skalor, från byggplats till en hel stad, som ger möjlighet till inte bara visualisering men också miljörelaterade analyser och simuleringar (OGC 2012). Den kan också hantera geometri och attribut på objekt som vanligtvis finns i städer, det inkluderar t.ex. byggnader, vägar och vegetation. Dessutom kan man spara relationer om hur olika objekt relaterar till varandra t.ex. ett hus kan ha fönster och balkong (Ogori et al. 2018).

Standarden CityGML 2.0 kan delas in i fem detaljnivåer, Level of Detail (LOD) där graden av detalj blir mer detaljerad ju högre nivån är (se Figur 3.2). LOD0 representerar en byggnad som ett horisontellt plan där den kan antingen representera ytan på marken eller vara på samma höjd som taket. I LOD1 är byggnad representerade som block som kan antingen vara solida eller representeras med flera ytor. Byggnaderna i LOD2 är lik LOD1 men information och form på tak läggs till. Vid LOD3 läggs detaljer till som befinner sig på byggnaders tak och fasader, här kan man se t.ex. fönster och dörrar. LOD4 är den sista nivå och sparar information om byggnaders interiör (Gröger & Plümer 2012).



Figur 3.2. De fem olika LOD-nivåerna i CityGML 2.0. Bilden är från Biljecki et al. (2016). © 2016 Filip Biljecki, Hugo Ledoux och Jantier Stoter. Använd med tillstånd från författarna.

De olika nivåerna av LOD ger möjlighet till olika användningar men även simuleringar och en detaljerad modell behöver inte nödvändigtvis vara den bästa då den kan sakta ner beräkningar i analyser. Vilken detaljnivå som används behöver därför väljas så att man inte har för mycket extra data. Ett annat problem som uppstår är att definitionerna av LOD i CityGML 2.0 är begränsade och det går inte att kombinera nivåer t.ex. i vissa simuleringar vill man bevara takdetaljer men inte detaljer på fasader (Tang et al. 2020).

I stadsplanering är det inte ovanligt att man tar fram flera olika versioner av en framtida lösning för att kunna undersöka och jämföra dem mot varandra. Utöver det vill man i andra fall se den historiska utvecklingen som en stad har gått igenom. För att kunna göra sådana scenarios behöver man ha tillgång till versionshantering som CityGML 2.0 inte erbjuder. Chaturvedi et al. (2016) skriver om dessa problem och ger förslag på hur man kan ändra CityGML för att stödja versionshantering i stadsmodeller (vilket har beaktats, se Figur 3.3).

CityGML är anpassad för global användning och det innebär att CityGML endast innehåller de vanligaste funktionerna. Det medför att det inte är möjligt att spara ytterligare information som behövs för t.ex. simuleringar. Däremot finns det möjlighet att skapa egna funktioner för aenom så kallat Application Domain Extension (ADE) som alla har rätt till att skapa. ADE:er ger möjlighet till att lägga till flera egenskaper i standardklasser som redan finns (t.ex. bullervärden

på en väg), men också nya objekttyper. Det går även att stödja nationella standarder och nationella geografiska informationsmodeller i 3D helt genom en ADE (Biljecki et al. 2018a).

I mitten av december 2020 publicerade OGC en konceptuell modell av CityGML 3.0 som är under utveckling. Tanken är att den nya versionen bygger på samma koncept som CityGML 2.0, men är mer anpassningsbar vid tillämpningar än tidigare. Den nya versionen ska också fungera som en grund vid utveckling av digitala tvillingar och smarta städer (OGC 2020).

Efter att version CityGML 2.0 kom ut 2013 fick OGC flera förslag på ändringar som har behandlats i CityGML 3.0. CityGML 3.0 gör det möjligt till versionshantering. Den nya versionen introducerar också en ny funktion benämnd *dynamizer*. Modulen är utvecklad för att förbättra användningen av CityGML och stödja simuleringar och sensorer i 3D-stadsmodeller. Dynamizer är anpassad för tre huvudsakliga syften: representera dynamiska värden som kan vara kopplade till tid, metoder för att förbättra en statisk stadsmodell med dynamiska värden och sammanlänka observerade och simulerade data med motsvarande egenskaper i stadsmodellen. Modulen *transportation* kan även stödja simuleringar relaterade till trafik (Kutzner et al. 2020).

I CityGML 3.0 har de även definierat om hur data sparas då de tidigare definitionerna av LOD var begränsade och gav redundans. Med de nya begreppen om *space* och *space boundary* kan nästan alla geometrier flyttas till den delen som är associerad med semantisk information. Det innebär att detaljer på byggnader behöver inte bara finnas i en LOD-nivå utan i flera, dessutom har de även valt att ta bort LOD4 då de interiöra egenskaperna kan beskrivas med de lägre LOD-nivåerna (Kutzner et al. 2020).

3.1.2 3D-stadsmodeller i Sverige

Flera kommuner har tagit fram 3D-stadsmodeller för visualiseringar, men har inte sett något ytterligare behov av dessa modeller. Vidare så har det inte funnits något gemensam svensk specifikation för hur dessa modeller ska byggas upp. Men med tillgång till fler verktyg för t.ex. planeringsprocessen och utveckling av CityGML så har det skapats ett intresse för semantiska modeller. Däremot finns det idag ingen standard om hur data ska sparas för att stödja 3D-stadsmodeller.

I Eriksson et al. (2020) har man tagit fram ett förslag på en nationell byggnadsstandard och krav på hur den ska vara definierad för att uppfylla de behov som ställs i Sverige. De tar upp flertalet krav utifrån vad som behövs i Sverige, men också vad andra länder har visat behov av. Några krav som tas upp är bl.a. att den nationella byggnadsstandarden ska kunna hantera data i 2D och 3D, man ska kunna visualisera stadsmodellen och man ska kunna konvertera mellan CityGML och t.ex. BIM. Från de definierade kraven skapade de en ADE i CityGML 3.0 som man namngav CityGML Sve-Test. I diskussionen tar Eriksson et al. upp vad en 3D-stadsmodell bör innehålla och att det beror på vad den ska användas till. Det finns både anledningar till att man ska kunna ha en harmoniserad modell som kan stödja flera användningsområden, men att en modell inte ska ha fler funktioner än vad som behövs på grund av dess komplexitet. I Sverige sker det en digitalisering av planeringsprocessen och det är därför viktigt att en 3D-stadsmodell kan hantera t.ex. detaljplaner och de simuleringar och analyser som görs.

3CIM är ett projekt som finansieras av Smart Built Environment där syftet är att ta fram en svensk nationell informationsmodell baserad på CityGML som en grund för visualisering,

analys, simuleringar och digitala tvillingar (se kapitel 3.1.4). I projektet kommer den framställda modellen användas för att skapa en digital tvilling till sin fallstudie, som i sin tur används till en skyfallsmodellering. Dessutom kommer en behovshantering ske för att undersöka vad för data som behövs för främst skyfallsmodelleringen men också andra tillämpningar. De tre största städerna i Sverige, och Lunds universitet, är involverade i projektet och ska säkerställa att resultatet är användbart och att modellen ligger på en nivå så att den är tillämpbar i flera kommuner. Projektet startade hösten 2020 och är indelat i fyra arbetspaket med olika delmål för att komma fram till ett resultat. Resultatet kommer redovisas i slutet av 2022 (Smart Built Environment u.å.).

Projektet 3CIM försöker att skapa en länk mellan de nationella specifikationerna och de teman som CIM (City Information Model) baseras på t.ex. byggnader, vägar och göra det till en central del i projektet. 3CIM behandlar temat byggnader för att koppla till de nationella specifikationerna som har tagits fram och för att stödja samhällets grundläggande databaser (Smart Built Environment u.å.).

3.1.3 3D-stadsmodeller i andra länder

Utvecklande av 3D-stadsmodeller börjar bli vanligare och det finns länder som redan kommit en bra bit i sitt utvecklande. Nedan beskrivs 3D-stadsmodeller som har tagits fram i Finland och Japan, samt vilka användningsområden de har kommit fram till.

I Helsingfors, Finland, har staden tagit fram flera 3D-modeller genom åren. 2015 togs en meshmodell fram från flygfoton för att ha en detaljerad grafisk modell över staden (se Figur 3.4, Helsinki 2020). De arbetar också med att ta fram en informationsmodell där byggnader innehåller information tillsammans med stadens terrängmodell. Alla byggnader är semantiska CityGML-objekt och finns i två format: LOD1 för platt tak och LOD2 med takstruktur (Helsinki 2019). Med informationsmodellen som grund finns andra modeller framtagna för att bland annat visa energiförbrukning, vattenkonsumtion och solenergipotential (Helsinki 2020).



Figur 3.4. Ett skärmlapp från den meshmodell som togs fram i Helsingfors 2015, hämtad 28 juni 2021, från <https://kartta.hel.fi/3d/mesh/> © 2021 Microsoft Corporation, Maxar och CNES. Använd enligt upphovsrättsinnehavarens riktlinjer.

2019 presenterades resultatet av projektet The Kalasatama Digital Twins Project. Målet var att ta fram en digital tvilling av hög kvalitet över stadsområdet Kalasatama i Helsingfors och göra den tillgänglig som öppen data. Två tvillingmodeller skapades där den ena var baserad på CityGML 2.0s standard för en semantisk informationsmodell och den andra var en *reality mesh*-modell. En *reality mesh*-modell är en stadsmodell som skapar en visuell geometrisk modell från flygfoton som liknar verkligheten. Informationsmodellen innehåller data om existerande byggnader, byggnader som planeras eller konstrueras, broar, vatten och terräng. Byggnaderna finns i LOD1 och i LOD2. I projektet beskriver de hur man kan använda digitala tvillingar som plattform för simuleringar. Det första exemplet som tas upp är vindsimuleringar som är en viktig del i planerandet eftersom höga byggnader kan ge negativa effekter på hur vinden rör sig i städer. I deras studie gjorde de vindsimuleringar med den digitala tvillingen baserad på CityGML. Utöver vindsimuleringar gjordes även en sol- och skuggstudie. Solstudien visade antalet soltimmar på mark, i innergårdar och i en park. I sina undersökningar kom de fram till att en detaljsnivå i LOD2 gav en tillräcklig noggrannhet (KIRA-digi pilot project 2019).

I Japan har man arbetat med projektet PLATEAU sedan början av 2020 med målet att sprida användningen av 3D-stadsmodeller i landet. En modell skapades i Tokyo som sedan släpptes som en demo för allmänheten i december 2020. Nu arbetar de med att skapa 3D-stadsmodeller i 56 andra städer (PLATEAU u.å.a). Med modellen har de kommit fram till flera användningsområden som hur folk rör sig mellan områden, katastrofhantering och stadsplanering. Men modellen skulle kunna användas för andra tjänster som utforskning t.ex. stadspromenader, turistguidning och spel (PLATEAU u.å.b).

3.1.4 Digitala tvillingar

En digital tvilling är en digital kopia av fysiska objekt och kan även representera städer. För städer innebär det en användning som simuleringar och visualisering av en stad i realtid då den digitala tvillingen uppdateras med hur staden utvecklas. En digital tvilling innehåller flera lager av information som infrastruktur och byggnader, men det kan också innebära rörelse av människor och fordon. Den typen av information kan ge möjlighet till flera användningsområden som är svåra att ta hand om i stadsutvecklingen idag (Digital Twin Cities Centre u.å.).

Det finns ingen exakt definition för en digital tvilling då det är en nyare term som nu blir allt vanligare, speciellt när det är relaterat till städer och den byggda miljön. Det finns däremot likheter mellan begreppen digitala tvillingar och 3D-stadsmodeller. En digital tvilling brukar beskrivas som en 3D-stadsmodell som kan hålla mer information t.ex. sensordata som uppdateras i realtid och utföra simuleringar (Ketzler et al 2020).

3.2 Simuleringar med hjälp av stadsmodeller och digitala tvillingar

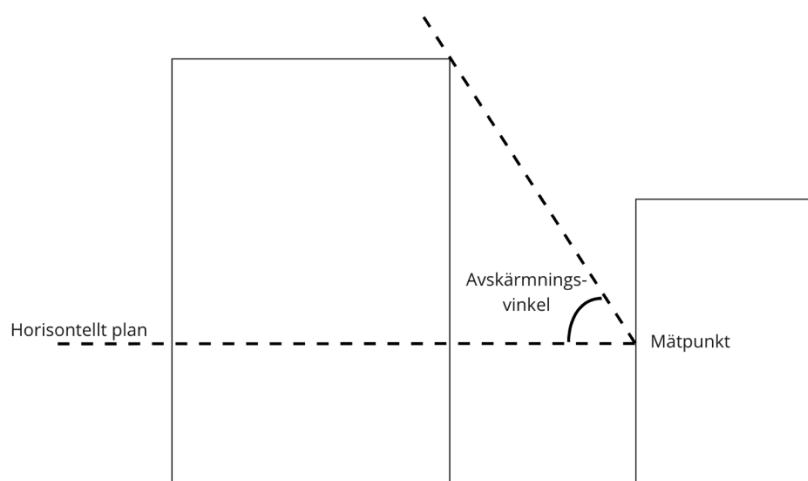
I följande del beskrivs olika metoder för att undersöka och simulera sol-, dagsljus- och bullerförhållanden. Utöver metoder beskrivs även vilken LOD-nivå som rekommenderas för solljussimulering och vilken påverkan datakvalité har.

3.2.1 Simuleringar av sol- och dagsljus

Beräkning av solljus är en av de vanligaste användningarna för 3D-stadsmodeller då man kan uppskatta hur mycket ljus som potentiellt träffar en yta vid ett specifikt datum och tid. Med en 3D-stadsmodell kan man även ta hänsyn till omliggande vegetation och material som kan påverka beräkningen. Med simulering kan man få fram information om byggnadens fasader får tillräckligt med solljus men också att det inte finns risk med för mycket ljus. Information om hur mycket ljus en byggnad får gör det lättare för en planerare att veta hur en byggnad ska formas och om det t.ex. krävs extra isolering. Dessutom kan man med hjälp av simulering ta hänsyn till skuggning som orsakas av omkringliggande byggnader (Biljecki et al. 2015a). Simulerar man i en 3D-stadsmodell kan man även få en bättre visuell förståelse över simuleringsresultatet.

I Boverkets byggregler (BBR) finns det rekommendationer på vilka metoder som ska användas för dagsljussimuleringar. I de allmänna råden avsnitt 6:332 nämns det att man kan använda den upphävda standarden SS 91 42 01. I Rogers et al. (2018) beskrivs de två metoderna som nämns i SS 91 42 01. Den första metoden, glasareametoden, är sällan applicerbar då ett antal förutsättningar måste vara uppfyllda för att använda den. Det finns även andra brister i metoden då värdena kan variera beroende på vilka antaganden som görs och att andra faktorer, som rumsform, inte tas med i beräkningarna. Den andra metoden, dagsljusfaktor, beräknar hur stor del av belysningen från en oskärmad mulen himmel når en punkt i ett rum. Det minimala värdet som anses vara acceptabelt är en dagsljusfaktor på 1%. Rogers et al. skriver att den manuella beräkningsmetoden är svår men att datorbaserade simuleringstekniker har ökat noggrannheten och gjort det möjligt att snabbare göra beräkningarna.

För att beräkna enligt glasareametoden behöver man ta hänsyn till avskärningsvinkeln. För att beräkna avskärningsvinkeln behöver man inte ha information om byggnaders interiör. Man kan därför beräkna vinkeln när man har en byggnadsmodell och gör det möjligt till analyser med hjälp av en 3D-stadsmodell. Avskärningsvinkeln mäts som vinkeln från mitten av ett fönster till toppen av en intilliggande byggnad (se Figur 3.5).

