

Digital 3D tvilling

Konvertering fra offentlige kartdata til 3D-modell på CityGML-format

ELINE MARIE NILSEN

VEILEDER

Paul Svennevig

Universitetet i Agder, 2023
Fakultet for teknologi og realfag
Institutt for ingeniørvitenskap

Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringen skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.

1.	Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none"> - ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands. - ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt. - ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt. - har alle referansene oppgitt i litteraturlisten. - ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse. 	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å betrakte som fusk og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen §§ 31.	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert.	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	Jeg/vi er kjent med at Universitetet i Agder vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter høgskolens retningslinjer for behandling av saker om fusk.	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider.	<input checked="" type="checkbox"/>

Publiseringsavtale

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten (Åndsverkloven. §2).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage Aura og på UiA sine nettsider med forfatter(ne)s godkjenning.

Opgaver som er unntatt offentlighet eller tausehetsbelagt/konfidensiell vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved Universitetet i Agder en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

JA NEI

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?
(Båndleggingsavtale må fylles ut)

JA NEI

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?

JA NEI

Er oppgaven unntatt offentlighet?

JA NEI

(inneholder taushetsbelagt informasjon. Jfr. Offl. §13/Fvl. §13)

Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet ved Institutt for Ingeniørvitenskap som en del av masterprogrammet for Bygg ved Universitet i Agder. Masteroppgaven er den avsluttende oppgaven i emnet BYG508 og ble utarbeidet i det fjerde og siste semesteret.

Jeg ønsker å benytte anledningen til å takke veilederen min ved Universitet i Agder, Paul Svennevig for god oppfølging og faglig innsikt. Jeg ønsker også å takke min oppdragsgiver Asplan Viak for muligheten til å skrive denne oppgaven i samarbeid med dere, og Tor Gunnar Øverli og Lars Line for god veiledning underveis.

Målet med denne masteroppgaven er å utforske muligheter rundt bruk og utnyttelse av digitalisering i bygg- og anleggsbransjen. Vi har gjennom hele vår mastergrad hatt et stort fokus på bærekraftig utvikling og viktigheten av å tenke nytt og komme med bedre løsninger på gamle utfordringer. Det skal i denne oppgaven vurderes om det er mulig å lage en funksjonell digital 3D tvilling på CityGML format ved bruk av offentlige kartdata og det skal ses nærmere på hvordan dette kan bidra til en mer bærekraftig utvikling.

Summary

This master thesis attempts to explore how public map data can be converted into a digital 3D twin on CityGML format by using FME. To answer this FME has been used to explore if and how the conversion can be done as well as what deficiencies and deviations can occur during conversion from map data to 3D model. How detailed a CityGML model constructed from map data can get and what the advantages and disadvantages of using a digital 3D twin are, is also explored.

3D models of different areas are commercially available from different vendors. They are, however, expensive. That means that only the largest projects and initiatives will use digital 3D twins. More accessible models will increase the number of use cases for digital 3D models so that smaller projects can reap the benefits equally to the larger projects.

Asplan Viak in Arendal has provided all files and background data used in this master thesis. Files have been imported to the software FME and transformed using different techniques and methods. A literature study has been done to find previous research and discussion about digital 3D twin technology.

The result is a usable and functional 3D model in the CityGML format with LoD2.2 (level of detail). This means that buildings and constructions are represented with the correct roof-shapes and placed at their correct elevations in the finished model. The model contains some flaws and deficiencies as a result of inadequate data. The method used to create this digital 3D model is also re-usable. Similar data from a different area can be imported to the model and other areas can easily be represented with a CityGML based digital 3D model.

Innholdsfortegnelse

Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring.....	i
Publiseringsavtale.....	ii
Forord.....	iii
Summary	iv
Figurliste.....	vi
Tabelliste	vii
1. Innledning	1
2. Samfunnsperspektiv.....	2
2.1. Digitalisering.....	2
2.2. Bærekraftsmål.....	2
3. Kunnskapsbakgrunn.....	4
3.1. Digitalisering.....	4
3.1.1. Digital tvilling.....	4
3.1.2. FME.....	4
4. Forskerspørsmål.....	6
4.1. Avgrensninger.....	6
5. Case og materialer	7
6. Metode.....	9
6.1. Litteraturstudie.....	9
6.2. FME.....	11
7. Resultat	15
7.1. Litteraturstudie.....	15
7.2. 3D-modell	17
8. Diskusjon.....	21
8.1. Konvertering i FME.....	21
8.2. Mangler og avvik	22
8.3. LoD i CityGML.....	27
8.4. Bruk av digital tvilling	28
9. Konklusjon.....	31
10. Anbefalinger	32
11. Referanser	33
12. Vedlegg.....	35

Figurliste

Figur 2.1:Mål 8.2 [1]	2
Figur 2.2:Mål 11.1 [1]	2
Figur 3.1:FME konsept [5]	4
Figur 3.2:Forskjeller mellom SOSI og GML [7].....	5
Figur 5.1:SOSI-data mottatt fra Asplan Viak.....	8
Figur 5.2:DTM-raster mottatt fra Asplan Viak.....	8
Figur 5.3:Ortofoto mottatt fra Asplan Viak	8
Figur 6.1:Oppbygning av konvertering i FME.....	11
Figur 6.2: Egenprodusert terrengmodell i 3D.....	11
Figur 6.3: Egenprodusert modell som viser terreng og takflater	12
Figur 6.4:Egenprodusert modell som viser terreng, takflater og vegger	12
Figur 6.5:Egenprodusert modell som viser terreng, takflater, vegger og veranda	13
Figur 6.6:Egenprodusert modell som viser terreng, takflater, vegger, veranda og lyktestolper	13
Figur 6.7:Egenprodusert modell som viser terreng, takflater, vegger, veranda, lyktestolper og gjerder	14
Figur 7.1: Oversikt over 3D-modeller i ulike byer [10]	15
Figur 7.2: Arbeidsflyt for modellering av 3D tvilling [11]	16
Figur 7.3: Oversikt over elementer som inngår i forskjellige LoD [14].....	17
Figur 7.4:Illustrasjon av forskjellige LoD av samme bygning [15]	17
Figur 7.5: Egenprodusert digital 3D tvilling av Barbu.....	18
Figur 7.6:Egenprodusert digital 3D tvilling av Barbu.....	18
Figur 7.7:Egenprodusert digital 3D tvilling av Barbu.....	19
Figur 7.8:Egenprodusert digital 3D tvilling av Barbu.....	19
Figur 7.9:Egenprodusert digital 3D tvilling av Barbu.....	20
Figur 7.10:Egenprodusert digital 3D tvilling av Barbu.....	20
Figur 8.1: SOSI-data som viser datagrunnlaget for bygninger	23
Figur 8.2:Modell som viser feil i veggplassering for bygninger med skråtak	24
Figur 8.3:Modell som viser feil i veggplassering for bygninger med mindre underetasje	24
Figur 8.4: Del av 3D-modell der en bygning ligger i veibanen.....	25
Figur 8.5: Skjermdump fra googlestreetview av bygning som ikke ble lagt riktig inn i modellen.....	25
Figur 8.6:SOSI-data av taklinjer fra grunnlagsdata.....	26
Figur 8.7:Del av 3D-modell som viser Barbu kirke	26

Tabelliste

Tabell 6.1:Oversikt over litteratursøk.....	9
---	---

1. Innledning

I en stadig mer digitalisert verden kommer det hele tiden nye teknologier og muligheter for å endre og ta i bruk disse på nye måter. Tilgjengeligheten av kartdata blir stadig mer omfattende, og mulighetene for å utnytte denne informasjonen i ulike applikasjoner og formål er enorme. En spennende og relevant bruk av kartdata kan for eksempel være å konvertere dem til 3D-modeller og lage digitale 3D tvillinger. En slik konvertering kan åpne dørene for planlegging, visualisering, simulering og analyse av blant annet byområder og infrastruktur. I denne oppgaven skal det ses nærmere på og utforske hvordan offentlige kartdata kan konverteres til en digital 3D tvilling på CityGML format ved hjelp av dataprogrammet FME (Feature Manipulation Engine).