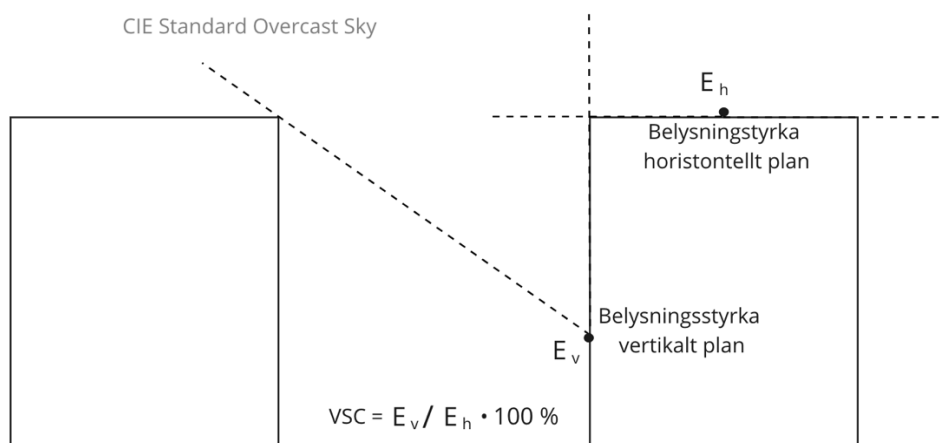


Figur 3.5. Illustration som visar hur man beräknar avskärningsvinkeln.

En metod som inte nämns i BBR men som lyfts av Rogers (2019) är Vertical Sky Component (VSC). I ett tidigare skede i planeringsprocessen, som detaljplaneprocessen, kan man med hjälp av VSC undersöka dagsljusförhållandena i de planförslag som ges. För att undersöka VSC krävs endast enkla byggnadsvolymer för att mäta dagsljus på fasader.

Vertical Sky Component (%) definieras som belysningsstyrkan vid en punkt på ett vertikalt plan under en mulen dag (CIE Standard Overcast Sky) i förhållande till belysningsstyrka på ett horisontellt öppet plan med samma himmel (se Figur 3.6). Beräkningen tar inte hänsyn till reflekterat ljus från byggnader och mark omkring. VSC kan användas i tidiga skeden när man inte har bestämt planlösning och fönsterplacering. Det gör det möjligt att planera var rum som kräver mer dagsljus, som vardagsrum och kök, ska vara placerade. Rum som kräver mindre dagsljus kan därefter placeras där dagsljuskraven inte uppfylls (Littlefair 2011). I Olina & Zaimi (2018) kom man fram till att en VSC på 29% föredras för att uppfylla de krav som ställs inomhus i BBR. Den minst tillåtna gränsen är däremot 15%.

I Littlefair (2011) så jämförs en avskärningsvinkel på 25% eller mindre med en VSC på 27%. I Kanters et al. (2021) beskriver stadsplanerarna från Malmö att de först undersöker avskärningsvinkel vid dagsljusanalys, om den är högre än 45% så görs en vidare undersökning med Vertical Sky Component.



Figur 3.6. Illustration som visar hur Vertical Sky Component (VSC) beräknas.

I BBR finns det inga krav på hur många timmars solljus ett rum ska ha. Däremot i Solklart (1991) rekommenderas det ”Minst 5 timmars sol mellan 9.00 – 17.00 vid vår- och höstdagjämning i bostaden och på närmiljöns lektytor och sittplatser”. Johansson & Yahia (2020) undersöker solljus på mark i ett planerat område i Nyhamnen, Malmö. Området planeras att ha en hög byggnadstäthet med byggnader som varierar mellan fem och sex våningar. Under vår- och höstdagjämningen hade de flesta innergårdar mindre än två timmars solljus, och detsamma gällde vissa av vägarna som går igenom området. Johansson & Yahia (2020) ger förslag på hur området kan förbättras genom att minska takvinkel och antalet våningar på vissa byggnader.

3.2.2 Simuleringar av buller

Med hjälp av 3D-data kan man skapa modeller som simulerar hur människor i urban miljö påverkas av buller och i sin tur veta var man behöver placera ut bullervallar. Simuleringar som dessa hjälper mot ljud som kommer utifrån och som vanligtvis kräver extra beräkningar. Beräkningar som dessa kan göras på enklare 3D-byggnader (LOD1 och LOD2), men information som byggnadsmaterial på väggar kan ge bättre resultat (Biljecki et al. 2015a).

Var femte år ska medlemsländer i EU rapportera in hur många människor som utsätts för buller från bl.a. väg och järnväg. I Sverige har beräkningarna tidigare byggts på nationella

beräkningsmetoder som nordisk beräkningsmodell, reviderad 1996, och Nord2000. Från och med 31 december 2018 ska alla bullerberäkningar göras enligt CNOSSOS-EU (Environmental Noise Directive 2002/49/EC). I Sverige har Trafikverket och kommuner ansvar att göra beräkningarna, men det är Naturvårdsverket som har ansvar för sammanställning och redovisning till EU-kommissionen (Ögren & Bengtsson Rydberg 2015).

För beräkning av buller tar man först hänsyn till källstyrkan. För vägtrafik så tar man hänsyn till relationen mellan däck och vägbanan (rull-ljud) och ljudet från motorn (framdrivningsljud). Dessutom tar man hänsyn till hastighet, vägytans egenskaper och om det finns en väglutning. Utformning av vägar som rondeller och korsningar måste också räknas in. För spårburen trafik påverkas källstyrkan av vilket fordon som körs och hur infrastrukturen är utformad. För fordonet behöver man ta hänsyn till hastighet, längd, utformning och om fordonet bromsar eller accelererar på den aktuella sträckan som undersöks. Infrastrukturen påverkas av spårets typ, om det finns ojämnheter och hur spåret är byggt. När källstyrkan har beräknats tar man hänsyn till andra faktorer som markens utformning, bullerskärmar och husfasader (Ögren & Bengtsson Rydberg 2015).

Vid beräkning av buller ska även trafikmängden beskrivas med ett dygnsekvivalent värde som är baserat på årsdygnstrafik (ÅDT). Fördelningarna delas in i dag, kväll och natt där summan blir 100 procent. En normal fördelning av vägtrafiken är 70%/20%/10% (dag/kväll/natt) om inget annat har redovisats (Boverket 2020i).

I Kumar et al. (2020) beskrivs hur man kan harmonisera en modell enligt CityGML för att kunna göra bullersimuleringar enligt CNOSSOS-EU. Det finns en ADE för buller som är anpassad för Tyskland, den är därför inte applicerbar i alla europeiska länder. Dessutom kan den bara hantera buller från vägar och järnvägar men inte industrier samt spårvagnar. Olika fordon med olika hastigheter kan heller inte hanteras i ADE:n. I studien uppdaterar och utökar Kumar et al. den befintliga ADE:n för buller med egna klasser för att ta hänsyn till fler egenskaper. Den framtagna ADE:n, benämnd *eNoise ADE*, är både anpassad efter INSPIRE och CNOSSOS-EU. I CityGML-klassen *Land Use* kan man spara hur mycket buller markerna absorberar enligt CNOSSOS-EU. Värdena kan anta 0 för hård yta, 1 för mjuk yta och 0.5 för yta som anses vara medium. ADE:n kan också spara information hur mycket trafikmängden (dag/kväll/natt) är på ett vägsegment.

I Stoter et al. (2020) undersöks vilka data som krävs för bullersimuleringar i 3D och hur man kan automatisera processen för att skapa data. De egenskaper som krävs som berör den fysiska miljön är följande: byggnadsmodeller, information om ytor som antingen absorberar eller reflekterar buller, terränghöjd, höjdinformation för broar och korsningar samt bullerskydd. I simuleringsverktyget de använde i studien behövde byggnader vara i LOD1. Fasader får dessutom inte vara detaljerade eftersom det påverkar hur buller reflekteras. För en mer detaljerad bullersimulering görs även byggnader med varierande höjd om till LOD1.3. Skillnaden mellan LOD1 och LOD1.3 är att en byggnad i LOD1 har samma höjd för alla delar av byggnaden, medan LOD1.3 tar hänsyn till de delar som är högre och lägre (t.ex. en byggnad kan ha en del som är fyra våningar och en annan del som har en våning). I resultatet kommer Stoter et al. fram till att deras framställning av LOD1 ger bra värden med en varians runt en decibel i 95% av mätdata. Dessutom kan byggnadsmodeller i LOD1.3 kunna bidra till ett ännu bättre resultat.

3.2.3 Kvalitet på 3D-stadsmodeller

I en 3D-stadsmodell samlas data in på olika sätt med varierande datakvalité och för att stödja simuleringar behöver man ta hänsyn till vilken kvalité som behövs. I Biljecki et al. (2015b) studerade de solstrålning på hustak och beräknade den felfortplantning som sker vid olika nivåer av LOD. I undersökningen betraktade de endast LOD-nivåerna mellan ett och tre då de var mest aktuella för studien. De kom fram till att en lägre LOD-nivå ger ett mer noggrant värde men att osäkerheten mellan LOD2 och LOD3 inte skilde sig avsevärt. En högre nivå av LOD innebär i deras fall inte ett bättre resultat och att det är att föredra att välja en lägre nivå om möjligt.

I en senare studie tittar Biljecki et al. (2018b) vidare och undersöker LOD-nivåer och datakvalité utifrån olika mätfel och hur de enskilt påverkar resultatet. Utifrån resultatet av deras tre undersökningar har noggrannheten på data störst påverkan på resultatet. Som ett exempel i deras fall skriver de att LOD1 med en noggrannhet på 0,2 meter ger ett mer trovärdigt resultat än LOD2 med en noggrannhet på 0,5 meter. I artikeln besvarar de även frågan om vilken LOD-nivå och noggrannhet en 3D-stadsmodell ska ha för analyser. De ger inget exakta svar men kommer fram till i sin slutsats att det LOD3 bidrar med är försumbart om noggrannheten är låg.

I Sverige klassificerar man generellt geodatakvalité och osäkerhet på data i olika nivåer. Nivåerna beskrivs i Lantmäteriets *Handbok i mät- och kartfrågor* (HMK) s.k. HMK-standardnivåer. Standardnivåer fungerar som rekommendationer för val av metod och påverkar i sin tur genomförandet av insamling av geodata och inom vilka användningsområden geodatan kan användas. HMK-standarden är indelad i fyra nivåer, HMK-standardnivå 0 till HMK-standardnivå 3 (Lantmäteriet 2017).

HMK-standardnivå 0 används vid global eller nationell mätning och har en lägesosäkerhet på en meter eller sämre. Geodainsamlingen sker genom absolut positionering med GNSS och satellitbilder med en upplösning på en halv meter eller sämre. Standardnivå 1 är anpassad för nationella och regionala mätningar och används t.ex. till översiktsplanering. Lägesosäkerheten är mellan en meter och en decimeter, och använder flygbilder och dGPS/dGNSS för datainsamling. HMK-standardnivå 2 används för mätningar som berör detaljplanering och har en osäkerhet på decimeter eller bättre. Vid insamling av geodata används totalstation eller Nätverks-RTK och flygbilder med en upplösning på en högst en decimeter. Den sista nivån, HMK-standardnivå 3, används vid projektering och byggnation av byggnader och infrastruktur. Lägesosäkerheten är fem centimeter eller bättre, och använder totalstation eller Nätverks-RTK i kombination med bilder från helikopter eller markfordon. I standardnivå 3 kan även laserskanner och drönare användas (Lantmäteriet 2017).

Den osäkerhet som Biljecki et al. (2015b; 2018b) använder i sin studie skulle motsvara en HMK-standardnivå 1 eller högre. Från deras slutsats skulle däremot en HMK-standardnivå på 2 eller högre vara bättre på en 3D-stadsmodell för att stödja simuleringar.

3.3 Simuleringsverktyg

Det finns flera simuleringsverktyg för att beräkna och undersöka om planförslag uppfyller de krav som ställs. Nedan beskrivs det program som används i examensarbetets fallstudie.

3.3.1 Spacemaker AI

Spacemaker är ett simuleringsverktyg för att hjälpa arkitekter, stadsplanerare och utvecklare vid stadsplanering. Den är anpassningsbar och kan ta emot information som en användare lägger till. Systemet tar fram flera lösningar från de data och krav som finns och returnerar de bästa förslagen som kan enkelt justeras för att ge mer form (Spacemaker AI u.å.b).

Utöver design och utformning för byggnader, finns det även funktioner som analyserar resultatet för att ta hänsyn till de byggnadskrav som ställs. Några av funktionerna inkluderar ljus, buller, vind och utsikt från lägenhet. Har man flera lösningar kan man också sätta förslagen mot varandra och mäta resultatet från simuleringarna för att bestämma vilken lösning som är bäst för området (Spacemaker AI u.å.b).

4 Vision av användning av 3D-stadsmodeller för att stödja simuleringar i planeringsprocessen

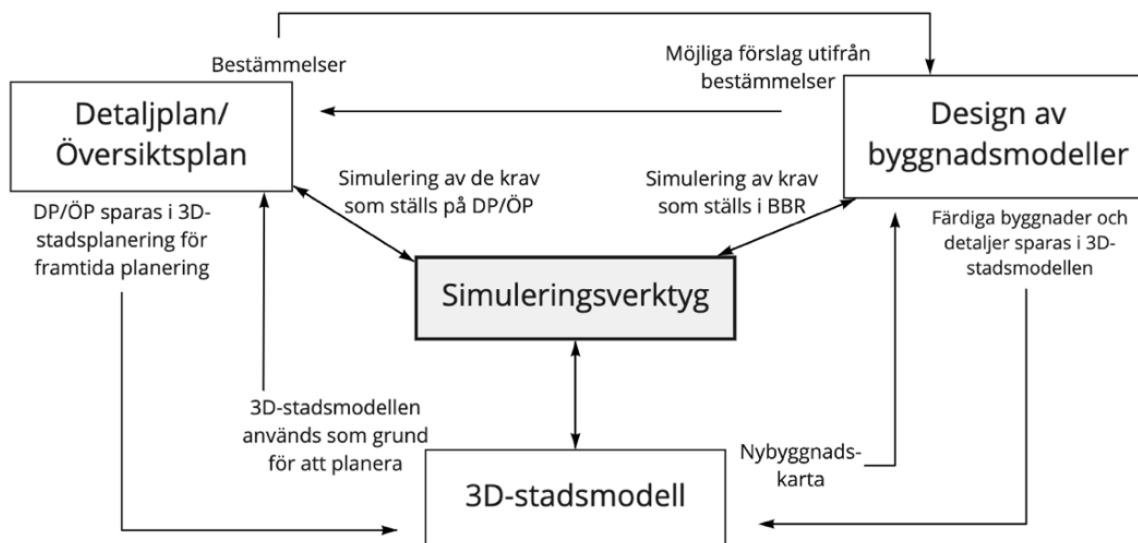
För att kunna använda en 3D-stadsmodell i planeringsprocessen behöver den vara utformad så att den kan stödja de undersökningar och analyser som görs för att uppfylla kraven som ställs i de tidigare delarna av planeringsprocessen. I kapitel 2.4 *Simuleringsbehov i stadsplanering* presenterades detaljerade exempel som en kommun måste ha tagit hänsyn till vid framtagandet av en ny översiktsplan och detaljplan. Figur 2.3 visar delar i planeringsprocessen där simuleringar kan göras och som en 3D-stadsmodellen skulle kunna stödja. Utveckling av 3D-stadsmodeller kräver specifikationer och standarder för hur geodata ska sparas, men också en plan på hur modellen ska kunna användas i de olika delarna av planeringsprocessen.

I Harrie et al. (2021) beskrivs det hur en 3D-stadsmodell kan användas för buller- och solenergisimuleringar. I artikeln beskrivs deras vision och design av en 3D-stadsmodell från ett svenskt perspektiv och baserad på 3CIM. De beskriver även att detaljplaner kan bestämma hur byggnader ska vara utformade i ett tidigt skede. I dessa fall behöver man i ett tidigare skede göra de simuleringar som vanligtvis görs senare i planeringsprocessen. Görs simuleringar redan vid detaljplaneringen kan det underlätta de problem som nämndes i kapitel 2.4.5 *Utmaning att uppfylla alla krav*.

I planeringsprocessen ställs mer krav än de som nämns i Harrie et al. (2021), men deras modell kan användas som grund för en vision som täcker större delar av planeringsprocessen.

Modellen från Harrie et al. och de krav som tas upp i Figur 2.3 ligger till grund för visionen i Figur 4.1. 3D-stadsmodellen innehåller alla geodata som krävs för att få en överblick över staden, men också för att stödja planering och simuleringar. Med en 3D-stadsmodell kan simuleringar göras för att undersöka områden som kan förbättras (t.ex. områden med högre risk för översvämning och buller) och vilka områden det ej kan byggas på (t.ex. platser med risk för erosion, ras och skred). Resultatet från simuleringsverktygen kan sparas i 3D-

stadsmodellen för att underlätta planering av översiktsplan (ÖP) och detaljplan (DP). Vid ÖP och DP tar man hänsyn till krav som kräver vidare simuleringar och har man fler förslag är det viktigt att man kan väga för- och nackdelar mot varandra. Då krav ställs vid olika skeden i planeringsprocessen behöver man tidigt undersöka byggnadsmöjligheter i detaljplaneområdet. Design av byggnadsmodeller kan i sin tur göras med hjälp av program med hänsyn till bestämmelser från DP och krav i BBR. Vid simuleringar av byggnadsmodeller behöver man ta hänsyn till omkringliggande byggnader och trafik som hämtas från 3D-stadsmodellen. Det förslag med färdiga byggnadsmodeller som tas fram i DP sparas sedan i 3D-stadsmodellen där de även kan visualiseras.



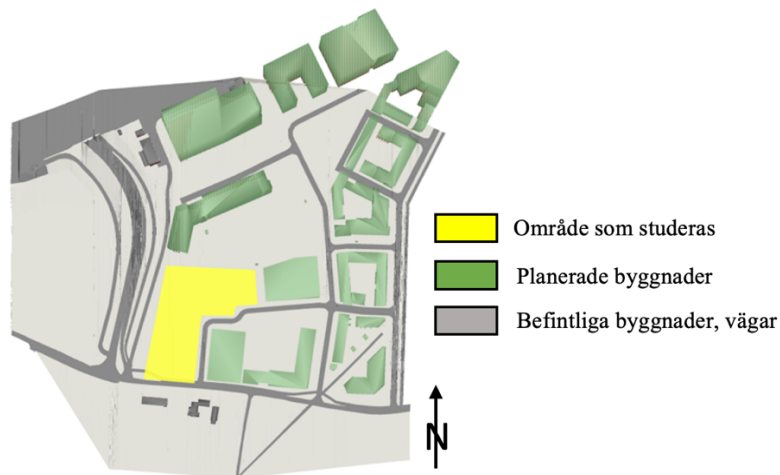
Figur 4.1. Figuren visar datahanteringen och hur en 3D-stadsmodell kan användas i planeringsprocessen för att stödja simuleringar i de olika skedena.

5 Fallstudie

5.1 Studieområde

Området som studerades i fallstudien är ett område i Hyllie, Malmö, som har valts ut av Malmö stad. Valet påverkades av dess aktualitet och storlek för studien. Vid val av område sattes två kriterier till Malmö stad som de använde för att hitta ett område. Det första kriteriet var en önskan om en aktuell plan där detaljplanen planeras eller ska planeras i närtid. Det andra kriteriet var att det ska vara ett mindre område så att man inte behöver hantera stora mängder av data i studien. Det område som därmed valdes ut och studerades är markerad i Figur 5.1.

Området är i början av ett pågående planarbete och detaljplanen planeras att antas 2023. Området ska vara tätt och grönskande, där man kombinerar bostäder och verksamheter. Ett förslag är att det ska tillkomma ungefär 150 bostäder och ungefär 4000 kvadratmeter BTA kontor. Det valda området är den sista oplanerade delen av ett större område som planeras att byggas. De detaljplaner som är omkring området består av byggnader som varierar med fyra till sju våningar (Malmö stad 2021). De simuleringar och resultat som gjordes i denna fallstudie kan fungera som underlag för framtagandet av detaljplanen.



Figur 5.1. De data som tillhandahölls från Malmö stad visualiserats i FME.

5.2 Val av simuleringsverktyg

Examensarbetet fokuserar på hur simuleringar kan tillämpas i planeringsprocessen med 3D-stadsmodeller. Syftet är att få en förståelse för vilka simuleringar som behövs göras i översiktsplanering och detaljplanering. Flera av de verktyg som används inom planeringsprocessen idag är specialiserade på en viss simulering och behöver detaljerad information om byggnaders exteriöra men också interiöra egenskaper. Beräkningarna i dessa simuleringsverktyg kan dessutom ta längre tid för att ta hänsyn till alla detaljer. Dessa verktyg är därför inte alltid användbara i översiktsplanering och tidigt i detaljplaneringen.

För val av simuleringsverktyg är det fördelaktigt om man kan utföra olika simuleringar, och att det är simuleringar som vanligtvis görs under detaljplaneprocessen. Spacemaker (se avsnitt 3.3.1) erbjuder ett program som skapar byggnader utifrån krav som undersöks i planeringsprocessen, men kan också göra olika typer av simuleringar. Programmet kan också användas för detaljplanering som är det som undersöks i examensarbetet. Spacemaker ger därmed möjlighet att underlätta de problem som nämns i avsnitt 2.4.5 *Utmaning att uppfylla alla krav*.

5.3 Geodata för simuleringarna

När ett projekt skapas i Spacemaker hämtas det automatiskt data som krävs för att köra simuleringar från olika källor men man kan komplettera med egna data (vilket görs i studien). Spacemaker hämtar information om befintliga byggnader och terräng från Lantmäteriets *Laserdata NH*. Data för vägar och trafikmängd hämtas från Trafikverkets *NVDB* (Spacemaker AI u.å.d).

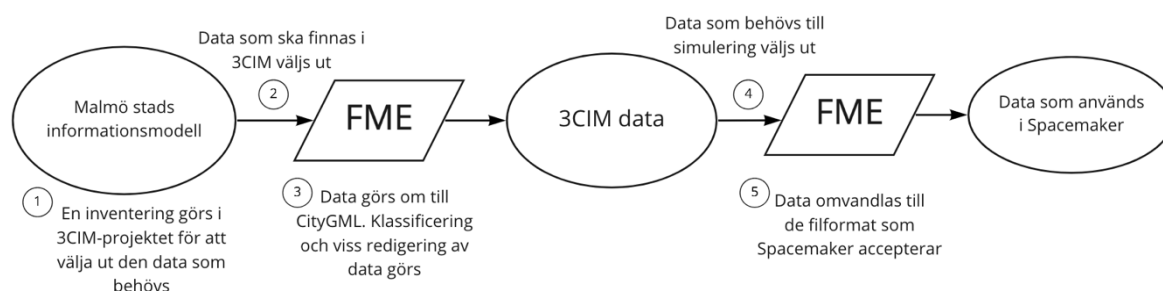
Den data som användes i studien erhöles från Malmö stad och är den data som har tagits fram i 3CIM-projektet. Data valdes ut efter vad som ansågs behövas i simuleringarna (se Tabell 5.1).

Tabell 5.1. De data i 3CIM-projektet som erhöles av Malmö stad.

Data	Filformat
Primärkarta (bro, brunnar, byggnader, cykelväg, gångvägar, järnvägar, murar, spårväg, terrängmodell, vattenlinjer, vattenytor, vägar)	DWG
Byggnader (befintliga och planerade)	DWG, Sketchup
Terrängmodell (1m grid)	ASCII Grid, Geotiff, XYZ

5.3.1 Konvertering från Malmö baskarta till 3CIM stadsmodell

3CIM ska vara baserad på CityGML. De data som däremot erhöles från Malmö stad för befintliga förhållanden är sparade i Malmöns interna informationsmodell, vilket innebär att det krävs bearbetning för att spara data enligt CityGML. Per-Ola Olsson, Lunds universitet, konverterade Malmöns data till en tidig version av 3CIM-modellen (i stort sett CityGML 2.0) som användes i detta examensarbete. I konverteringen ingick klassificering av data och redigering av geometrier (framför allt skapande av ytgeometrier utifrån linjegeometrier för vägar etc.). Arbetet utfördes i ETL-verktyget FME¹. Processen från att omvandla data från Malmö stads informationsmodell till importering till Spacemaker sammanfattas i Figur 5.2.



Figur 5.2 Flöde som visar bearbetning av indata till Spacemaker.

För att importera geodata till Spacemaker behövde de uppfylla de krav som ställs och data tilläts endast i vissa format (se Tabell 5.2). För byggnader ställs krav på utformning. Alla byggnader får endast ha platta tak (motsvarande LOD1) och måste förenklas om det finns volymer som hänger över (t.ex. balkong), om det finns geometrier som överlappar eller om byggnader som ska sitta ihop är definierade som två olika objekt (kan påverka dagsljussimulering på fasader). För information som vegetation måste alla geometrier endast innehålla polygoner och ingen data får överlappa.

Tabell 5.2. De accepterade filformat vid import för olika geometrier i Spacemaker.

Geometri	Accepterade filformat
3D byggnader	IFC, OBJ
Vektorer	DXF, JSON, GEOJSON, GML, Shapefile

Alla FME-skript från konvertering till godkända filformat (punkt 5 i Figur 5.2), omvandla IFC till CityGML och visualisera data finns på GitHub (github.com/em2231/master-thesis). Skripten är publicerade under den öppna källkodslicensen Berkley Software Distribution BSD (<https://opensource.org/licenses/BSD-3-Clause>).

¹ <https://www.safe.com/fme/>

5.3.2 Bullerdata

För att kunna göra bullersimuleringar behövde man lägga till egen trafikinformation. När man skapade sitt projekt hämtar Spacemaker de data de kan få tag på från Trafikverkets NVDB, men det innebär att det i vissa fall saknas information eller att informationen inte gäller längre (beror på när Trafikverket uppdaterar sin data). Eftersom studieområdet och deras omgivningar är under uppbyggnad är aktuell trafikinformation inte relevant, och därför behövdes prognoser om trafikflödena. För att få prognosticerad vägtrafikinformation om Hyllie och formel för att beräkna ÅDT, kontaktades en trafikplanerare (Nilsson, personlig kommunikation) vid Malmö Stads fastighets- och gatukontor. Värdena är sammanställda i Tabell 5.3. För hastighetsbegränsningar kontaktades utredare (Melin, personlig kommunikation) vid Malmö Stads fastighets- och gatukontor. I området och vägarna omkring är det reglerat 40 km/h och det planeras inte att ändras i närtid.

Tabell 5.3. Vägtrafikprognos år 2040 för alla gator runt det planerade området i Hyllie.

Gata	Trafik år 2040 medelvardagsdygnstrafik (MvDT)	Andel tung trafik år 2040 (%)
Almviksvägen väster om Sivåkersvägen	4000 till 5000	10
Almviksvägen öster om Sivåkersvägen	4000 till 5000	7
Sivåkersvägen norr om Almviksvägen	4000	10
Skivaregatan norr om Almviksvägen	2000	2
Yllegatan	Under 500	1 till 2
Bomullsgatan	Under 500	1 till 2
Lingatan	Under 500	1 till 2

För de uppskattade värdena som har ett intervall beräknades medelvärdet (t.ex. $(4000+5000)/2 = 4500$) och för de värden som har 'under' valdes maxvärdet (Under 500 får värdet 500). I Malmö används medelvardagsdygnstrafik (MvDT) för bullerberäkningar, där värdet är medelvärdet av alla vardagar (måndag till fredag). Däremot kräver Spacemaker årsdygnstrafik (ÅDT) som är genomsnittet av alla dagar under året. Tabell 5.4 visar den beräknade ÅDT för vägarna.

Följande formel används i Malmö Stad för att ta fram ÅDT (Nilsson, personlig kommunikation):

$$\text{ÅDT} = 0.91 * \text{MvDT}$$

Konstanten är ett värde som gäller i Malmö stad för att omvandla MvDT till ÅDT.

Tabell 5.4. Årsdygnstrafik år 2040 för alla gator runt det planerade området i Hyllie.

Gata	Trafik år 2040 årsdygnstrafik (ÅDT)
Almviksvägen väster och öster om Sivåkersvägen	$(4000+5000)/2 * 0.91 = 4095$
Sivåkersvägen	$4000 * 0.91 = 3640$
Skivaregatan	$2000 * 0.91 = 1820$
Yllegatan; Bomullsgatan; Lingatan	$500 * 0.91 = 455$

För trafikprognos på järnvägen användes Trafikverkets *Trafikuppgifter järnväg T21 och bullerprognos 2040* (Trafikverket 2021). Enligt basprognosen ska sträckor som överlappar summeras för att få den totala trafiken. Sträckorna som tas med i beräkningen är 'Hyllie – Lernacken' och 'Hyllie – Svågertorp' (se Tabell 5.5). Hastigheten bestäms av den största tillåtna hastigheten (STH) för de tåg som går på sträckan och vad som är tillåtet på spåret. För

STH *tågtyp* användes Trafikverkets basprognos från 2040 och för STH *sträcka* användes Trafikverkets *NJDB på webb*². På sträckan Hyllie - Lernacken är hösta tillåtna hastigheten enligt STH *tågtyp* 180 km/h och enligt STH *sträcka* 160 km/h. För sträckan Hyllie – Svågertorp är högsta tillåtna hastigheten enligt STH *tågtyp* 160 km/h och enligt STH *sträcka* 100 km/h. De hastigheter som användes i Spacemaker är därmed 160km/h för Hyllie – Lernacken och 100km/h för Hyllie – Svågertorp.

Tabell 5.5. De värden i Trafikverkets basprognos för 2040 som används för bullersimuleringar i studien.

Sträcka	Totalt antal tåg (ÅDT)	Antal tåg 06-22 (ÅDT)	Antal tåg 18-22 (ÅDT)	Antal tåg 22-06 (ÅDT)	Tåglängd medelvärde (m)
Hyllie - Lernacken	158,4	99,7	28,7	30,1	154
Hyllie - Svågertorp	205,5	136,8	44,0	24,7	105

5.4 Simulering i Spacemaker

Verktyget i Spacemaker gör en optimering från inställningar där man också kan ta hänsyn till bl.a. krav om solljus och dagsljus. Vid optimeringen tar programmet fram förslag som bäst uppfyller de krav och inställningar användaren ställt. I studien så togs byggnadsmodeller fram enligt denna optimering och flera förslag valdes efter högt BTA, BYA och antal byggnader. Därefter simulerades förslagen enligt buller, solljus, avskärningsvinkel och Vertical Sky Component samt förslagen jämfördes med varandra. Det förslag som ansågs vara det bästa utav alternativen exporterades sedan.

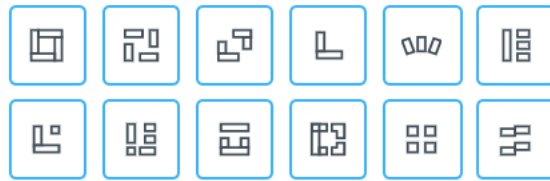
5.4.1 Genererande av byggnadsmodeller

Nya byggnadsmodeller genererades med hjälp av Spacemakers AI där man kan ställa in form på byggnader men också krav som dagsljus och solljus. Verktyget genererade byggnader inom det valda området med hänsyn till kraven som ställts samt omkringliggande byggnader, vägar och vegetation. Byggnader kunde skapas på hela ytan och det var därmed viktigt att byggnaderna inte överlappade med t.ex. vägar. Den data som innehöll vägar i 3CIM-modellen användes för att ändra ytan så att den inte överlappar med befintliga vägar

I Spacemaker skapades byggnadsobjekt med en funktion som undersöker alla möjliga utformningar. För byggnaders egenskaper användes Spacemakers standardinställningar: byggnaders bredd är 12 meter, buffer från linje (väg genom området) är 12 meter, dimension på tornbyggnad³ är 18 meter. Alla utformningar på byggnader tilläts (se Figur 5.3). För höjd ställdes den in till varierad, höjden kunde variera mellan fyra och sju våningar med en median på fem. Valet av antalet våningar dikterades utefter vad som står i planuppdraget, de omkringliggande planerade byggnaderna är fyra till sju våningar höga (Malmö stad 2021). Storlek på lägenheter sattes till "flexible", annars behöver man manuellt skriva in fördelningen (%) av hur stora lägenheterna ska vara.