Den overordnede bakgrunnen for å undersøke konvertering av kartdata til 3D-modeller er den økende interessen for digitalisering og bruk av GIS (geografisk informasjonssystem) i en rekke forskjellige applikasjoner som for eksempel byplanlegging, byutvikling og utvikling og vedlikehold av infrastruktur, samt analyser og visualiseringer. Ved å konstruere digital 3D tvilling fra kartdata kan man skape virtuelle representasjoner av virkelige områder som gjør det mulig å utforske og analysere dem på en mer realistisk og intuitiv måte. Det er allerede utviklet en rekke verktøy og metoder for å konvertere kartdata til 3D-modeller, som for eksempel FME, ArcGIS eller Unreal Engine. Samtidig har bruken av CityGML formatet blitt stadig mer utbredt som en internasjonal standard for representasjon av bymodeller. CityGML er et datamodelleringspråk som muliggjør beskrivelse av bygninger, terrenglementer, infrastruktur og annen geografisk informasjon i 3D.

Ved å utforske hvordan offentlig kartdata kan konverteres til en digital 3D tvilling på CityGML format kan man identifisere utfordringer, begrensninger og muligheter knyttet til konverteringsprosessen og bruken av digitale 3D tvillinger. Dette problemområdet kan være av stor betydning for en rekke forskjellige aktører, herunder byplanleggere, forskere og utviklere som søker å utnytte geografisk informasjon i en 3D-kontekst for å forbedre beslutningsprosesser og kommunikasjon rundt byutvikling og infrastrukturprosjekter. Gjennom denne oppgaven skal det ses nærmere på og utforske ulike aspekter ved konvertering av offentlig kartdata til CityGML format ved hjelp av FME, og utforske fordeler og ulemper knyttet til bruken av slike digitale 3D tvillinger. Ved å se nærmere på dette problemområdet er det ønskelig å bidra til en økt forståelse av potensialet og utfordringene ved å transformere offentlig kartdata til realistiske og anvendelige 3D-modeller.

2. Samfunnsperspektiv

2.1. Digitalisering

Digital 3D tvilling kan erstatte fysiske befaringer. Det vil imidlertid kreve at modellen inneholder god og korrekt informasjon, samt at modellen er lett å se, studere og analysere. For at en digital modell skal kunne erstatte fysisk befaring må en kunne stole på at modellen er presis nok, og at den gir tilstrekkelig med informasjon. Ved å benytte digital 3D tvilling til befaring av bygninger og andre byggeprosjekter kan behovet for fysisk befaring reduseres. Dette kan bidra til å redusere behov for reise, noe som sparer både tid og penger. Det kan også gi en positiv reduksjon av klimautslipp knyttet til reise. Digital befaring kan også bidra til å redusere antall ulykker, ettersom at mange befaringer kan være på risikofylte områder eller rundt maskiner og uferdige konstruksjoner som øker skaderisiko på området. Digital tvilling kan også benyttes til å studere områder som helst ikke skal forstyrres av mennesker eller områder som er farlig for mennesker å oppholde seg i.

2.2. Bærekraftsmål

Bruk av digital 3D tvilling er et svært aktuelt samfunnstema som kan ha stor påvirkning på miljø og bærekraft i fremtiden. Det er derfor viktig å se på hvordan bruken av digital tvilling kan bidra til å nå FN's bærekraftsmål. Bærekraftsmålene består av 17 mål og 169 delmål som ble utarbeidet som en felles arbeidsplan for å bekjempe ulikhet, utrydde fattigdom og stoppe klimaendringene innen 2030 [1]. Det er viktig å se på hvordan nye teknologier og innovasjoner kan bidra i disse målene, da alle har et felles ansvar for å bidra der en har mulighet. Etter hvert som bruken av digitale hjelpemidler blir mer utbredt, blir det viktigere å se på hvordan bruken av disse kan bidra til å nå FN's bærekraftsmål.



«8.2) Øke den økonomiske produktiviteten gjennom diversifisering, teknologisk fremgang og innovasjon, blant annet med vekt på lønnsomme og arbeidsintensive sektorer [1]»

Figur 2.1:Mål 8.2 [1]

Innføring og utnyttelse av digital 3D tvilling kan bidra til økt økonomisk vekst. Dette ved å hjelpe planleggere og beslutningstakere å utvikle nye, innovative løsninger, for eksempel innenfor byplanlegging og transport. Med digital tvilling kan man enklere visualisere mulige løsninger og velge den mest effektive og lønnsomme løsningen, og dermed bidra til økt produktivitet og blant annet skape flere jobber.



«11.1) Innen 2030 sikre at alle har tilgang til tilfredsstillende og trygge boliger og grunnleggende tjenester til en overkommelig pris, og bedre forholdene i slumområder [1]»

Figur 2.2:Mål 11.1 [1]

Ved hjelp av digital 3D tvilling kan en visualisere og planlegge bygninger og infrastruktur på en mer nøyaktig og effektiv måte. Dette kan bidra til å redusere kostnadene og øke tilgangen til trygge og rimelige boliger, samt bidra til å bedre forholdene i slumområder ved å utvikle bærekraftige og trygge boligløsninger for beboere.

Bruk og innføring av digital 3D tvilling kan også bidra til å nå bærekraftsmålene ved å hjelpe med visualisering, forståelse og overvåking i forskjellige miljøer. Det kan benyttes som et hjelpemiddel for å kartlegge og overvåke marine økosystemer. En digital tvilling kan lages for eksempel av et bestemt havområde og det kan legges inn informasjon om planter og dyr som lever der, samt havstrømmer, mulig forurensning, fiskeaktivitet og dykking. En kan benytte undervannskameraer til å holde informasjonen oppdatert og dermed kartlegge og analysere all aktivitet i området. Noe som kan bidra til å nå mål 14 som omhandler liv under vann, ved å bidra til å beskytte truede arter og redusere forurensning og annen miljøpåvirkning.

Digital tvilling kan også utnyttes til å beskytte truede arter, redusere avskoging og annen miljøpåvirkning, og styrke bærekraftig bruk av landressurser ved å forstå og overvåke landbaserte økosystemer. Dette kan gjøres ved å lage 3D tvilling av skogsområder og inkludere data og informasjon om dyr, planter og andre organismer, samt vær og aktivitet i området. Det kan så gjøres analyser og simuleringer på den digitale tvillingen som kan senke behov for menneskelig aktivitet i området, samt bidra til oppdagelse av truede arter og skape bevissthet rundt for eksempel avskoging. Dette kan bidra til å nå mål 15: liv på land.