² <https://njdbwebb.trafikverket.se/>

³ *Tower building* – i vissa utformningar tilläts kvadratiska byggnader, bredden på dessa byggnader bestäms enskilt



Figur 5.3. Ett skärmbild från simuleringsverktyget Spacemakers funktion för att skapa byggnadsobjekt. Bilden visar alla möjliga utformningar som de kan generera. Alla utformningar är markerade och används i studien.

Kraven i Spacemaker kan ställas utifrån dagsljusbehov enligt avskärningsvinkel, Vertical Sky Component (VSC), solljus och vy till grönytor. I studien genererades byggnader enligt avskärningsvinkel, VSC och antal solljustimmar. Väljer man avskärningsvinkel krävdes det inga extra inställningar. För de byggnader som är genererade efter VSC används kravet 29% efter rekommendationen i Olina & Zaimi (2018). De byggnader som genererades efter solljuskraV ställdes in utefter de rekommendationer som nämns i Solklart (Boverket 1991). De inställningar som användes är därmed: 20 mars för datum, 09.00-17.00 för tid och krav på fem timmars solljus.

De förslagna byggnadsmodellerna som togs fram av Spacemaker varierar i storlek och form. För att minska antalet, filtrerades resultatet på minsta BYA så endast en BYA på minst 4000 m² visades (utefter hur mycket BTA kontor som lovades i planuppdraget). Förslag valdes från hög bruttoarea (BTA), hög byggnadsarea (BYA) och antal byggnader för de tre kraven. I vissa fall rekommenderas samma utformning (t.ex. den som har högst BTA kan dessutom ha högst BYA), då valdes det högsta i den ena och det näst högsta i andra alternativet.

5.4.2 Bullersimuleringar

Bullersimuleringar gjordes enligt CNOSSOS-EU (direktiv 2002/49/EG) och bullergränserna som ställdes in för trafik och tåg är 60 dB enligt Förordning (2015) om trafikbuller vid bostadsbyggnader. Spacemaker tar också hänsyn till hur mark absorberar ljud och klassificerar det i tre marktyper: *mjuk*, *medium* och *hård*. Vegetation räknas som *mjuk* och absorberar mycket. Byggnader, vägar och järnvägar räknas som *hård* och absorberar ingenting. De data som inte är specificerade hamnar under kategorien *default* och räknas som *medium*, de får en låg absorptionsförmåga. All mark klassas som *default* om man inte lägger till egna data och manuellt väljer en av de ovannämnda marktyperna. De data i 3CIM som innehåller markanvändning användes för att klassificera den mark som är *mjuk*. Skog fick höjden tre meter enligt 3CIM. De data som har klassificerats som gräsmark, lantbruk och trädgård behövde ha en höjd. Eftersom den informationen inte finns i 3CIM gjordes ett antagande och höjden sattes till 10 centimeter.

5.4.3 Sol- och dagsljussimuleringar

Spacemaker erbjuder tre olika sol- och dagsljussimuleringar. Den första är solljussimuleringar som är baserat på ett datum, tid och antal timmar. Solljussimuleringen visar tillgång till direkt solljus på tak, fasader och mark. Det andra simuleringsalternativet är avskärningsvinkel. Det tredje är dagsljussimulering med hjälp av Vertical Sky Component. De två sistnämnda

simuleringarna erbjuder möjlighet till att se simuleringsresultat totalt för alla fasader men också hur det skiljer sig på första våningen (där det är svårast att uppfylla kraven).

5.4.4 Jämförelse och slutligt val av förslag

De valda byggnadsförslagen jämfördes med varandra genom funktionen *Compare*. *Compare* delar in olika simuleringar i kategorier där man kan jämföra skillnaderna. T.ex. kan man undersöka andel procent för fasader som har en ljudnivå under 60 dB. *Compare* kan jämföra upp till fem förslag samtidigt. Om det finns fler än fem alternativ behöver man därmed ta bort ett förslag i *Compare*-funktionen för att undersöka en annan. För enkelhetens skull valdes det bästa alternativet utifrån de tre alternativ som finns för avskärningsvinkel, VSC och solljus. Därefter jämfördes de tre sista förslagen med varandra. Alternativet som hade bättre värden med hänsyn till de krav som ställs i BBR valdes. Uteslutning skedde i ordningen som de visas i funktionen: sämst antal timmar solljus mellan 09.00-17.00 på fasad och mark, sämst antal procent för ett VSC över 20%, sämst värden av buller på fasad och mark.

Spacemaker kan exportera de simulerade byggnaderna i OBJ- och IFC-format och statistik kan fås ut i en excelfil. I studien exporterades byggnader i IFC-format.

5.5 Anpassning av data till 3CIM-modellen

Vid exportering med IFC fick man element av klasserna t.ex. *IfcBuilding*, *IfcSite* och *IfcBuildingElementProxy*. För studien var det element som mest relevant *IfcBuildingElementProxy* då den innehöll den valda byggnadens geometri. Den geometrin som man fick ut från Spacemaker innehöll dessutom information om varje enskild lägenhet. CityGML 2.0 kan inte hantera indelning av lägenheter. För att anpassa datan till 3CIM så behövdes byggnaderna därmed konverteras och förenklas. Eftersom de förslagna byggnaderna är en enkel byggnad utan information om tak så valdes CityGML LOD1.

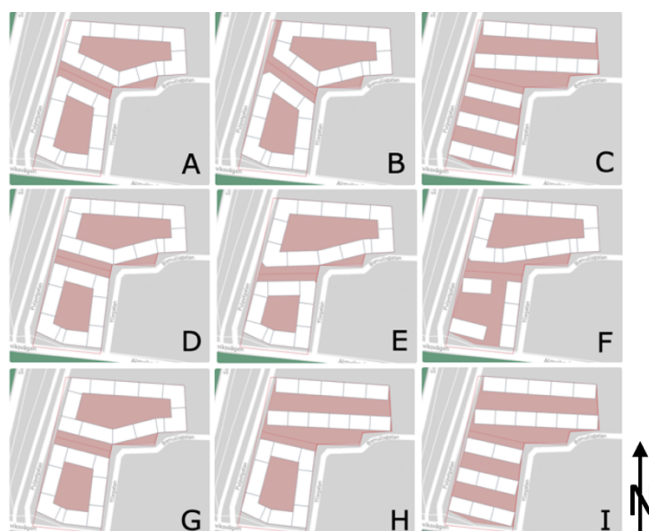
Konvertering av data från IFC till CityGML skedde i flera steg i FME Workbench. Skriptet som användes togs fram av Colucci et al. (2020) och har anpassats för studien för att omvandla lägenheter till byggnader. Byggnaden togs fram i den del som är benämnt *BuildingPart*. I det första steget i processen konverterades geometrin till enkla ytor (surface) som aggregerades enligt "building id" för att ta bort de enskilda lägenheterna. I stället för enskilda lägenheter fick man därmed endast en byggnad ut. Därefter sattes dess ID för byggnaden och en länk till dess förälders ID. I näst sista steget bestämdes LOD-nivån och dess roll. För att stämma in med de resterande byggnaderna i 3CIM så fick byggnaden LOD-namnet *lod1MultiSurface* och rollen *cityObjectMember*. Slutligen exporterades byggnaden till CityGML.

Visualisering skedde i FME Workbench tillsammans med de geodata som erhöles av 3CIM.

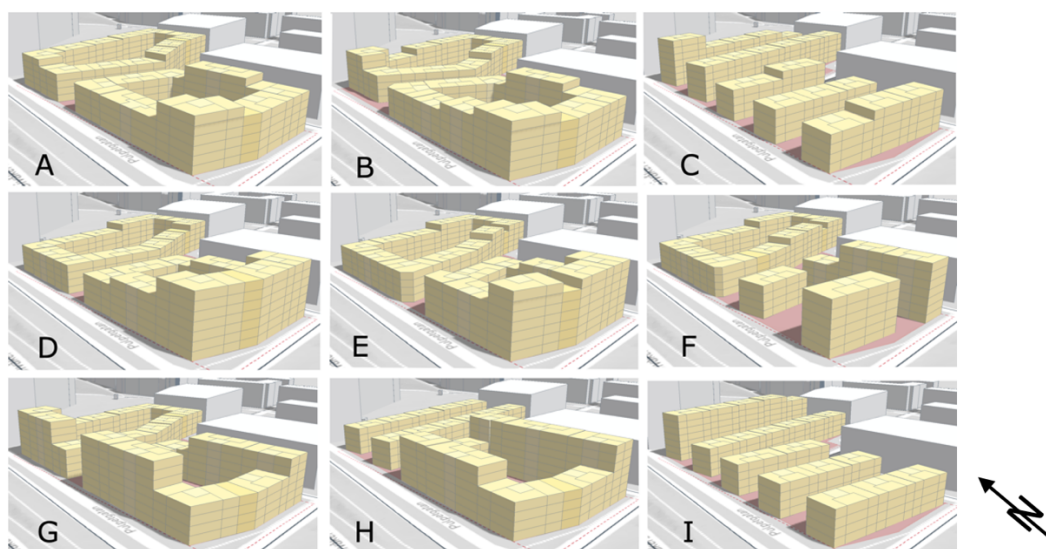
5.6 Resultat

5.6.1 Förslag på byggnader efter sol- och dagsljuskrav

Spacemaker tog fram flera förslag på byggnadsmodeller för de olika kraven som gjordes. Vid krav på god avskärningsvinkel fanns det totalt 81 förslag, för Vertical Sky Component (VSC) 76 förslag och för solljus 79 förslag. I Figur 5.4 och Figur 5.5 visas de alternativen som valdes enligt god avskärningsvinkel, VSC och solljustimmar. A till C var de förslag som togs fram enligt avskärningsvinkel. D till F togs fram enligt VSC. G till I var de förslag som togs fram enligt antal solljustimmar. Första kolumnen har valts efter BTA, andra har valts efter BYA och tredje har valts efter antal byggnader. Då minsta BYA sattes till 4000 m² finns det likheter mellan utformning på marken, där t.ex. C och I har samma utformning på mark. Däremot är ingen av förslagen exakt samma och i Figur 5.5 kan man se ur våningarna skiljer sig mellan alla förslagen.



Figur 5.4. De valda förslagens utformning ovanifrån.

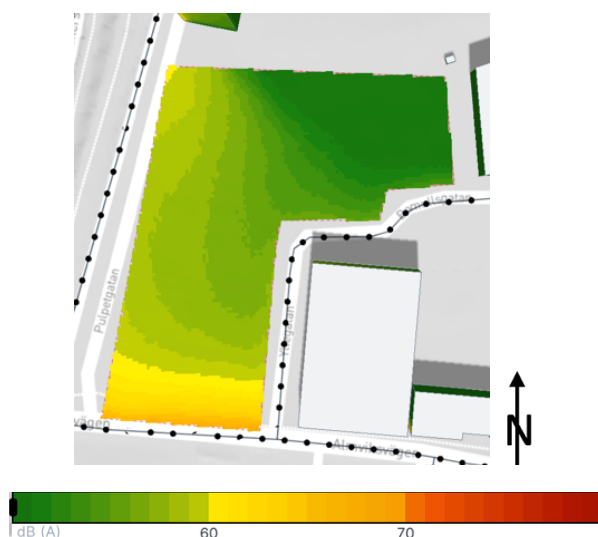


Figur 5.5. De valda förslagens variation i höjd.

Bland förslagen kan man se skillnader i våningshöjd mellan de som gjordes enligt avskärningsvinkel (A-C), VSC (D-F) och de som har gjordes enligt solljustimmar (G-I). Då solen ligger åt syd så är antalet våningar i södra delen i G, H, I sänkta och har en maxhöjd på fyra våningar. Eftersom VSC inte tar hänsyn till solens placering (beräkning görs med hänsyn till en mulen himmel) så kan man i stället se högre våningsantal (se D, E och F i Figur 5.5 där det är sju våningar på södra delen).

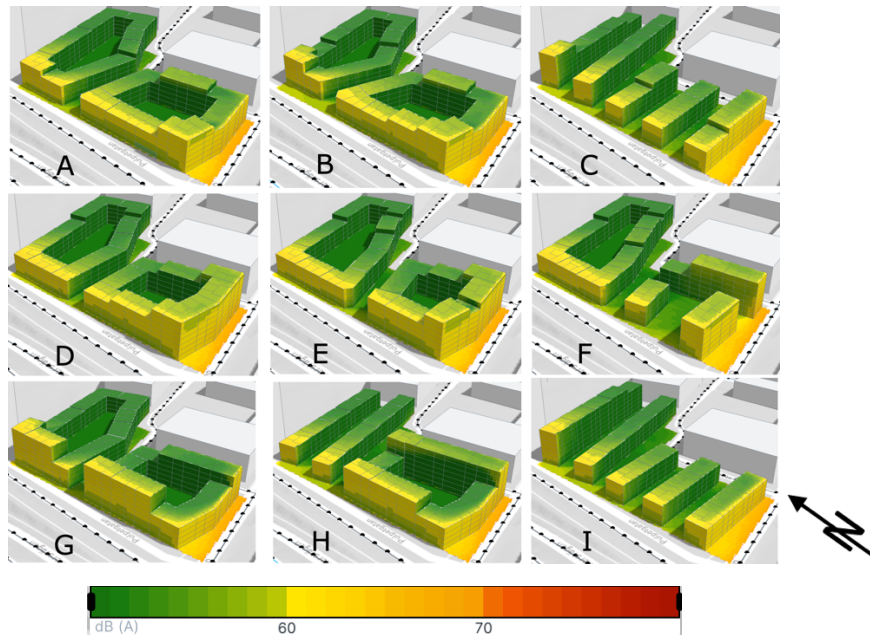
5.6.2 Simuleringar i Spacemaker

För bullersimulering kunde man simulera buller från vägar och järnvägar var för sig men också det totala bullret. I Figur 5.6 visas det totala bullret som området utsätts för. I den nordvästra delen av området kan man se att buller från järnvägen når området. Eftersom den södra vägen (Almviksvägen) ligger nära inpå visas det högre bullernivåer på den södra delen. De simuleringar som gjordes har intervallet 50dB och 80dB, där allt som är gult har 60dB eller mer. De ytor som har 70dB skulle visas som röd, i området fanns det ingen yta i denna analys som hade en ljudnivå över 70dB.



Figur 5.6. Den totala bullernivån simulerat på studieområdet.

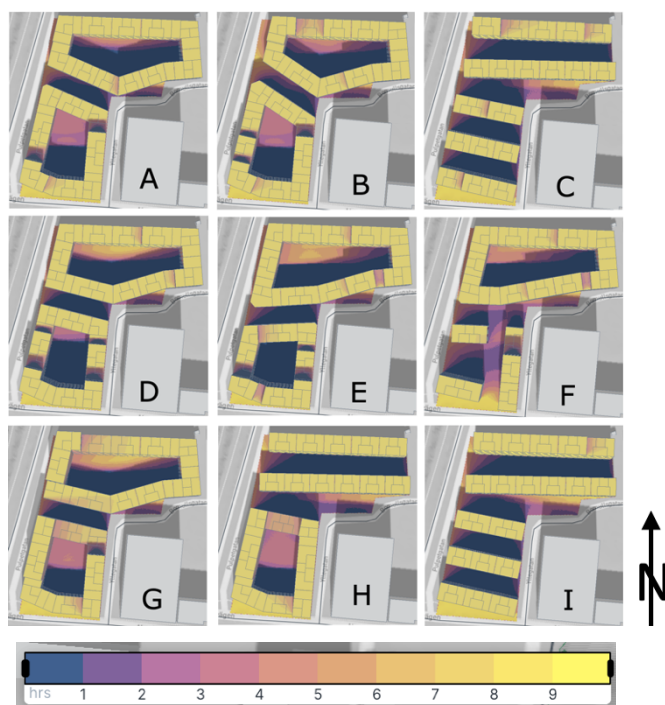
Resultatet av bullersimulering på de olika förslagen visas i Figur 5.7. Vid jämförelse av A till I kan man se hur de med innergårdar skyddar helt från buller till skillnad från C, F, H och I. D och I ger inget skydd alls och vill man ha en uteplats med en ljudnivå på 50dB eller lägre så finns det större utrymme mellan de två norra byggnaderna. I F är den norra innergården skyddad men den södra delen är öppen mot Sivåkersvägen (vägen till väster) och släpper därmed in buller som är större än 50dB. Inget av förslagen hade en bullernivå på över 70dB i denna analys. I alla förslagen kan man se att Almviksvägen (vägen till söder) ger ifrån sig mest buller av de olika bullerkällorna. Buller från järnvägen kan man se i den nordvästra delen av B, C, G och I eftersom byggnaderna är höga i den nordvästra delen. Tittar man närmre i statistiken så kan man se hur många procent av ytan har en ljudnivå på 50dB eller lägre. För förslagen är det följande: A 75%, B 71%, C 46%, D 75%, E 71%, F 43%, G 75%, H 64% och I 46%



Figur 5.7. Bullersimulering för de olika förslagen där man har tagit hänsyn till buller från både väg och järnväg.

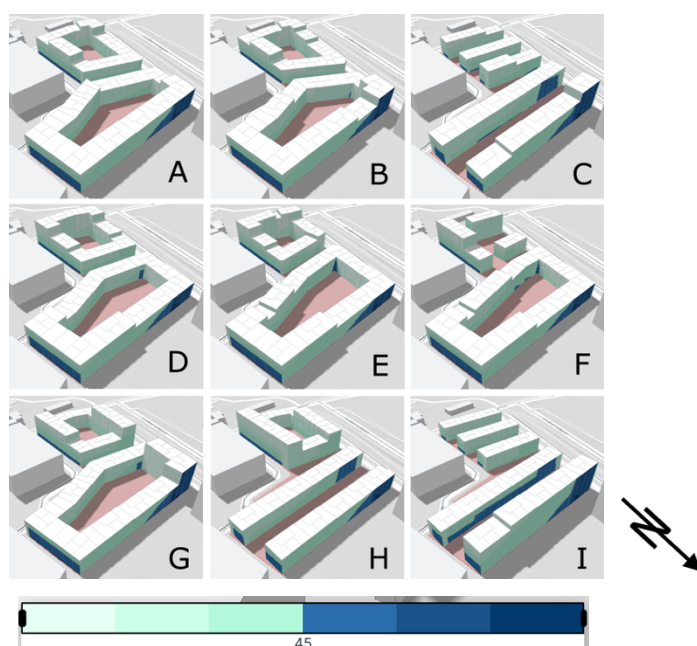
I solljussimuleringarna i Figur 5.8 märks det tydligt hur högt BTA (med minst 4000 m² BYA i detta fall) påverkar tillgång till solljus på mark och att är svårt att uppfylla det som nämns i Solklart. Intervallet för simuleringen är indelad från noll till nio timmar där de delar som når minst fem timmars solljus är orange och ljusare. Solljussimuleringen har inställningar 20 mars där tiden som analyseras är mellan 09.00 och 17.00. Det innebär att det kan högst vara åtta timmar i detta fall.

När förslagen G, H och I skapades enligt solljuskrav så kan man här se att verktyget tog hänsyn till fasader. I förslag I finns det ingen tillgång till solljus på mark mellan byggnaderna men däremot finns det en större yta i den södra delen (mot Sivåkersvägen) som har tillgång till 8 timmars solljus. I G och H som i stället har innergårdar är värdena på marken bättre. För D, E, F som skapades enligt Vertical Sky Component är de södra väggarna högre (upp till sju våningar) och det gör att de södra innergårdarna har lite till ingen tillgång till solljus. Däremot har de norra innergårdarna i D och E bättre värden och har en större yta där man kan få tillgång till direkt solljus. I F är de södra byggnaderna placerade så att mer solljus kommer in. I A, B och C som har skapats enligt avskärningsvinkel fanns det inte många delar som var över sex och sju våningar. I A och B har därmed innergårdarna bättre tillgång till solljus, C har samma problem som förslag I. Utöver att se simuleringarna kan man få ut statistik om antalet timmar. Resultatet för simuleringen där tillgång till solljus på marken är minst fem timmar kan sammanfattas som följande: A 10%, B 13%, C 14%, D 17%, E 14%, F 17 %, G 17 %, H 11% och I 15%.



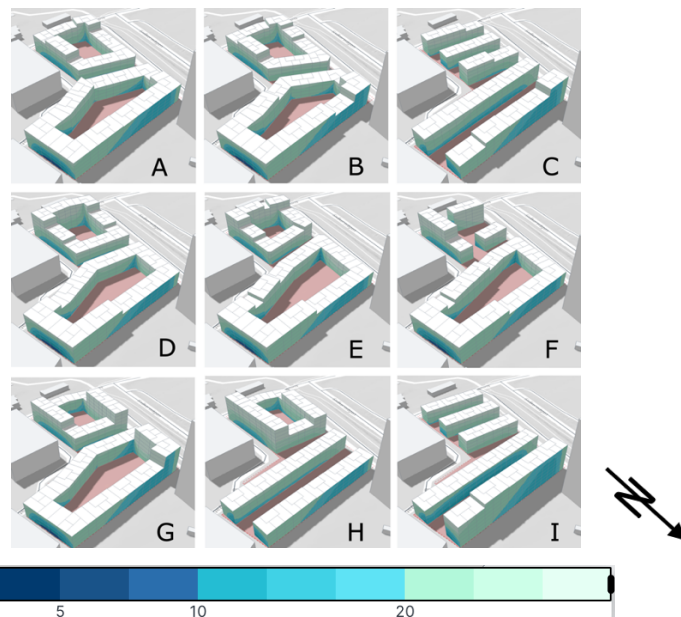
Figur 5.8. Förslagens tillgång till solljus 30 mars mellan 09.00 och 17.00.

Den första dagsljussimuleringen som gjordes är med hänsyn till avskärningsvinkel. Resultatet redovisas i Figur 5.9 och intervallet som används är det ljusblå där vinkeln är mindre än 45° och mörkblå där den är högre. Eftersom området ligger intill höga byggnader så kan man se att delar av fasaderna har en vinkel över 45°. I Littlefair (2011) rekommenderades en vinkel på 25% eller lägre. Däremot kan det i tätbebyggda städer vara svårare att endast ha under 25%. Andelen av fasaderna som har en avskärningsvinkel på högst 25% är följande: A 38,6%, B 36,8%, C 51,7%, D 37,6%, E 38,9%, F 41,5%, G 38,2%, H 41,1% och I 50,7%. När man jämför statistiken med varandra kan man se att i detta fall hade de förslag med innergårdar sämre värden än de med enskilda byggnader. Förslag A, B och C är de som togs fram med hänsyn till avskärningsvinkel och förslag C har högst andel under 25% av de alla.



Figur 5.9. Resultat från dagsljussimuleringar med avskärningsvinkel (i %).

Den andra dagsljussimulering gjordes enligt Vertical Sky Component och det är möjligt att jämföra resultatet på alla fasader och de fasader som är på bottenvåningen. Detta då bottenvåningen oftast har svårast att uppfylla kraven om dagsljus när det finns omkringliggande byggnader. Intervallet delas in i tre delar där de fasader som har under 10% får färgen mörkblå (t.ex. kan ses i nedre vänstra delen i A och D), 10-20% får en blå färg och de fasader över 20% får en ljusblå färg (se Figur 5.10). I den simulering som gjordes nådde alla förslag goda värden. I den nordöstra delen av byggnaderna (nere till vänster) kan man se att den östra intilliggande byggnaden påverkar tillgången till dagsljus för A, B, D, E, F och G. För att jämföra resultaten så undersöks bottenvåningen. C, H och I hade generellt bäst resultat för bottenvåningen där andel under 10% var 0%, 0% och 0,3%. För de resterande förslagen varierade det mellan 1,8% och 2,3%.



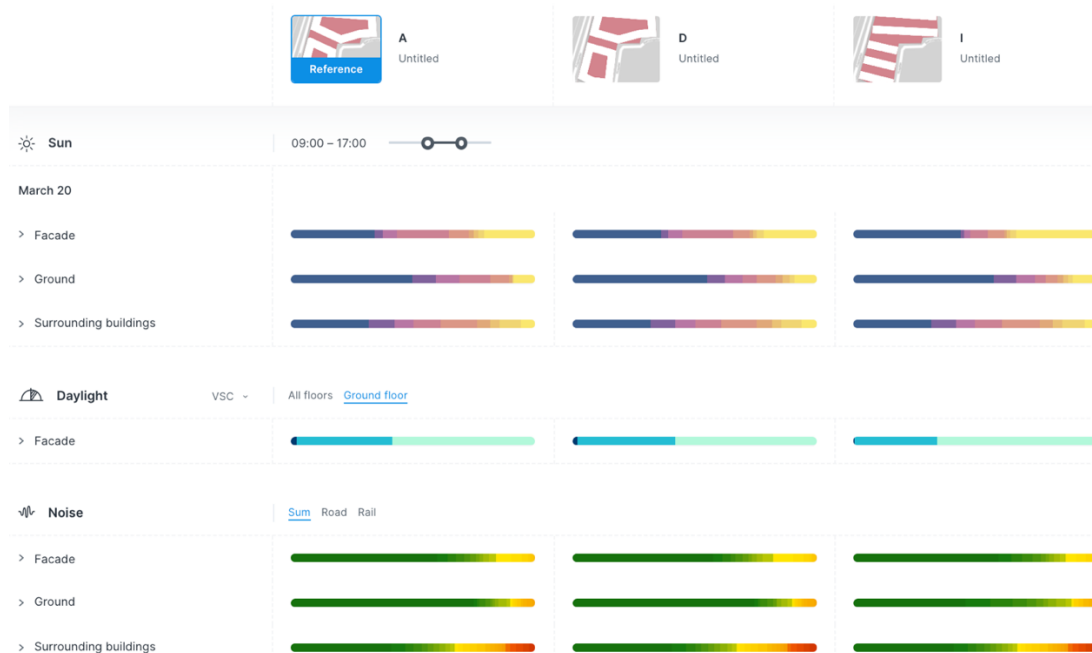
Figur 5.10. Resultat från dagsljussimuleringar med Vertikal Sky Component.

I Olina & Zaimi (2018) rekommenderades en VSC på 29%. Då intervallet i Spacemaker endast tillåter under 10%, 10-20% och över 20% så presenteras det som visas som över 20%. Andel av fasaderna som nådde över 20% på bottenvåningen är följande: A 58,4 %, B 58,3%, C 51,1%, D 57,9%, E 56,3%, F 69,8%, G 55,8%, H 58,3% och I 65,9%.

5.6.3 Jämförelse av förslagen

För att välja ut det förslag som ska exporteras användes *Compare*. Då det är nio förslag som undersöks jämfördes först A, B, och C som har tagits fram enligt avskärningsvinkel. Därefter D, E och F som har tagits fram enligt Vertical Sky Component och slutligen G, H och I som har tagits fram enligt solljustimmar. Det förslag som ansågs som det bästa alternativet i A-C, jämfördes sedan med det bästa i D-F och G-I. Uteslutning skedde enligt ordningen: den som hade högst procent med noll timmars solljus på mark, den som hade lägst procent VSC över 20 % på bottenvåningen och lägst procent med en ljudnivå under 50 dB på mark. Bland de förslag som gjordes enligt avskärningsvinkel hade A bäst värden, enligt VSC var det D och enligt solljus I. De tre alternativen jämfördes slutligen med varandra (se Figur 5.11).

För solljus mellan 09.00-17.00 har 34% av fasaderna och 50% av marken i A mindre än en timmes solljus. I D är det i stället 36% av fasaderna 55% av marken och i förslag I 44% och 57%. För dagsljus enligt VSC delas det in i intervallen <10%, 10-20% och >20% och man kan jämföra alla våningar och bottenvåningen (som har det svårast att uppfylla kraven). För bottenvåningen är det i A och D 58% av bottenvåning som hade tillgång till mer än 20% VSC och i förslag I är det 66%. För buller är skillnaderna större mellan A och D som har innergård och I som inte har en. Det ger därmed värdena att i A och D har 75% av marken en ljudnivå på mindre än 51 dB(A) och i I är det i stället 46%.



Figur 5.11. Ett skärmsklipp från Spacemakers funktion *Compare* som kan jämföra resultaten från flera förslag. I bilden jämförs förslag A, D och I.

Då A visade generellt bättre värden valdes det alternativet vid exportering.

5.6.4 Statistik från Spacemaker

Vid exportering kan även statistik fås ut (se Figur 5.12). Den innehåller information om olika areor (t.ex. BTA och BYA), antal våningar, hur många byggnader det finns, fasadyta och volymer. Däremot exporteras inte resultat från simuleringarna eller den information som redovisas i *Compare*.

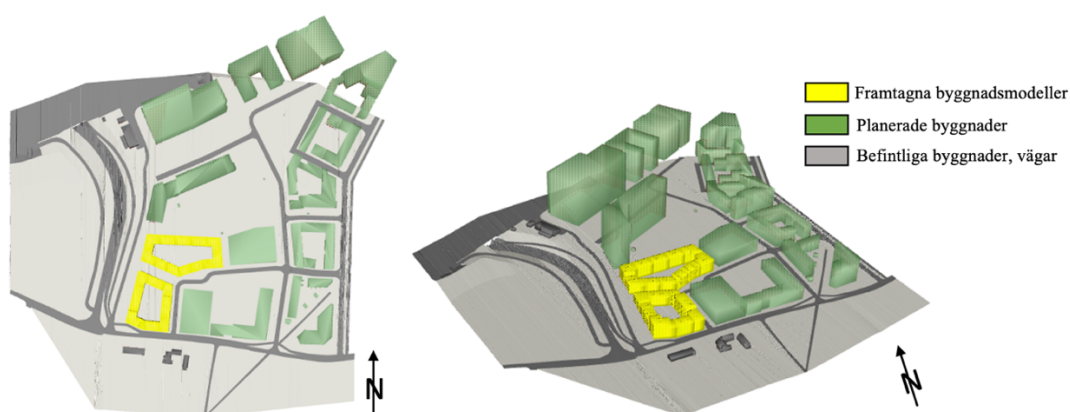
Analysis	Key	Description	Value	Unit
Geometry	gfa	BTA	23690	m ²
Geometry	gfaFractionOfSite	BTA % site area	262,6	%
Geometry	gia	BRA	21321	m ²
Geometry	giaFractionOfSite	BRA % site area	236,3	%
Geometry	nia	BOA	17116	m ²
Geometry	niaFractionOfSite	BOA % site area	189,7	%
Geometry	buildingCoverage	BYA	4972	m ²
Geometry	buildingCoverageFractionOfSite	BYA % site area	55,1	%
Geometry	siteArea	Site area	9022	m ²
Geometry	floorsAverage	Floors	5	
Geometry	numberOfBuildings	Number of buildings	2	
Geometry	totalFacadeArea	Facade area	12194	m ²
Geometry	totalVolumeOfBuildings	Building volume	71071	m ³

Figur 5.12. Ett skärmbild som visar den information som fås i Excel-filen från Spacemaker. Informationen gäller förslag A. *Analysis* visar vad för data den innehåller, i detta fall är alla geometrier. *Key* är en kolumn som man kan referera till vid beräkningar. *Description* förklarar detaljerat vad för information det är. *Site area* är hela ytan som undersöks i studien. *Value* är de värdena som fås ut och *Unit* visar i vilken enhet värdena är i.