3. Kunnskapsbakgrunn

3.1. Digitalisering

Begrepet digitalisering er stort og kan være vanskelig å definere. Overordnet går det ut på at analoge data går over til digitale data, samt utnyttelse og bruk av digitale data. Det Norske Akademis Ordbok definerer verbet «å digitalisere» på to forskjellige måter [2]. Den første definisjonen er «gjøre om (fra analogt) til digitalt format», en kan for eksempel snakke om digitalisering av bilder eller tekster. Den andre definisjonen som presenteres er «innføre eller i høy grad gjøre bruk av digitale hjelpemidler og informasjonsteknologi»

3.1.1. Digital tvilling

En digital tvilling beskrives av DigitalNorway i en artikkel fra 2021 som en digital rekonstruksjon av noe som eksisterer i virkeligheten, det kan for eksempel være fysiske objekter, steder, systemer eller mennesker [3]. Videre i artikkelen beskrives digital tvilling på følgende måte:

«I sin enkleste form kan en digital tvilling være et enkelt dashboard på en PC. I motsatt ende av skalaen kan de være en fullt modellert 3D-representasjon med detaljert sanntidsinformasjon, som kan besøkes og interageres med i en virtuell virkelighet» [3].

Geografisk informasjonssystem eller GIS er et system som lager, håndterer, analyserer og kartlegger alle typer data [4]. GIS knytter data til kart ved å koble lokasjonsdata med beskrivende informasjon.

3.1.2. FME

Feature Manipulation Engine, FME, er et dataprogram som blant annet kan benyttes til å konvertere data fra et format til et annet [5]. Figur 3.1:FME konsept viser hvilke andre elementer som gjerne benyttes i sammenheng med bruken av FME. FME beskrives av Norkart som «et smart alternativ til å skrive kode [5]» Det er også mulig å utvide arbeidsprosessene med kode, ved hjelp av språk som Python og R. Norkart kommer med en liste over noen av formålene FME kan brukes til. På denne listen nevnes det blant annet utveksling av data mellom CAD og GIS-systemer, datakonvertering og oversettelse fra format til format og kobling av applikasjoner ved å formatere data i forhold til en tidsplan. Listen inneholder en rekke andre punkter, og det nevnes at listen kun er en del av det som er mulig å få til med FME.



Figur 3.1:FME konsept [5]

FME støtter over 500 forskjellige formater og API, blant annet CityGML format [5]. CityGML er et filformat som gjerne brukes for komplekse 3D-modeller og omtales som en internasjonal standard. SOSI-filer kan i utgangspunktet ikke leses av FME, men med en utvidelse fra Norkart er det allikevel mulig. SOSI beskrives av Geonorge på deres sider på følgende måte: «SOSI er det nasjonale formatet for utveksling av geografisk informasjon i Norge. Det finnes få verktøy for å se på, symbolisere eller gjøre analyse på SOSI-data, men det finnes en rekke verktøy som kan importere SOSI-data inn i sine systemer [6]». Det nevnes videre at SOSI er «det offisielle norske standardformatet for utveksling av digitale kartdata [6]»

Kartverket presenterte i 2019 på x, y og z konferansen forskjeller og likheter mellom SOSI og GML [7]. I Figur 3.2 trekkes det frem en rekke positive og negative egenskaper ved de to filformatene.

SOSI	GML
Særnorsk format	Internasjonalt format
Mye brukt filformat i Norge	Mindre brukt filformat i Norge
Dårlig egnet for datautveksling på tvers av landegrenser	Godt egnet for datautveksling på tvers av landegrenser
Manglende håndtering av komplekse geometrier	God håndtering av både enkle og mer komplekse geometrier (volumobjekter)
«Ukjent» format for mange internasjonale programvarer	Kjent format for internasjonal programvare
Manglende håndtering av assosiasjoner mellom objekter	God håndtering av assosiasjoner mellom objekter
Klare regler for hvordan formatet skal brukes/tolkes.	Filformat med mange frihetsgrader, samme objekt kan representeres på mange for
Komprimerte data	Volumiøse data

Figur 3.2:Forskjeller mellom SOSI og GML [7]

4. Forskerspørsmål

For å utforske mulighetene rundt dette temaet er følgende forskerspørsmål utarbeidet:

Hvordan kan offentlig kartdata konverteres til en digital 3D tvilling på CityGML format?

For å kunne svare på dette, må det sees nærmere på følgende:

- Hvordan kan FME benyttes til å konvertere kartdata til CityGML format?
- Hvilke mangler og avvik kan forekomme under konvertering fra kartdata til 3D-modell?
- Hvor detaljert vil en CityGML modell konstruert fra kartdata bli?
- Hvilke fordeler og ulemper er knyttet til bruk av digital 3D tvilling?

4.1. Avgrensninger

I denne oppgaven er det blitt valgt sette følgende avgrensninger:

- Det er valgt kun benytte datagrunnlaget mottatt fra Asplan Viak. Det er ikke sett på andre datagrunnlag eller samlet noe data om området utenom. Grunnen til dette er at ønsket fra oppdragsgiver var å spesifikt se nærmere på de gitte SOSI-filene og hvordan akkurat disse kunne konverteres til en digital 3D tvilling på CityGML format.
- Det er kun sett på området Barbu i Arendal kommune. Dette ble valgt i samarbeid med oppdragsgiver og grunnlagsdataene er kun fra dette området.
- Det er ikke blitt vurdert hvilke kostnader eller kostnadsbesparelser oppgaven kan føre til. Økonomi er nevnt som et tema enkelte steder, men det er ikke gjort beregninger på eller blitt tatt hensyn til gjennom oppgaven.
- I denne oppgaven ble det valgt å kun benytte FME i det praktiske konverteringsarbeidet og ingen andre programvarer ble benyttet.

5. Case og materialer

Oppgaveforslaget som denne oppgaven er bygd opp rundt er lagt frem av Asplan Viak høsten 2022. Asplan Viak er et av Norges ledende rådgivningsselskaper innen plan, arkitektur- og ingeniørfag [5]. Forslaget som ble lagt frem så ut som følger:

«CityGML er en åpen standard for håndtere, forvalte og visualisere en 3D digital tvilling av virkeligheten. Standarden konkurrerer med ulike leverandørers proprietære løsninger der struktur, innhold og software er tett og lukket bundet sammen. Datagrunnlaget (FKB, høydedata og Norge i bilder) i Norge antas å være godt egnet til å konstruere en digital tvilling basert på CityGML.

a) Teoridel

a. sammenlign datamodeller for FKB, høydedata og muligens flere datasett i Norge digitalt samarbeidet med CityGML og koble objekter og egenskaper sammen.

b. Analysere resultatet fra konverteringen under praktisk del og utforme en gap analyse – hva får en til og hva får en ikke til fra standard datasett i Norge.