5.6.5 Visualisering tillsammans med 3CIM

Då förslaget som togs fram inte är den slutliga lösningen i detaljplanen så kunde den inte läggas in direkt i 3CIMs informationsmodell. För att efterlikna hur det hade sett ut i slutändan visualiserades i stället förslag A tillsammans med 3CIMs informationsmodell. Den data som användes från 3CIM är markanvändning, vägar, järnvägar, befintliga byggnader och planerade byggnader.

I FME Workbench kan man ändra färg och visualisera data. Det slutliga resultatet ses i Figur 5.13. Markanvändning, vägar och järnvägar har klippts utefter specifika koordinater i ett tidigare skede (se kapitel 5.3.1) och planerade byggnader lades till senare. Därför visas delar av de planerade byggnaderna utanför området i norr.



Figur 5.13. Den framtagna byggnadsmodellen från Spacemaker konverterat och importerat till 3CIM stadsmodellen samt visualiserat i FME.

6 Diskussion

6.1 3D-stadsmodeller för en nationell och internationell hållbar utveckling

Idag arbetar man på flera nivåer, både nationellt och globalt, med digitalisering för att bidra till en hållbar utveckling. Beslut om digitalisering har skett inom Sverige, men även inom Europeiska unionen (Europa Commission 2021) och Förenta nationerna (UN-GGIM 2018; u.å.). I FN tog man fram ett ramverk som fokuserar på hur man inom ett land kan utveckla nationella geodata. Detta ramverk togs fram som en del i de globala målen som är mer generella där ett beslut som tas av en aktör (t.ex. kommunen inom planeringsprocessen) kan beröra flera globala mål. I EU fokuserar man på en gemensam struktur på geodata mellan de europeiska länderna. I detta fall handlar det om planering som sker över gränser t.ex. planera ifall en naturkatastrof skulle inträffa. Eftersom man har arbetat med detta på flera nivåer visar det hur viktigt geodata är. Som Lantmäteriet (u.å.a) beskriver så bidrar geodata till hållbarhet men också en ökad förståelse för den fysiska miljön.

De bestämmelser och krav om digitalisering och geodata som ställs på både nationell och internationell nivå måste användas som grund i utvecklingen av 3D-stadsmodeller. En 3D-stadsmodell är nog inte lika aktuell i det fallet som tas upp i EU, utan mer i linje med FN:s mål om geodata där målen är en viktig del i planering som sker inom ett land, speciellt inom städer. Vissa beslut som tas i en kommun kan vara något som påverkar en grannkommun. Ett större beslut (t.ex. vid en översiktsplanering) kan beröra gränser men även gemensamma vatten. Har man en nationell standard för 3D-stadsmodeller så är det enklare att ta hänsyn till en grannkommun när man undersöker en plats nära gränsen. Varje kommun har ansvar vid förvaltning av sin egen 3D-stadsmodell men man har fortfarande tillgång till andra kommuners 3D-stadsmodeller på en nationell nivå.

Flera myndigheter i Sverige arbetar aktivt med nationella specifikationer för geodata (Lantmäteriet u.å.c) och tjänster som Geodatasamverkan (SGU 2021). Däremot berör de ännu inte 3D-stadsmodeller. I 3CIM är ett av målen att skapa en 3D-stadsmodell som kan länkas till de nationella specifikationerna för geodata. Eriksson et al. (2020) tog fram ett förslag på en nationell byggnadsstandard ur ett svenskt perspektiv som också bygger på CityGML. De tog fram krav om vad standarden bör innehålla och tog därefter fram ett ADE efter de ställda kraven. Ett ADE kan också vara en bra lösning då det är enklare att följa en standard när förutsättningarna redan finns tillgängliga.

6.2 Användning av en 3D-stadsmodell i planeringsprocessen

För att använda en 3D-stadsmodell i planeringsprocessen behöver man ta hänsyn till när i processen den kan användas och vad som förväntas av modellen. Så några aspekter som behöver bestämmas är vilka geodata 3D-stadsmodellen ska innehålla, i vilken LOD-nivå och i vilken datakvalité.

De processer som har mestadels nytta av en 3D-stadsmodell beror på var man kräver mest information och simuleringar. I Figur 2.3 illustreras olika krav som ställs i planeringsprocessen och när kraven måste kontrolleras. De flesta kraven som kontrolleras med simuleringar görs under detaljplanering och design av byggnadsmodeller. Simuleringar behöver även göras under översiktsplaneringen.

En översiktsplan tar hänsyn till analyser för större områden och därmed en hel stad. Ett exempel på simulering som kan ske på denna nivå är översvämning. Efter det kan man planera dagsvattenhantering i ett område så att man kan förutse vart vatten tar vägen och hur man kan förbättra hanteringen. Vid en översiktsplan behöver man inte bara data om vägar och byggnader, men också data som terräng, vegetation och jordarter då vissa simuleringar kräver det. Några exempel är grönytor som har bättre infiltrationsförmåga än asfalterade ytor, eller att vissa jordtyper är bättre att bygga på än andra. All den här informationen är viktig att ta hänsyn till vid simuleringar som t.ex. översvämning. I Sweco (2020) där de simulerade just detta hade de definierat 150 mark- och jordtyper för att få ett resultat som bättre representerar verkligheten. Resultatet i Swecos studie redovisades i 2D-kartor likt de karteringar som MSB (2021) har. Men Sweco visade även hur man skulle kunna använda sig av 3D-modeller för att visualisera resultatet från en översvämningssimulering.

Detaljplan berör ett mindre område och har därmed mer krav utöver de som också ställs i översiktsplanen. Det innebär att man måste göra fler detaljerade analyser i denna process. Det finns dessutom krav i Boverkets byggregler (t.ex. dagsljus) som egentligen kontrolleras vid ett senare tillfälle men som behövs ta hänsyn till i ett tidigare skede. De möjligheter som sätts i en detaljplan är det som legalt sätt kan bli byggt. Om kraven inte uppfylls så kan kommunen stå för de kostnader som uppstår (Kanters et al. 2021). Utöver det upplever flera stadsplanerare att det är svårt att analysera och uppfylla kraven idag. Detta då kraven endast undersöks vid specifika tillfällen (Cederström et al. u.å.) men också att det finns en konflikt mellan krav och förtätning (Jellinek et al. 2019).

I planeringsprocessen behöver man utöver geodata ta hänsyn till andra faktorer. En 3D-stadsmodell behöver endast inte spara geodata. Om t.ex. trafikflöden är sparad på i modellen kan det underlätta simulering av buller och man skulle lättare kunna undersöka buller på ett större område. Modellen skulle även kunna spara regleringar som visar var man vill bygga nya bostäder, inom vilka områden industri ska vara, om det finns platser som måste bevaras, strandskydd m.m. Eftersom det finns föreskrifter att digitalisera alla detaljplaner (BFS 2020:5) så skulle 3D-stadsmodellen även kunna innehålla existerande detaljplaner. Då de finns många möjligheter behöver man bestämma tidigt vad man vill modellen ska innehålla. Ska 3D-stadsmodellen innehålla så mycket information som möjligt eller endast vara utvecklad så det går att länka in den för visualisering och analyser. Idag finns det inget sätt att spara detaljplaner i CityGML och om det ska vara möjligt behöver man t.ex. utveckla en ADE för just det ändamålet.

Utöver geodata behöver även LOD-nivån bestämmas och med 3D-stadsmodeller finns det flera nivåer som är möjliga. I fallstudien gjordes alla simuleringar med byggnader i LOD1 då Spacemaker endast accepterar byggnader med platt tak. Enligt Biljecki et al. (2015b) så undersökte de LOD1, LOD2 och LOD3 men kom fram till att LOD2 räckte för solljussimuleringen som gjordes i deras studie. För dem gav LOD3 ett bättre resultat men skillnaden i osäkerhet var inte tillräckligt stor för att det ska vara värt det. I *The Kalasatama Digital Twins Project* utvecklades en digital tvilling som användes till flera simuleringar som solljus, skugga och vind. De kom i projektet fram till att LOD2 var tillräckligt för deras simuleringar med hjälp av en digital tvilling (KIRA-digi pilot project 2019). Så en 3D-stadsmodell i LOD2 kan användas till flertalet simuleringar som görs i planeringsprocessen idag.

En annan viktig del vid användning av geodata är att bestämma vilken datakvalité de ska vara i. I Biljecki et al. (2018b) så hade datakvalitén större påverkan på resultatet än val av LOD-

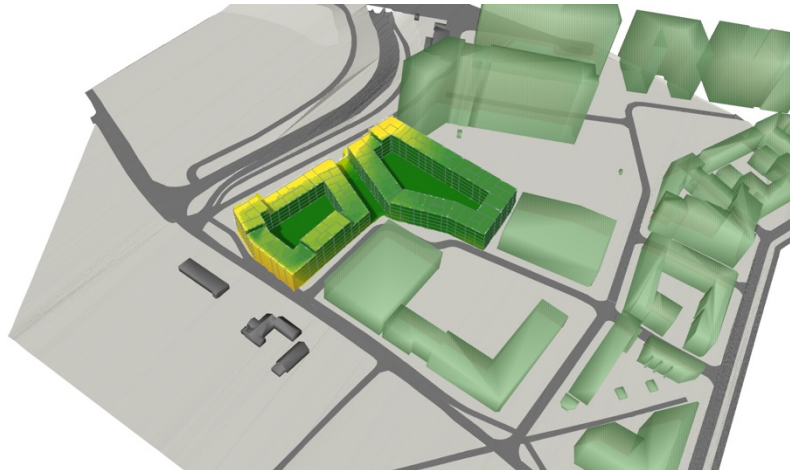
nivån hade. I deras studie jämförde de data som hade en lägesosäkerhet på 0,2 meter och 0,5 meter. I Sverige skulle det motsvara en HMK-standardnivå 1 där osäkerheten är större än en decimeter men lägre än en meter. Rekommendation enligt Lantmäteriets handbok (2017) är att den datakvaliteten som Biljecki et al. (2018b) använder är anpassad för mätningar på ett större område som t.ex. översiktsplan. Om en 3D-stadsmodell ska användas till större delar av planeringsprocessen är det däremot rekommenderat att ha en osäkerhet som är anpassad för detaljplaner. Det skulle motsvara en HMK-standardnivå 2 eller högre som innebär en lägesosäkerhet på högst en decimeter (Lantmäteriet 2017).

6.3 Simuleringar i planeringsprocessen med en 3D-stadsmodell

Simuleringar i planeringsprocessen kräver adekvata simuleringsverktyg. Visionen som beskrevs i kapitel 4 och i Figur 4.2 tar upp hur 3D-stadsmodeller, simuleringsverktyg och planeringsprocessen hänger ihop. För att visionen (Figur 4.2) ska fungera så måste datahanteringen mellan de olika skedena fungera.

Flera stadsplanerare påpekade i studien av Kanters et al. (2021) att de inte alltid har tillgång eller kompetens till de simuleringsverktyg de behöver. Det innebär att en expert behöver utföra simuleringen men det bidrar till en extra kostnad och att det tar längre tid att designa och se möjligheterna. Speciellt om man behöver göra simuleringar i flera omgångar i tillfällena när kraven inte uppfylls första gången. Avancerade program behövs fortfarande då de ger mer exakta värden, men att de används i slutet av processen för att verifiera att kraven uppfylls. Avancerade program tillåter att ändra parametrar och lägga till data för att anpassa simuleringarna. Det behöver finnas fler simuleringsverktyg för att länken mellan 3D-stadsmodeller, detaljplan/översiktsplan och simuleringsverktyg ska fungera. Speciellt program som har en lägre inlärningskurvan och är mer användarvänlig. Här är Spacemaker ett simuleringsverktyg som skulle kunna göra denna länk lättare. I fallstudien skapades flera byggnadsmodeller i Spacemaker med data från en 3D-stadsmodell. Modellerna simulerades och jämfördes med krav som både ställs i detaljplanering (buller) och i ett senare skede (sol- och dagsljus). Vissa av simuleringarna tog en minut att utföra vilket gör det lättare att göra små justeringar (t.ex. ändra antal våningar) för att se om det blir bättre.

Utöver tillgång till mer simuleringsverktyg måste även alla simuleringsverktyg stödja 3D-stadsmodeller. I studien undersöktes endast ett simuleringsverktyg. Det var tydligt att Spacemaker är anpassad för program som redan används i planeringsprocessen idag (t.ex. Sketchup och CAD-verktyg). Däremot behöver simuleringsverktyg som dessa kunna ta emot och exportera i CityGML-format om man ska använda sig av 3D-stadsmodeller i framtiden. Det är möjligt att konvertera byggnader från CityGML till OBJ (som används i studien) men man förlorar viss information som man hade kunnat spara i andra fall. Ett exempel är hur de data som innehöll information om markanvändning kan användas till bullersimuleringar (t.ex. vegetation för mjuka ytor). Ifall man vill lägga till de data får man manuellt lägga till ytorna och deras höjd i programmet. Vid export av byggnadsmodeller fås modeller som också saknar semantisk information om vad för byggnad det är (t.ex. i vilken LOD-nivå). Förutom att exportera modeller så hade det varit fördelaktigt om det även var möjligt att exportera simuleringsresultaten från ett verktyg in i 3D-stadsmodellen likt Figur 6.1. Idag kräver det en hel del manuell hantering (och programmering) för att utföra det (i flera vanliga simuleringsprogram), vilket inte är praktiskt i en produktionsmiljö.



Figur 6.1 Bullersimuleringsresultat från Spacemaker har redigerats in i resultatet från FME Workbench. Bilden visar hur det hade kunnat se ut om 3D-stadsmodeller innehåller simuleringsresultat.

6.4 3CIM för simuleringar i planeringsprocessen

Syftet med 3CIM är att ta fram en svensk nationell informationsmodell baserat på CityGML som stödjer olika användningsområden som visualisering men även analyser och simuleringar. Modellen behöver därmed innehålla data som behövs i olika typer av simuleringar samt att de är i en godkänd kvalitet. En del av 3CIM-projektet är att göra en inventering av vilka data som behövs för flera användningsområden. För det testområdet i Malmö som användes i denna studie användes en förenklad 3CIM-modell som bara använder teman som är specifikt intressant för tidiga skeden i planeringsprocessen.

3D-stadsmodeller behöver vara anpassade för att underlätta importering och exportering av data till andra program. I avsnitt 6.2 diskuterades det generellt vilken LOD-nivå 3D-stadsmodellen ska vara i, i vilken datakvalité och generellt vilka skeden i planeringsprocessen modellen ska vara anpassad för. Antagande var att alla data redan är i sparad i CityGML. I studien erbjöds data från Malmös interna informationsmodell där de är sparade i formatet DWG (ett CAD-format) och där vissa byggnader dessutom fanns i Sketchup. Det innebär att det krävdes bearbetning som klassificering och redigering av geometrier för att omvandla till CityGML. Några delar av processen kunde automatiseras men det krävde även en del manuellt arbete. För att kunna ha en 3D-stadsmodell så behöver alla data vara sparade i en väl definierad semantisk modell (vanligen CityGML) för att underlätta vidare användning.

Det tog ungefär två veckor för en person att omvandla datan till CityGML-format i det område som undersöks i fallstudien. Det krävs dessutom erfarenhet i t.ex. FME för att klara av detta. Ett större område, som en hel stad kommer därmed ta längre tid även om delar kan automatiseras. Detta är kanske inte något som alla kommuner eller städer kan göra i Sverige idag. Ett alternativt att underlätta detta är att alla nya data som läggs till nu måste också finnas i CityGML så att den konverteringen inte behövs göras senare.

Ett annat syfte i 3CIM-projektet är att modellen ska ligga till grund för en digital tvilling. En 3D-stadsmodell innehåller geodata med semantisk information men en digital tvilling kan innehålla mer data än geodata, inbegripet dynamiska data. Enligt Digital Twin Cities Centre (u.å.) skulle det exempelvis kunna innebära information som trafikflöden. Information som trafikflöden i kombination geodata (vegetation och byggnader för mjuka och hårda ytor) kan i sin tur användas för bullersimuleringar i planeringsprocessen. Den här informationen kan idag

sparas i CityGML med hjälp av ADE och för trafikflöden skulle det innebära *eNoise ADE* (Kumar et al. 2020) som är anpassad efter CNOSSOS-EU. En fråga man kan ställa är om 3CIM-modellen endast ska innehålla geodata eller om den även ska acceptera annan data för simuleringar. Då man i 3CIM vill att modellen ska ligga till grund för en digital tvilling så är nog ett ADE inte aktuellt.