b) Praktisk del

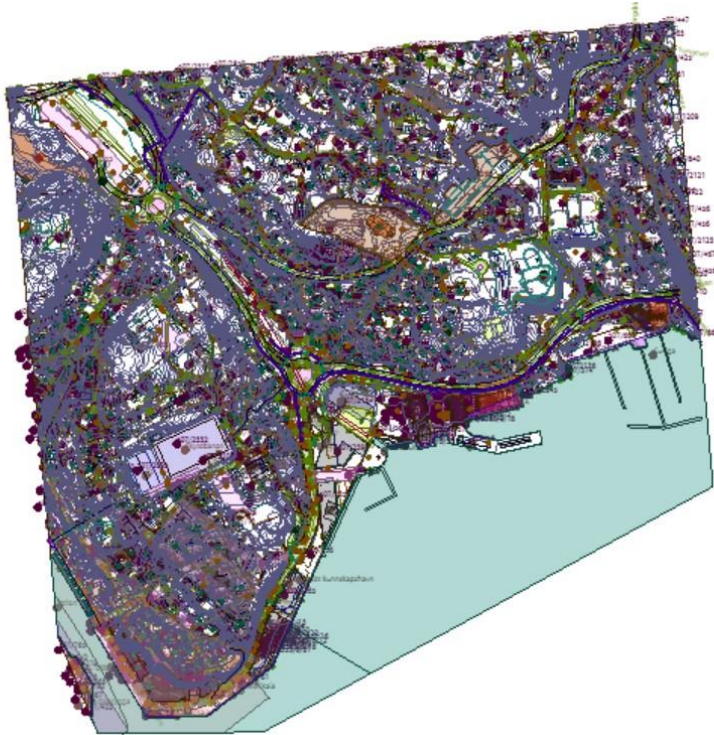
a. Etablere en konvertering fra nasjonale datasett til CityGML i et utvalgt testområde.

Aktuelt verktøy: FME, ArcGIS eller QGIS.

b. Teste ut server og klientløsninger for CityGML»

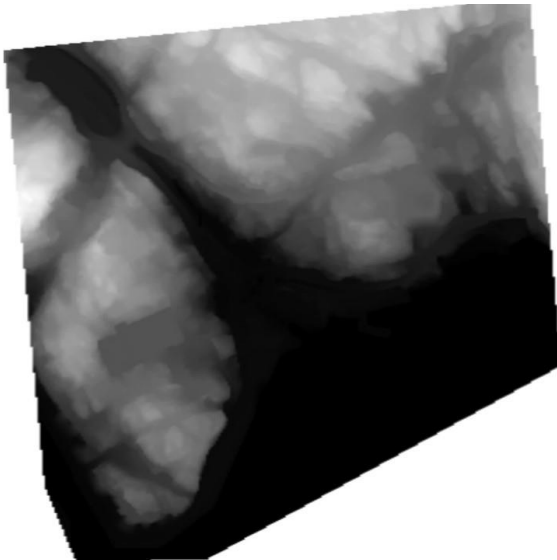
Det er i dag mulig å kjøpe 3D-modeller på CityGML format fra flere forskjellige aktører. Disse tjenestene er dyre, og det er lite kompetanse på området. Den høye prislappen gjør imidlertid at dette ikke alltid er en realistisk mulighet i mindre prosjekter eller for mindre bedrifter. Det er med denne oppgaven ønskelig å se på muligheter for å skaffe en 3D-modell på CityGML format utenfor markedet til kommersielle aktører. Målet er å kunne konstruere egne modeller med det datagrunnlaget som er beskrevet under.

Datagrunnlaget for modellen som skal konstrueres er en rekke datasett mottatt fra Asplan Viak. Dataene er hovedsakelig en rekke SOSI-filer i tillegg til DTM-raster og ortofoto. SOSI-dataene er fordelt i 20 forskjellige filer som for eksempel «veg» og «bygninger». Hver fil er delt inn i underkategorier og det er til sammen 130 forskjellige. For eksempel er «vekkant» og «midtlinje» to av underkategoriene i filen «veg», og «mønelinje» og «veranda» er to av underkategoriene i filen «bygninger». På Figur 5.1 er alle SOSI-filene åpnet sammen og uredigert i FME for å illustrere hvordan datagrunnlaget ser ut. SOSI-filene inneholder også masse informasjon som ikke kommer tydelig frem her. De inneholder for eksempel informasjon om adresser og om gjerder er privat eller kommunalt eid.



Figur 5.1: SOSI-data mottatt fra Asplan Viak

I datagrunnlaget var det også en DTM (Digital Terrain Model) og et ortofoto. Under ligger et bilde av DTM-rasteren til venstre (Figur 5.2) og ortofoto til høyre (Figur 5.3). DTM-rasteren er i 2D med fargekoder som sier noe om høyden til hvert punkt. Ortofotoet, også kalt RGB-raster, er kun et satellittbilde av området og inneholder ingen annen informasjon om høyder eller liknende.



Figur 5.2: DTM-raster mottatt fra Asplan Viak



Figur 5.3: Ortofoto mottatt fra Asplan Viak

6. Metode

Med oppgaveforslaget presentert i case som utgangspunkt, ble oppgaven formet i samarbeid med Asplan Viak og rammene for oppgaven ble satt. Det ble formulert et forskerspørsmål med tilhørende underspørsmål og avgrensningene ble bestemt.

Det er blitt benyttet to forskjellige metoder for å finne svar på forskerspørsmålet som ble satt. Det ble gjort en litteraturstudie for å finne relevante tidligere studier og forskning, men også for å gi et utgangspunkt for å konstruere en digital 3D tvilling. Konvertering i FME ble også benyttet som en metode, for å bidra til å besvare forskerspørsmålet. Begge metodene ble benyttet parallelt i arbeidet, og det var dermed mulig å benytte informasjon og erfaring fra den ene over i den andre og motsatt.

6.1. Litteraturstudie

Den ene metoden som har blitt brukt i denne oppgaven er litteraturstudie. Søkemotoren som ble benyttet var Google Scholar og det ble utført flere forskjellige søk som kan ses i oversikten nedenfor. Forskerspørsmålet med underspørsmål var utgangspunktet for de forskjellige søkene, og det ble forsøkt å konkretisere søkene på en slik måte at treffene var få og inneholdt den informasjonen som var ønsket. Det var ønskelig å finne ny og oppdatert informasjon så alle søkene er begrenset til utgivelsesår 2022 eller senere. Det var ønskelig å finne artikler fra hele verden og søkene er derfor gjort på engelsk. Overskriftene ble lest gjennom på alle treffene som kom på hvert søk, og abstraktet ble lest gjennom på de artiklene som vekket interesse. Mange treff ble fort ekskludert basert på overskriften, og enda flere ble ekskludert etter abstraktet ble tatt i betraktning. Det neste som ble gjort var at artiklene som virket interessante ble skimmet gjennom for å finne relevant informasjon, det ble også sett på bilder, figurer og tabeller. Etter dette var det gjerne igjen en eller to artikler som ble valgt å bruke videre i oppgaven.

I Tabell 6.1 er søkene som ble gjort presentert, samt hvilke artikler som ble funnet. Etter hvert søk ble de valgte artiklene lest nøye gjennom for å finne informasjon som kunne bidra til å besvare forskerspørsmålet i denne oppgaven. Det ble så sett på hvilken informasjon som fremdeles manglet for å besvare forskerspørsmålet og dette ble lagt til grunn for det neste søket. Det ble også utført søk som ikke gav relevante resultater, og funnet artikler som ikke gav relevant informasjon. Disse er ekskludert fra tabellen.

Tabell 6.1: Oversikt over litteratursøk

Søk	Spesifikasjoner	Dato	Treff	Artikler funnet
CityGML "3D City Modeling" "feature manipulation engine"	Etter 2022	21.03.23	7	Creation and Spatial Analysis of 3D City Modeling based on GIS Data [9]
CityGML "3D City Modeling" "building parts"	Etter 2022	13.04.23	10	Modeling buildings in CityGML LOD1: Building parts, terrain intersection curve, and address features [10]

allintitle: digital twin city	Etter 2022, oversiktsartikler	02.05.23	12	Digital twin of a city: Review of technology serving city needs [11]
CityGML LOD	Etter 2022, oversiktsartikler	03.05.23	86	BIM/GIS data integration from the perspective of information flow [12]
				Preliminary Literature Survey on LoD of Geographic Information [13]
allintitle: lod1 lod2	Etter 2022	04.05.23	2	Automated 3D Reconstruction of LoD2 and LoD1 Models for All 10 Million Buildings of the Netherlands [14]
Levels of Detail "CityGML building models"	Etter 2022	04.05.23	27	3D CityGML Building Models Development With Cross-Scale Query Database [15]

Creation and Spatial Analysis of 3D City Modeling based on GIS Data er en artikkel publisert i Civil Engineering Journal i 2022 [9]. Artikkelen beskriver et case studie som ble gjort av et universitetscampus i Egypt. Studiet gikk ut på å konstruere en 3D-modell av området. Artikkelen beskriver blant annet hvilke hovedelementer som skal til for å kunne lage en 3D-modell. For å finne relevant informasjon fra denne artikkelen ble det først lest gjennom artikkelen for å gi et innblikk i hva den handler om og hva som kunne være aktuelt for å trekke ut. Denne artikkelen er en casestudie og den undersøker flere forskjellige måter å konstruere 3D-modellen, og det kunne dermed trekkes ut informasjon og inspirasjon til 3D-modellen som skulle konstrueres. Artikkelen ble også brukt til å finne likheter og forskjeller i datagrunnlag og hvordan det påvirker metoden som benyttes for å lage modellen.

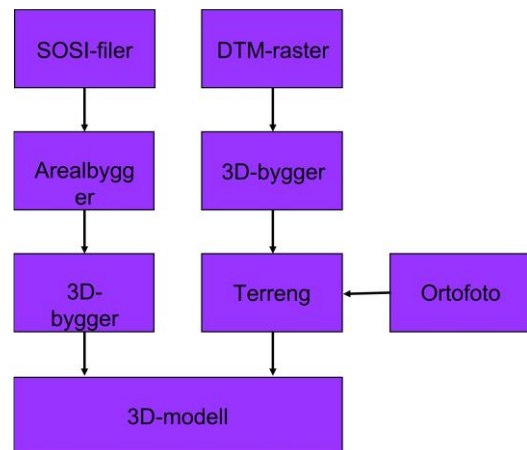
Artikkelen Modeling Buildings in CityGML LOD1: Building Parts, Terrain Intersection Curve, and Address Features skrevet av Evgeny Shirinyan og Dessislava Petrova-Antonova ser på hvordan en LoD1 CityGML modell kan lages [10]. Den ser konkret på en modell av byen Sofia, men sammenlikner også denne med liknende modeller fra 18 forskjellige byer som har åpne datasett. Denne artikkelen har hovedsakelig blitt brukt til å finne informasjon om hva som skal til for å møte kravene for de forskjellige nivåene av detaljer (LoD). Det samme var formålet med artiklene fra Zhu et al., Karim et al. og Peters et al. som alle blir brukt til å definere og diskutere LoD i denne oppgaven. Artikkelen fra Zhu et al. kalt *BIM/GIS data integration from the perspective of information flow* diskuterer blant annet forskjellen på LoD og LOD, og hvordan de benyttes i forbindelse med henholdsvis GIS og BIM [12].

Karim et al. sin artikkel *3D CityGML BUILDING MODELS DEVELOPMENT WITH CROSS-SCALE QUERY DATABASE* omhandler bruken av punktskydata i konstruksjon av 3D-modeller [14]. Det ses nærmere på hvilken LoD som er mulig å oppnå med forskjellige punktskydata som utgangspunkt. Artikkelen er blitt brukt til å definere LoD og se på hva som skal til for å oppnå de forskjellige detaljnivåene. Artikkelen til Peters et al. er også blitt benyttet til å se nærmere på LoD, og hvordan hver grad av LoD kan benyttes til forskjellige formål og har forskjellige fordeler og ulemper [15].

Artikkelen til Lethola et al. er blitt benyttet til å se nærmere på og diskutere bruken av digital 3D tvilling [11]. Det ble sett på hvilke bruksområder som blir foreslått i artikkelen og disse ble benyttet som utgangspunkt i diskusjonen rundt temaet.

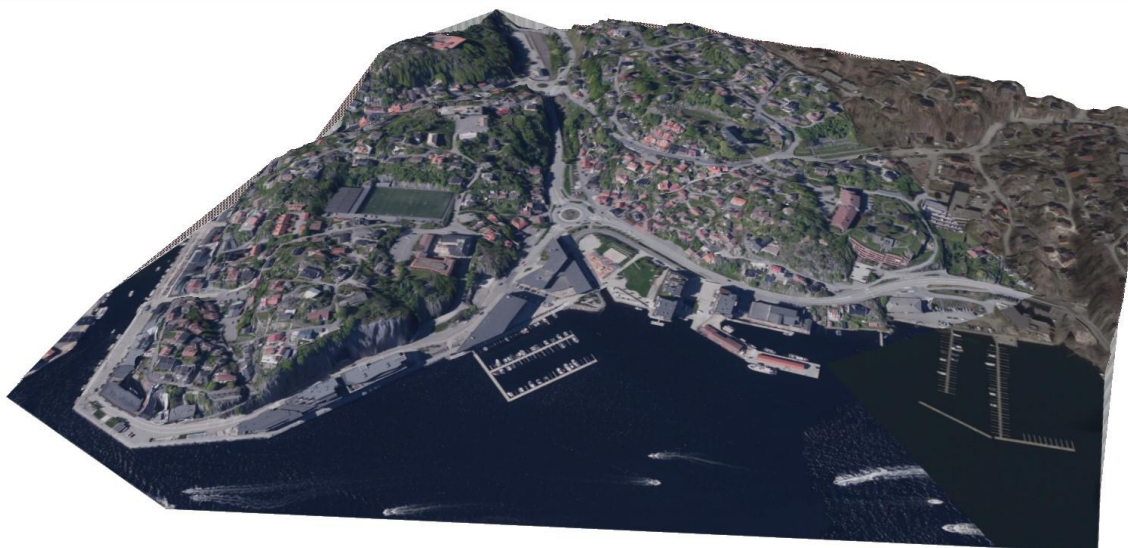
6.2. FME

En modell ble laget for å få praktisk erfaring med FME og CityGML, samt gi mulighet for å finne løsninger som ikke kom frem i litteraturstudiet. Målet med modellen var å lage en digital 3D tvilling av Barbu i Arendal på CityGML format ved hjelp av programvaren FME. Input-dataene som ble benyttet var SOSI-data og to raster, DTM-raster og ortofoto. Figur 6.1 viser en simplifisert illustrasjon av hvordan modellen ble laget i FME, for komplett oppbygning se vedlegg 2.



Figur 6.1: Oppbygning av konvertering i FME

Det første som ble gjort var at de forskjellige datasettene: SOSI-filer og raster, ble lest inn i FME og sortert etter funksjon. Terrengmodellen ble konstruert først, ved at DTM-rasteren ble sendt gjennom en 3D bygger for å gi terrenget z-koordinater. Dette gjorde at terrenget fikk formen som kan ses på bildet under. Deretter ble utseende på terrenget satt ved å hente dette attributtet fra ortofotoet og sende det gjennom en transformator kalt ApperaceSetter. Terrengmodellen er vist på Figur 6.2 og er konstruert kun ved hjelp av Figur 5.2 og Figur 5.3. Her har terrenget fått høyde, men alle bygninger og liknende er flate. Modellen er enkel, men den er gått fra 2D til 3D.