6.5 Simulering i Spacemaker

Spacemaker är ett verktyg som tar fram byggnadsförslag optimerat efter de krav som en användare ställer. I verktyget kan man använda förslagen som de är eller göra egna justeringar. Just nu går det bara att skapa byggnadsmodeller för solljus, dagsljus och utsikt. Även om man kan göra simuleringar för buller så erbjuder inte verktyget att ta fram byggnadsförslag enligt buller. Det innebär att områden utsatta för mycket buller behöver vidare analyser i ett annat program för att optimera var t.ex. bullerskydd behöver placeras. Det är fortfarande möjligt att själv placera ut bullerskydd i verktyget. En fördel med Spacemaker är att man kan göra flera simuleringar och att flera av dem tar kort tid att utföra. Eftersom man kan skapa och ändra byggnadsmodeller i verktyget, kan man direkt få respons hur modellerna uppfyller kraven.

Spacemaker erbjuder information som är en bra början för att komma i gång med ett nytt projekt. Det som minst behövs är terrängmodell, byggnader och linjer för bullerberäkningar för att göra simuleringar. Man kan lägga till en egen terrängmodell och ta bort och lägga till egna byggnader om de data Spacemaker erbjuder är inaktuella. De data som Spacemaker erbjuder är hämtade från Lantmäteriet (geodata) och Trafikverket (trafikinformation). I studien behövdes t.ex. prognosticerad trafikinformation som manuellt fick skrivas in för vägar och järnvägar.

För att få in data i Spacemaker krävs det också extra arbete då verktyget är anpassat för format som vanligtvis används idag bland stadsplanerare och arkitekter. Byggnader accepteras endast i LOD1 i formaten OBJ och IFC. OBJ är ett vanligt format för att representera 3D-geometri och IFC används vanligen i BIM. Byggnader kunde direkt omvandlas till OBJ i FME. Andra geometrier kunde endast accepteras som polygoner som saknar höjd. Vid importering till Spacemaker innebar det att man manuellt behövde skriva in höjd på de delar som är vegetation. De geometrierna accepterades i bl.a. GML (OGC), DXF (AutoCAD) och Shapefile (ESRI). Spacemaker har en egen 2.5D terrängmodell man kan använda, men det går även att importera en egen i formaten OBJ eller IFC.

I Spacemaker är det möjligt att skapa flera förslag där man även kan göra justeringar för att se om en ändring gör det bättre eller sämre. För varje förslag som tas fram görs simuleringar för att undersöka bl.a. krav som ställs i Boverkets Byggregler. När man har flera förslag så kan det vara svårt att jämföra deras simuleringar mot varandra och se vilket som är det bättre alternativet. Funktionen *Compare* visar statistik från simuleringarna och gör det möjligt att smidigt undersöka och jämföra förslagen mot varandra, dessutom kan man jämföra fler förslag samtidigt (se Figur 5.11).

Export av byggnader erbjuds endast i formaten OBJ och IFC för byggnader. Man kan även exportera statistik med Excel. Däremot är det statistik om area enligt olika definitioner (t.ex. BTA och BYA). Eftersom simuleringar görs i Spacemaker hade det varit bra om man kunde få ut information om resultatet. I funktionen *Compare* kan man se olika intervaller om t.ex. hur många på bottenvåningen har mindre än 10% VSC. Den statistiken hade varit intressant att få ut så att den är sparad. Hade man kunnat exportera resultat från simuleringar hade det kunnat

styrka varför man kom fram till att en lösning fungerar. Hade det även varit möjligt att exportera simuleringsresultaten hade man kunnat använda de i visualiseringsverktyg likt Figur 6.1.

6.6 Behöver planeringsprocessen förändras för att optimalt utnyttja de digitala möjligheterna

I rapporten *Digitalt Först* identifierades de hinder som finns för digitalisering av samhällsbyggnadsprocessen och en målbild skapades för att ta fram en process för att öka stödet för bostadsbyggandet. Ett av effektmålen var att informationen ska vara enhetlig, nationellt tillgänglig och i digital form (Lantmäteriet 2018). Boverket har i sin tur arbetat med en digital tillämpning av plan- och bygglagen (2010:900) med satsningar på översiktsplaner, detaljplaner och byggregler. En annan viktig del är att planerna ska vara georefererade på samma sätt så att det finns en kompatibilitet mellan översiktsplaner och detaljplaner för att t.ex. veta om en detaljplan bryter mot en översiktsplan eller ej (Boverket 2020a).

För att utnyttja 3CIM-stadsmodeller fullt ut i planeringsprocessen är 3D-detaljplaner intressant. Det sker en digitalisering av detaljplaner men det är inte krav på att de är i 3D. Det finns rekommendationer vad som gäller för 2D grundkartor⁴ (geodata som grund till detaljplaner), däremot är inte nationella specifikationer för grundkartan fastlagda ännu. När det finns nationella specifikationer kan man börja utforma krav på grundkarta i 2D eller 3D. En 3D-stadsmodell som ska stödja planeringsprocessen kan ses som en 3D grundkarta, som i sin tur kan sätta krav på vad för geodata som ska sparas. Det finns idag standard för hur detaljplaner ska XML-kodas (SS 637040:2016) men den anger endast hur data sparas i detaljplanen, inte i grundkartan.

I Cederström et al (u.å.) lyftes de svårigheter som finns vid framtagande av detaljplaner och att ett av de stora problemen är att alla kraven undersöks i olika skeden. Även om kraven i hela planeringsprocessen kontrolleras vid olika skeden behöver man ta hänsyn till dem under detaljplaneringen. Om alla kraven inte tas hänsyn till uppstår det brister och man måste göra ändringar i design som i sin tur kan orsaka extra kostnader. Det kan påverka det slutliga resultatet om arkitekter måste göra större ändringar. Har man dessutom en önskan om en hållbar stadsbyggnad kan större ändringar försvåra de målen (t.ex. Globala målen, tillgång till gröna ytor).

I Boverkets byggregler, BBR, finns det inga krav på vilka metoder som ska användas för dagsljus men i stället allmänna råd om att använda den upphävda standarden SS 91 42 01. De två metoder som nämns i standarden, glasareametoden och dagsljusfaktor, bygger på handberäkningar. Rogers et al. (2018) beskriver att förutsättningar för glasareametoden sällan är uppfyllda. Under detaljplaneprocessen tar man inte fram en lösning, utan detaljplanen ska ge möjlighet till flera lösningar. Att ta hänsyn till dagsljus i ett rum i detta stadie är därmed svårt.

Det finns andra metoder utöver de som rekommenderas i BBR som är enklare att använda sig av och som inte kräver att man har planerat insidan av byggnaderna. Rogers (2018) nämner om metoden Vertical Sky Component (VSC) som kan vara användningsbar under detaljplane-processen. En annan metod är att beräkna avskärmningsvinkeln som är en av förutsättningarna i SS 91 42 01. Båda metoderna kräver enkla byggnadsmodeller och information om omkring-

⁴ <https://www.lantmateriet.se/contentassets/d26b01f431534c48adcc5149bb975218/hmk-digital-grundkarta.pdf>

liggande byggnader. Olina & Zaimi (2018) undersökte förhållandet mellan VSC och dagsljusfaktor och kom fram till ett resultat för att uppfylla kravet i BBR.

I simuleringsverktyget Spacemaker skapas byggnadsmodeller utan rumsindelning. Här är simuleringar som Vertical Sky Component och avskärmningsvinkel bra för att se hur en byggnadsutformning uppfyller kraven. Alla simuleringsresultaten visas i intervall på byggnaders fasader och kan användas för att undersöka om det finns delar på byggnaden som har svårt att uppfylla kraven. Bullersimulering gjordes enligt CNOSSOS-EU där man manuellt kan ändra trafikflöden, lägga till bullervallar och ändra markens absorptionsförmåga. Man kan även göra solljussimulering för att studera hur många solljustimmar som finns på mark och fasader.

För att kunna använda ett simuleringsverktyg som Spacemaker behöver man ta hänsyn till omkringliggande byggnader, vägar, terräng m.fl. för alla dessa faktorer påverkar simuleringarna. Det ställer därmed krav på att det finns geodata för detta. Om översiktsplaner och detaljplaner ska digitaliseras skapas även nya möjligheter. En digitaliserad detaljplan kan vara i 3D och digitalisering ger möjlighet till att mer information sparas detaljplanen (t.ex. simuleringsresultat). När detta examensarbete skrivs (2021) så har föreskriften om digitalisering av detaljplanering nyligen kommit ut och det kan krävas en del arbete för alla kommuner att uppfylla den nya föreskriften. Digitaliseringen är fortfarande i ett tidigt stadie vilket innebär att det finns utrymme för att ändra hur planeringsprocessen sköts idag.

7 Slutsatser

Examensarbetets syfte var att studera 3D-stadsmodeller och se om de kan stödja simuleringar i översiktsplanering och detaljplanering. I studien undersöktes en tidig version av 3D-stadsmodellen 3CIM över ett område i Malmö. Modellen utvärderades för att se om den kan föras över mellan olika program samt att den kan hantera krav som ställs inom planeringsprocessen. I studien användes simuleringsverktyget Spacemaker för ljus- och bullersimuleringar som behöver hanteras i detaljplaneprocessen. I syftet ställdes specifika frågor som besvaras nedanför.

Hur ska 3D-stadsmodellen vara utformad för att stödja undersökningar om buller och dagsljus i detaljplanering? Är 3CIM-modellen anpassad för detaljplanering?

Planeringsprocessen har flera krav som kontrolleras i olika skeden, men redan tidigt, under detaljplanering, bör man ta hänsyn till dem. En 3D-stadsmodell behöver därmed innehålla tillräckligt med data för att uppfylla de kraven som kontrolleras senare (t.ex. dagsljus i Boverkets byggregler). Under detaljplaneringen behöver man ta hänsyn till omkringliggande byggnader, vägar och vegetation. Den befintliga bebyggelse kan ha direkt påverkan på vad för möjligheter som finns i ett område. Simuleringar i planeringsprocessen behöver även mer information än geodata. Det finns andra faktorer som påverkar på resultaten t.ex. byggnaders och terrängs absorptionsförmåga av buller.

Semantiska 3D-stadsmodeller ska innehålla data för att stödja avancerade simuleringar i detaljplanering. En 3D-stadsmodell i detaljnivå LOD1 eller LOD2 kan användas i flera simuleringar under översiktsplanering och detaljplaneprocessen. I de simuleringar som utförs

idag så har inte detaljnivå LOD3 och LOD4 stor påverkan på resultaten. I stället har datakvalitén större påverkan på simuleringar och borde vara i HMK-standardnivå 2 eller bättre.

I 3CIM-projektet har en inventering gjorts för att se vad för geodata bör ingå i 3CIM-modellen. 3CIM-modellen är baserad på CityGML och erbjuder bl.a. byggnader i LOD2, information om markanvändning och vegetation. Modellen är därmed anpassad för detaljplanering. Som 3CIM är utvecklad idag behöver man också komplettera med annan data (t.ex. trafikflöden) för att den ska kunna användas i olika simuleringsverktyg (för t.ex. buller).

Vad för arbete krävs det för att få in 3CIM-modeller i ett simuleringsverktyg som Spacemaker? Innehåller 3CIM-modeller de data som behövs för simuleringar i Spacemaker?

Spacemaker tillåter inte import eller export av data enligt CityGML-format idag. Konverteras datan går det att importera 3CIM-modeller till Spacemaker, och exportera de framtagna byggnadsmodellerna tillbaka till 3CIM-modellen. De filformaten som Spacemaker accepterar kräver ingen semantisk information och konvertering kräver därmed inga extra steg. När byggnadsmodeller ska exporteras behöver de bearbetas till CityGML-format, men den delen kan automatiseras. För att öka användning av 3CIM-modeller eller andra 3D-stadsmodeller hade det varit fördelaktigt om alla simuleringsverktyg stödjer dem.

I Spacemaker behövs terrängmodell och befintliga byggnader för att utföra alla simuleringar. Spacemaker erbjuder data men kan ersättas med egna. För bullersimuleringar har de linjer som går över vägar och järnvägar, dessa linjer kan spara information om trafikflöden som sedan användas för bullersimuleringar. 3CIM innehåller inte information om trafikflöden och så den informationen behövs hämtas från andra källor.

Referenser

- Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S. & Çöltekin, A. 2015a. Applications of 3D City Models: State of the Art Review. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 4(4), 2842-2889; <https://doi.org/10.3390/ijgi4042842>
- Biljecki, F., B.M. Heuvelink, G., Ledoux, H. & Stoter, J. 2015b. Propagation of positional error in 3D GIS: estimation of the solar irradiation of building roofs, *International Journal of Geographical Information Science*, 29:12, 2269-2294; <https://doi.org/10.1080/13658816.2015.1073292>
- Biljecki, F., Ledoux, H. & Stoter, J. 2016. An improved LOD specification for 3D building models, *Computers, Environment and Urban Systems*, 59, ss. 25–37; <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2016.04.005>
- Biljecki, F., Kumar, K. & Nagel, C. 2018a. CityGML Application Domain Extension (ADE): overview of developments. *Open geospatial data, softw. stand.* 3, 13, <https://doi.org/10.1186/s40965-018-0055-6>
- Biljecki, F., B.M. Heuvelink, G., Ledoux, H. & Stoter, J., 2018b, The effect of acquisition error and level of detail on the accuracy of spatial analyses, *Cartography and Geographic Information Science*, 45:2, 156-176; <https://doi.org/10.1080/15230406.2017.1279986>
- BIM Alliance. u.å. *Vad är BIM?* Hämtad 14 april 2021, från <https://www.bimalliance.se/vad-ar-bim/>
- Boverket. 1991. *Solklart*, <https://www.boverket.se/contentassets/2930a8dbfe9246028b36897e0812ec21/solklart.pdf>
- Boverket. 2016. Exempel på reglering av byggnadsverks höjder och våningsantal: Uppdrag att ta fram förslag till författningsregler avseende vissa centrala termer som behövs vid tillämpning av plan- och bygglagen (2010:900), Rapport 2016:30, Regeringsuppdrag
- Boverket. 2020a. Slutrapport: Enhetligt digital tillämpning av plan- och bygglagen, ISBN: 978-91-7563-709-9
- Boverket. 2020b. *Digitalisering av befintlig detaljplaneinformation*, Hämtad 31 maj 2021, från <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/digitalisering/>
- Boverket. 2020c. *Samhällsbyggnadsprocessen för den fysiska miljön ur ett brottsförebyggande och trygghetsskapande perspektiv*, Hämtad 7 maj 2021, från <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/stadsutveckling/brottsforebyggande-och-trygghetsskapande-atgarder/samhallsbyggnadsprocessen/>
- Boverket. 2020e. *Översiktsplanen*, Hämtad 7 maj 2021, från <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/oversiktsplan/oversiktsplanen/>
- Boverket. 2020f. *Detaljplanering*, Hämtad 7 maj 2021, från <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/sa-planeras-sverige/kommunal-planering/detaljplanering/>
- Boverket. 2020h. *Översvämningsrisk vid planläggning*, Hämtad 22 maj 2021, från https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/lansstyrelsens-tillsyn/tillsynsvagledning_naturoluckykor/tillsynsvagledning-oversvamning/
- Boverket. 2020i. *Buller vid planering*, Hämtad 10 augusti 2021, från <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/temadelar-detaljplan/buller-vid-detaljplanering/bullerutredningar/>

- Boverket. 2021a. *Digitalisering av samhällsbyggnadsprocessen*, Hämtad 11 april 2021, från <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/digitalisering/>
- Boverket. 2021b. *Så planeras Sverige*, Hämtad 7 maj 2021, från <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/sa-planeras-sverige/>
- Boverket. 2021c. *Digitalisering av planeringsprocessen*, Hämtad 19 maj 2021, från <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/digitalisering/digitalisering-av-planeringsprocessen/>
- Boverket. 2021d. *Utnyttjandegrad*, Hämtad 21 oktober 2021, från https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/planbestammelser/egenskapsbestammelser/_utnyttjandegrad/
- Cederström, C., Hellekant Nilsson, M., Marlevi, L. & Stenman Norlander Smart, Å. u.å. Att hantera buller, dagsljus och energi i stadsplanering och arkitektur: en handbok
- Chaturvedi, K., Smyth, C. S., Gesquière, G., Kutzner, T., & Kolbe, T. H. 2016. Managing Versions and History Within Semantic 3D City Models for the Next Generation of CityGML. In *Advancing Geoinformation Science for a Changing World*; Springer Science and Business Media LLC, 191–206.
- Colucci, E., Ruvo, V.D., Lingua, A., Matrone, F. & Rizzo, G. 2020. HBIM-GIS Integration: From IFC to CityGML Standard for Damaged Cultural Heritage in a Multiscale 3D GIS, *Appl. Sci.*, **2020**, 10(4), 1356; <https://doi.org/10.3390/app10041356>
- Eriksson, H., Olsson, P-O. & Harrie, L. 2020. Requirements, Development, and Evaluation of A National Building Standard – A Swedish Case Study, *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **2020**, 9(2), 78; <https://doi.org/10.3390/ijgi9020078>
- Europa Commission. 2021. *About INSPIRE*, Hämtad 12 augusti 2021, från <https://inspire.ec.europa.eu/about-inspire/563>
- Globala målen. u.å. *Om globala målen*, Hämtad 7 maj 2021, från <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/>
- Globala målen. 2021. *11 Hållbara städer och samhällen*, Hämtad 7 maj 2021, från <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/mal-11-hallbara-stader-och-samhallen/>
- Gröger, G. & Plümer, L. 2012. CityGML - Interoperable semantic 3D city models, *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* **2020**, 71, ss. 12-33; <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.04.004>
- Harrie, L., Kanters, J., Mattiasson, K., Nezval, O., Olsson, P.-O., Pantazatou, K., Kong, G. & Fan, H. 2021. 3D city models for supporting simulations in city densifications, *Int-Arch. Photogramm. Remote sens. Spatial Ind. Schi.* XLVI-4/W4-2021, 73-77, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-4-W4-2021-73-2021>
- Helsinki. 2019. *Utilise the models and develop new services*, Hämtad 27 juni, 2021, från <https://www.hel.fi/helsinki/en/administration/information/general/3d/utilise/>
- Helsinki. 2020. *View the models*, Hämtad 27 juni 2021, från <https://www.hel.fi/helsinki/en/administration/information/general/3d/view/>
- Jellinek, Å., Wistrand, L., Nilsson, D., Lönnroth Himmelman, S. & Granberg, S. 2019. *Dagsljus i den täta staden*
- Johansson, E. & Yahia, MW. 2020. Wind comfort and solar access in a coastal development in Malmö, Sweden, *Urban climate*, 33, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100645>
- Judge, S. & Harrie, L. 2020. Visualization a Possible Future: Map Guidelines for a 3D Detailed Development Plan, *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, **2020**, 4:7, <https://doi.org/10.1007/s41651-020-00049-4>
- Julin, A., Jaalama, K., Virtanen, J-P., Pouke, M., Ylipulli, J., Vaaja, M., Hyypää, J. & Hyypää, H. 2018. Characterizing 3D City Modeling Projects: Towards a

- Harmonized Interoperable System, *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **2018**, 7, 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), ss.348-368, <https://doi.org/10.1080/21650020.2021.1944293>
- Ketzler, B., Naserentin, V., Latino, F., Zangelidis, C., Thuvander, L. & Logg, A. 2020. Digital Twins for Cities: A State of the Art Review, *Built Environment*, Winter 2020, 46(4), ss. 547-573(27); <https://doi.org/10.2148/benv.46.4.547>
- KIRA-digi pilot project. 2019. *The Kalasatama Digital Twins Project: The final report of the KIRA-digi pilot project*
- Kolbe, T. H. & Donaubaauer, A. 2021. Semantic 3D City Modeling and BIM. In: Shi W., Goodchild M.F., Batty M., Kwan MP., Zhang A. (eds) *Urban Informatics. The Urban Book Series*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8983-6_34
- Kumar, K., Ledoux, H., Schmidt, R., Verheij, T. & Stoter, J. 2020. A Harmonized Data Model for Noise Simulation in the EU, *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **2020**, 9(2), 121; <https://doi.org/10.3390/ijgi9020121>
- 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, 43–61. <https://doi.org/10.1007/s41064-020-00095-z>
- Lantmäteriet. u.å.a. *Geodata för ett hållbart samhälle*, Hämtad 12 augusti 2021, från <https://www.lantmateriet.se/sv/webb/nationell-geodatastrategi/geodata-for-ett-hallbart-samhalle/>
- Lantmäteriet. u.å.b. *Samordning av INSPIRE*, Hämtad 12 augusti 2021, från <https://www.lantmateriet.se/sv/Om-Lantmateriet/Om-oss/Vart-samordningsansvar/samordning-av-inspire/>
- Lantmäteriet. u.å.c. *Nationella specifikationer*, Hämtad 31 maj 2021, från <https://www.lantmateriet.se/sv/webb/smartare-samhallsbyggnadsprocess/nationella-specifikationer/>
- Lantmäteriet. 2017. *HMK – Geodatakvalitet 2017*, Gävle, Sverige
- Lantmäteriet. 2018. *DIGITALT FÖRST - För en smartare samhällsbyggnadsprocess: slutrapport*, Lantmäterirapport 2018:1, ISSN 0280-5731, diarienummer 101-2016/831
- Lantmäteriet. 2019. *Nationellt tillgängliggörande av geodata i samhällsbyggnadsprocessen: slutrapport i uppdraget att verka för en smartare samhällsbyggnadsprocess*, diarienummer 519-2018/2889
- Lantmäteriet. 2021. *Nationell informationsspecifikation – Detaljplan (v. 2.0)*
- Littlefair, P. 2011. *Site layout planning for daylight and sunlight: A guide to good practice Second Edition* (BR209), BRE press
- Lunds kommun. 2020. *Fördjupningar av översiktsplanen*, Hämtad 30 maj 2021, från <https://www.lund.se/trafik--stadsplanering/oversiktsplan/fordjupningar-av-oversiktsplanen/>
- Malmö stad. 2021a. *3D-stadsmodell*, Hämtad 29 juli 2021, från <https://malmo.se/Bo-och-leva/Bygga-och-bo/Lantmaterikartor-och-matning/Kartprodukter/3D-stadsmodell.html>
- Malmö stad. 2021b. *Processen för att ta fram en detaljplan*, Hämtad 7 maj 2021, från <https://malmo.se/Bo-och-leva/Bygga-och-bo/Detaljplaner/Processen-for-att-ta-fram-en-detaljplan.html>

- Malmö stad. 2021c. *Underlag till begäran om planuppdrag: Detaljplan för del av fastigheten Hyllie 7:4 och del av fastigheten Bunkeflo 10:1 (öster om Sivåkersvägen) i Hyllievång i Malmö*
- Mittbygge. 2019. *Nybyggnadskarta*, Hämtad 2 september 2021, från <https://www.mittbygge.se/bygga-och-renovera/mitt-bygge/ritningar-och-handlingar/nybyggnadskarta.html>
- MSB. 2017. *Vägledning för skyfallshantering: tips för genomförande och exempel på användning*, Publikationsnummer MSB1121 – augusti 2017, ISBN: 978-91-7383-764-4
- MSB. 2020. *Översvämning*, Hämtad 22 maj 2021, från <https://www.msb.se/sv/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farliga-amnen/naturolyckor-och-klimat/oversvamning/>
- MSB. 2021. *Översvämningsskarteringar*, Hämtad 27 augusti 2021, från <https://www.msb.se/sv/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farliga-amnen/naturolyckor-och-klimat/oversvamning/oversvamningskarteringar-och-samordning/>
- Naturvårdsverket. 2016. *Enhetlig utredningsmetod för buller*, rapportnummer: 2015-160 r01
- OGC. 2012. *What is CityGML?*, Hämtad 23 april 2021, från <http://web.archive.org/web/20161129082416/http://www.citygml.org/index.php?id=1523>
- OGC. 2020. *Public comment requested: CityGML 3.0 Conceptual Model*, Hämtad 23 april 2021, från <https://www.ogc.org/standards/requests/219>
- OGC. u.å. *CityGML*, Hämtad 23 april <https://www.ogc.org/standards/citygml>
- Ohuri, K., Biljecki, F., Kumar, K., Ledoux, H. & Stoter, J. 2018. *Modeling Cities and Landscapes in 3D with CityGML. Building information Modeling*, 199-215, Springer, https://doi.org/10.1007/978-3-319-92862-3_11
- Olina, A. & Zaimi N. 2018. *Daylight prediction based on VSC – DF relation*, Master Thesis in Energy-efficient and Environmental; Building Faculty of Engineering Lund University
- PLATEAU. u.å.a. *Project PLATEAU: About*, Hämtad 4 augusti 2021, från <https://www.mlit.go.jp/plateau/about/>
- PLATEAU. u.å.b. *3D city model as a Service: New Service*, Hämtad 4 augusti 2021, från <https://www.mlit.go.jp/plateau/new-service/>
- Rogers, P., Dubois, M-C., Tillberg, M. & Östbring, M. 2018. *Moderniserad dagsljusstandard: Report SBUF ID 13209*
- Rogers, P. 2019. *Kvartersstad på dagsljusets villkor*, *STAD*, 27, s.44-45
- Smart Built Environment. u.å. *3CIM – Smarta 3D-stadsmodeller*
- Smart Built Environment. 2017. *Digital detaljplanerprocess med 3D-visualisering och analys: Projekt rapport grupp 2 inom "Informationsförsörjning för planering, fastighetsbildning och bygglov"*
- Smart Built Environment. 2018. *Slutrapport för projektet Leveransspecifikationer för Geodata-BIM: Arbetspaket 1: Detaljerade leveransspecifikationer i bygglovsprocessen*
- SMHI. 2019. *Så klimatanpassades en park i Malmö*, Hämtad 30 maj 2021, från <https://www.smhi.se/klimat/klimatanpassa-samhallet/exempel-pa-klimatanpassning/sa-klimatanpassades-en-park-i-malmo-1.141642>,
- Spacemaker AI. u.å.a. *Site Planning. Reimagined*. Hämtad 21 april 2021, från <https://www.spacemakerai.com/solutions/developers>
- Spacemaker AI. u.å.b. *About Us*, Hämtad 24 april 2021, från <https://www.spacemakerai.com/about/about>

- Spacemaker AI. u.å.c. *Made by architects. With architects in mind*. Hämtad 26 juni 2021, från <https://www.spacemakerai.com/solutions/architects>
- Spacemaker AI. u.å.d. *Data sources: Sweden*, Hämtad 23 augusti 2021, från <https://help.spacemaker.ai/en/articles/4539114-data-sources-sweden>
- Spacemaker AI. u.å.e. *Obstruction Angle Analysis*, Hämtad 27 augusti 2021, från <https://help.spacemaker.ai/en/articles/4554476-obstruction-angle-analysis>
- Spacemaker AI. u.å.f. *Supported geometry*, Hämtad 26 augusti 2021, från <https://help.spacemaker.ai/en/articles/4532077-supported-geometry>
- Stoter, J., Peters, R., Commandeur, T., Dukai, B., Kumar, K. & Ledoux, H. 2020. Automated Reconstruction of 3D input data for noise simulation, *Computers, Environment and Urban Systems*, 2020, 80, <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2019.101424>
- Svenska Institutet för Standarder. 2016. *Geografisk information – Detaljplan – Applikationsschema för planbestämmelser*, Hämtad 5 maj 2021, från <https://www.sis.se/produkter/naturvetenskap-och-tillampad-vetenskap/astronomi-geodesi-geografi/ss6370402016/>
- Sweco. 2020. Skyfallshantering över Stockholms län: Rapport med vägledning i resultattolkning och praktisk användning, uppdragsnummer: 13010768
- Tang, L., Ying, S., Li, L., Biljecki, F., Zhu, H., Yang, F. & Su, F. 2020. An application-driven LOD modeling paradigm for 3D building models. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2020, 161, ss. 194-207; <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.01.019>
- Trafikverket. 2020. *Mått för ljudnivåer*, Hämtad 10 augusti 2021, från <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo---for-dig-i-branschen/buller-och-vibrationer---for-dig-i-branschen/Fakta-om-buller-och-vibrationer/matt-for-ljudnivaer/>
- Trafikverket. 2021. *Trafik- och transportprognoser*, Hämtad 9 augusti 2021, från <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/Planerings--och-analysmetoder/Samhallsekonomisk-analys-och-trafikanalys/Kort-om-trafikprognoser/>
- UNDP. 2021. Goal 13: Climate action, Hämtad 19 mars 2021, från <https://www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development-goals/goal-13-climate-action.html>
- UN-GGIM. u.å. *Integrated Geospatial Information Framework, A strategic guide to develop and strengthen national geospatial information management, part 1: Overarching strategic framework*.
- UN-GGIM. 2018. Beslut 8/113 (E/2018/46)
- Ögren, M. & Bengtsson Ryberg, J. 2015. Bullerberäkningar med Cnossos-EU i Sverige, Västra Götalandsregionens Miljömedicinska Centrum, Göteborg, Sverige

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 provborringar i en webbmiljö
13. Martin Fredriksson (2014) Integrering av BIM och GIS med spatiala databaser – En prestandaanalys
14. Niklas Krave (2014) Utveckling av en visualiseringsapplikation för solinstrålningsdata

15. Magdalena Nyberg (2015) Designing a generic user interface for distribution of open geodata: based on FME server technology
16. Anna Larsson (2015) Samredovisning av BIM- och GIS-data
17. Anton Lundkvist (2015) Development of a WEB GI System for Disaster Management
18. Ellen Walleij (2015) Mapping in Agricultural Development – Introducing GIS at a smallholders farmers’ cooperative in Malawi
19. Frida Christiansson (2016) Lagring av 3D - geodata - en fallstudie i Malmö Stad
20. Lisette Danebjer (2016) Methodology for creating and modifying distributed topologically structured geographical datasets
21. Jeanette Dunn Ekelund (2016) En jämförelse av algoritmer och resultat för flödesberäkning i QGIS/GRASS och ArcGIS
22. Ebba Gröndahl och Frida Thorman (2016) Verksamhetens optimala läge i staden och hur de är lokaliserade idag
23. Gunnar Rolander (2017) Data transformation using linked data ontologies
24. Måns Andersson och Moa Eklöf (2017) Stilsättning av geografiska data
25. Josefine Axelsson (2018) Automatisering av bygglovsansökningsprocessen med stöd av BIM och GIS
26. Leonard B. O. Berge (2018) Uppdatering och visualisering av stadsmodell med stöd av konverterade BIM-modeller
27. Rickard Ingesson & Gabriella Olsson (2019) Publicering av geografiska data på webben : En utvärdering av programsystem med fokus på öppen källkod
28. Alfred Hildingson & Patrik Sylve (2020) Visualisering av stadsmodeller på webben : Jämförande studie mellan CityGML och CityJSON
29. Isabelle Andersson (2020) Indoor positioning systems in office environments : a study of standards, techniques and implementation processes for indoor maps
30. Sebastian Roos & August Cnattingius (2021) Covid-19-pandemins konsekvenser på svenskt näringsliv - en Space Syntax analys : Hur har konkursutsattheten och arbetslösheten förändrats för detaljhandel, hotell och restauranger till följd av restriktioner som begränsar besöksnäring?
31. Emelie Ulin (2021) Simuleringar i planeringsprocessen med 3D-stadsmodeller