Figur 6.2: Egenprodusert terrengmodell i 3D

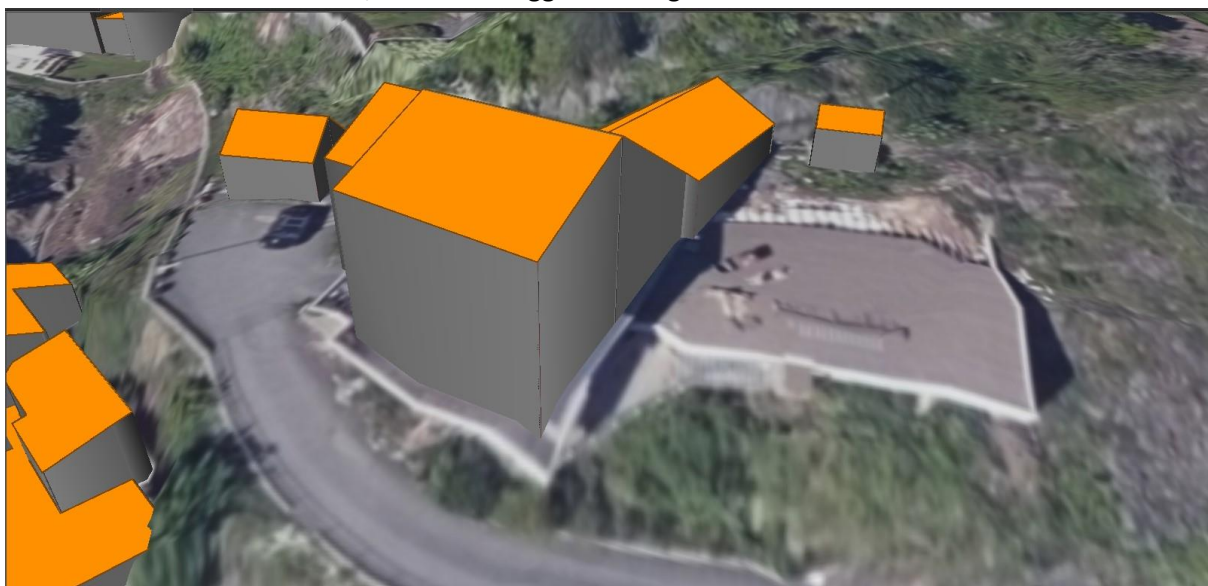
Det neste som ble gjort var at SOSI-filene ble sortert etter funksjon slik at for eksempel alle filene under «bygninger» ble liggende sammen. Deretter ble alle filene som inneholdt taklinjer, for eksempel «mønelinjer» og «takoverbyggkant» med mer, satt sammen ved hjelp av en

linjekombinerer. De sammensatte linjene ble så sendt gjennom en arealbygger for å etablere takflater. Figur 6.3 viser et hus på nærhold, her med de konstruerte takflatene som svever over terrenngmodellen. Takflatene er her oransje for illustrasjon.



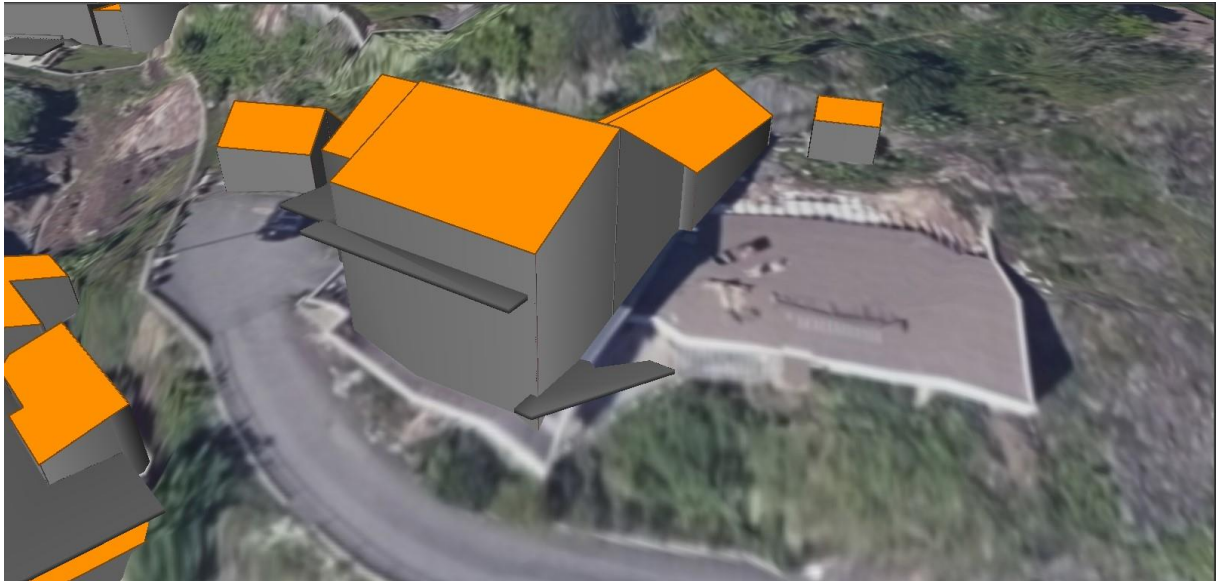
Figur 6.3: Egenprodusert modell som viser terreng og takflater

Alle de samlede taklinjene ble så ekstrudert i negativ z-retning for å gi bygningene veggarealer. Figur 6.4 viser samme hus som over, men med veggarealer lagt til.



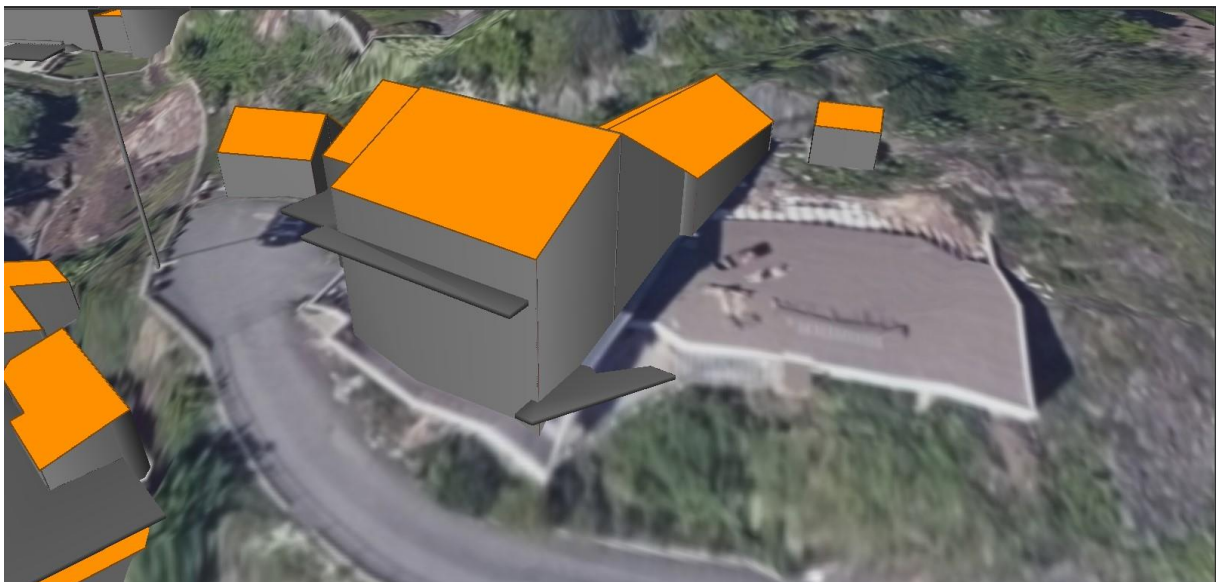
Figur 6.4: Egenprodusert modell som viser terreng, takflater og vegger

Noen av filene under «bygninger», som verandaer og trapper ble sendt gjennom separate arealbyggere og deretter gitt høyde i z-retning for å bli solide objekter. Takflatene og veggarealene ble så satt sammen med verandaer og trapper til komplette bygninger som vist i Figur 6.5.



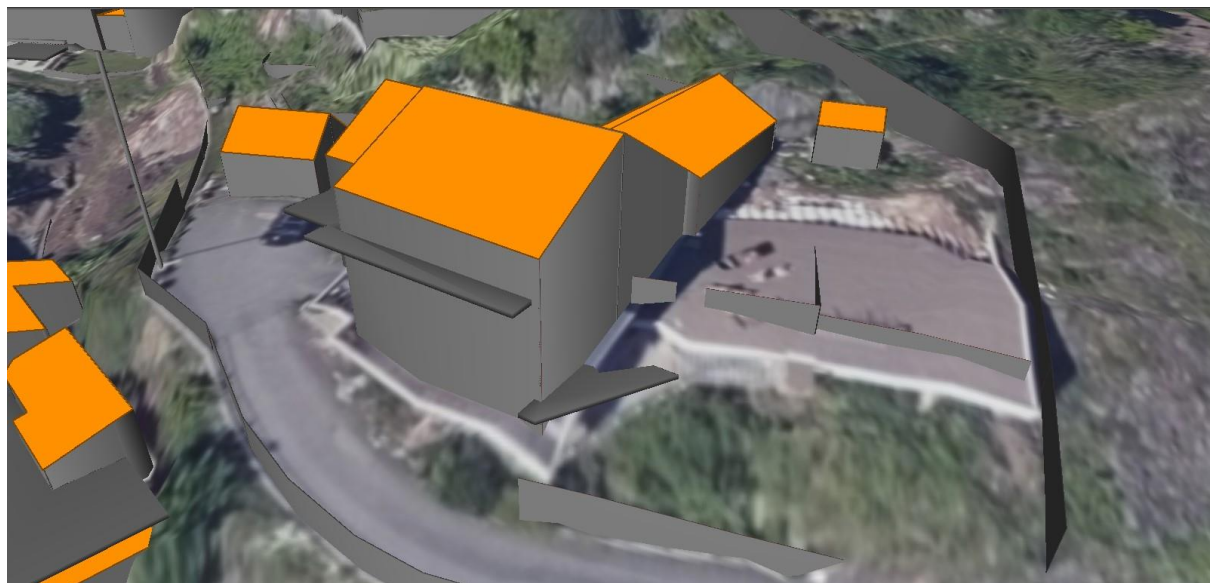
Figur 6.5:Egenprodusert modell som viser terreng, takflater, vegger og veranda

Flaggstenger og lyktestolper, som i datagrunnlaget var kun punkter i xy-planet uten korrekt z-koordinat, ble først gjort til sirkler ved hjelp av en 2DEllipseReplacer. Deretter ble punktene gitt z-koordinater slik at hver sirkel ble liggende på toppen av terrenget. Dette ble gjort ved å sende punktene gjennom en SurfaceDraper som også ble koblet til terrenget for å få riktige z-koordinater. Sirklene ble deretter ekstrudert i positiv z-retning for å gi de høyder som gjenspeiler henholdsvis gjennomsnittlige flaggstenger og lyktestolper. I Figur 6.6, kan en slik lyktestolpe bli sett øverst til venstre.



Figur 6.6:Egenprodusert modell som viser terreng, takflater, vegger, veranda og lyktestolper

Gjerder, murer og liknende, som i datagrunnlaget vises som linjer der z-koordinatene representerer toppen av objektet, ble kun ekstrudert i negativ z-retning. Gjerdene kan ses flere steder på bilder under, blant annet langs veien som vist i Figur 6.7.



Figur 6.7: Egenprodusert modell som viser terreng, takflater, vegger, veranda, lyktestolper og gjerder

7. Resultat

7.1. Litteraturstudie

Artikkelen *Creation and Spatial Analysis of 3D City Modeling based on GIS Data* foreslår at de tre hovedelementene som skal til for å lage en 3D-modell er terrengmodell, 2D-spatialdata og funksjonshøyder [9]. Det første som ses på, er hvordan en terrengmodell kan konstrueres ved å bruke grid leveling og en DEM (Digital Elevation Model). Det beskrives at grid leveling benyttes til å lage et rutenett på kartet og måle høyden på hvert punkt i rutenettet. Dette gjøres slik at man finner høyden på hvert punkt i forhold til havnivået. For å gjøre disse punktene om til en terrengmodell benyttes en interpolasjonsmetode på settet med punktdata. For å finne bygningenes fotavtrykk benytter de en kombinasjon av måling med totalstasjon, satellittbilder og dyp læring. De beskriver i artikkelen dyp læring som en tilnærming av kunstig intelligens som benytter datavisjon til å analysere og sortere store mengder satellittbilder, flyfoto og dronekart og trekke ut informasjon om nøyaktig hvor bygningene ligger. De beskriver at de har benyttet den spesifikke typen dyp læring kalt «Mask R-CNN» for å tegne en nøyaktig linje rundt hver bygning. De beskriver hvordan denne bruken av dyp læring har fungert fint på bilder fra Egypt og av bygninger i egyptisk stil, men argumenterer at metoden ikke vil fungere for europeiske eller amerikanske bygninger. Videre benyttes en formel for å finne høyden på hver bygning. Formelen benytter gjennomsnittlig etasjehøyde multiplisert med antall etasjer pluss høyden på grunnetasje pluss 1.0.

I artikkelen *Modeling Buildings in CityGML LoD1: Building Parts, Terrain Intersection Curve, and Address Features* skrevet av Shirinyan et al.

beskrives forskjellen mellom LoD1 og LoD2 som følger “The LoD1 building differs from the LoD2 building as it does not describe roof geometry, walls, and ground surfaces as separate objects [10]». Artikkelen beskriver at en LoD2 bygning beskriver takgeometri, vegger, og bakkeoverflater som separate objekter. Videre står det at LoD1 allikevel benyttes ofte grunnet mindre kompliserte importprosedyrer. Figur 7.1 presenterer en oversikt over CityGML 3D-modeller i forskjellige byer som vises til i artikkelen.

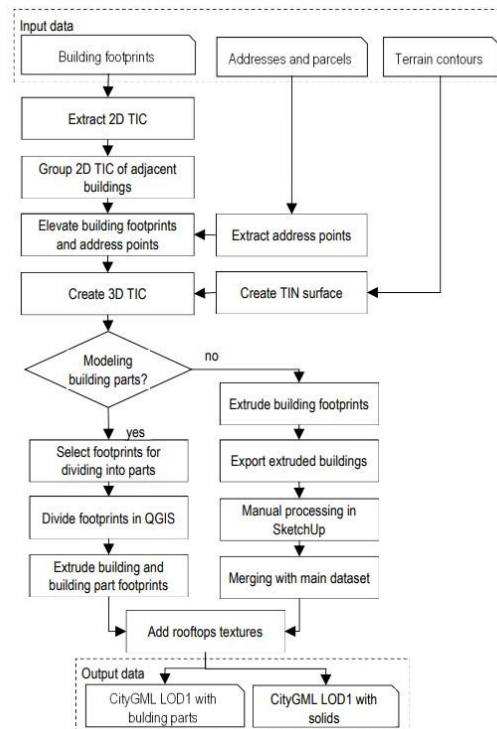
Country	City or State	Year of Last Update	LODs within a Dataset	Building Part	xAI Address + Geometry	TIC
USA	New York	2016	LOD2	no	Address is missing	no
Germany	North Rhine-Westphalia state	2020	LOD1	yes	xAI Address + geometry	no
Germany	Hamburg	2021	LOD1	yes	xAI Address	yes
Germany	Potsdam	2012	LOD1, LOD2	no	xAI Address	no
Germany	Berlin	2014	LOD2	no	xAI Address	no
France	Lyon	2018	LOD1, LOD2 - landmarks	no	Address as a plain attribute	no
Luxembourg	Luxembourg	2019	LOD1	no	Address is missing	no
Belgium	Namur	2018	LOD2 - solid	no	Address is missing	no
Finland	Helsinki, Kalasatama	2019	LOD1, LOD2	no	xAI Address	no
Finland	Helsinki	2019	LOD1	no	xAI Address	no
Finland	Espoo	2021	LOD2	no	xAI Address	yes
Estonia	Tallinn	2021	LOD1	no	xAI Address + geometry	no
Austria	Vienna	2016	LOD2	yes	Address is missing	no
Austria	Linz	2020	LOD2	yes	Address is missing	no
Netherlands	Rotterdam	2020	LOD1	yes	xAI Address + geometry	no
Poland	Poznan	2021	LOD1	no	Address is missing	no
Bulgaria	Sofia	2021	LOD1	yes	xAI Address + geometry	yes

Figur 7.1: Oversikt over 3D-modeller i ulike byer [10]

Artikkelen trekker også frem at manuell editering er en passende metode ved landemerker og der signifikante takvariasjoner har konsekvenser for uttrykket til bygningen. Videre viser artikkelen til Figur 7.2 som viser deres arbeidsflyt i utviklingen av 3D-modellen, der manuell prosessering i SketchUp er et av stegene. Et av stegene i denne prosessen kaller de «Divide footprints in QGIS». I artikkelen utdypes dette steget videre «The footprints of five buildings are divided manually into parts with different floor counts and stored as a new vector layer in QGIS».

I oversiktsartikkelen Digital twin of a city: Review of technology serving city needs presenteres det en liste over «City needs» [11]. Listen sies i artikkelen å være typisk for europeiske byer og består av flere punkter. Det første punktet går ut på byplanlegging og byutvikling for å skape gode bomiljøer. Videre forklares det at måten digital tvilling kan være til hjelp er blant annet i regulerings- og kommuneutvikling, høyhusplanlegging og klimasimulering, samt visualisering for arkitekter og andre planleggere. Det forklares at disse eksemplene er rapportert fra byen Zürich. Et annet punkt på listen nevner helsetilbud og nødetater, og at digital tvilling kan benyttes for å sørge for at disse er tilstrekkelige og tilgjengelige. Det nest siste punktet på listen er infrastruktur. I dette punktet forklares det at digital tvilling kan bidra til at infrastruktur bygges og vedlikeholdes på riktig måte. Prediktivt vedlikehold, samt simuleringer og analyse av trafikk, energi, vann, avfall og telekommunikasjon beskrives som mulige bruksområder til digital tvilling innenfor infrastrukturpunktet. Det femte og siste punktet går ut på å bruke digital tvilling og analyser til å fremme veksten av økonomiske aktiviteter som fører til økning i byens skatteinntekter, noe som igjen kan bidra til mer investeringer i forbedringer for innbyggere.

I artikkelen *BIM/GIS data integration from the perspective of information flow* under overskriften: «4.2.6. Conversion of level of detail» beskrives forskjellen mellom LoD i GIS og LOD i BIM [12]. Det forklares at det i GIS er snakk om LoD (level of detail), fra LoD0 til LoD4, for å indikere mengden informasjon som finnes i modellene. LoD brukes om overflatemodeller og er i formatet CityGML. For solide modeller viser artikkelen til en variant av LoD, kalt s-LoD (solid LoD). Videre i avsnittet forklares det at LOD som brukes i BIM-sammenheng står for «level of development» eller utviklingsnivå og strekker seg fra LOD100 til LOD500. LOD i BIM er definert av American Institute of Architects og er utvidet av BIMForum. Det forklares videre at LoD og LOD har ulike emner av interesse. LoD i GIS fokuserer mer på hele bygningsmodellen og ser på hva som skal inngå i en bygningsmodell, mens LOD i BIM har større fokus på komponentene i en bygning og ser på hva som skal inngå i en bygningsdel.



Figur 7.2: Arbeidsflyt for modellering av 3D tvilling [11]

En artikkel skrevet av Kim et al. kalt *Preliminary Literature Survey on LoD of Geographic Information* diskuterer bruken av LoD [13]. Det påstås at generalisering kan betraktes som en nyttig prosess for å redusere størrelse og kompleksiteten til en modell til et nivå som kan håndteres av applikasjonen uten å miste relevant informasjon. Det forklares også at modellene i praksis kan inneholde geometriske og topologiske feil. De kommer videre med eksempler som manglende overflater, kryssende bygningsdeler og overflødig innvendig geometri, og foreslår en automatisk reparasjonsalgoritme for å eliminere disse feilene.

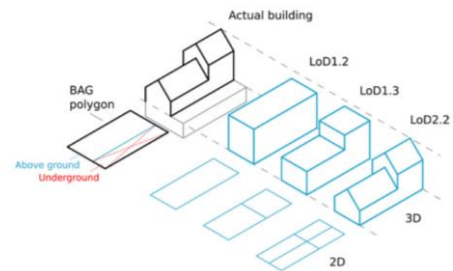
En artikkel kalt *3D CityGML BUILDING MODELS DEVELOPMENT WITH CROSS-SCALE QUERY DATABASE* publisert i 2022 beskriver forskjellen de forskjellige gradene av detaljer fra LoD0 til LoD4 [14]. Det står blant annet at LoD2, 3 og 4 ikke har noen automatisk konvertering eller transformasjonsprosess, men krever en eller annen form for manuell editering. Senere i artikkelen presenteres tabellen i

Figur 7.3: Oversikt over elementer som inngår i forskjellige LoD.

Layers Group	LoD	LoD1	LoD2	LoD3	LoD4
1	Solid				
2	Building (Group)				
3	Wall Surface				
4	Roof Surface				
5	Ground Surface				
6	Door (Group)				
7	Window (Group)				
8	Building Installation (Group)				
9	Interior Building Installation (Group)				
10	Building Furniture (Group)				
11	Closure Surface				
12	Floor Surface				
13	Ceiling Surface				
14	Room (Group)				

Figur 7.3: Oversikt over elementer som inngår i forskjellige LoD [14]

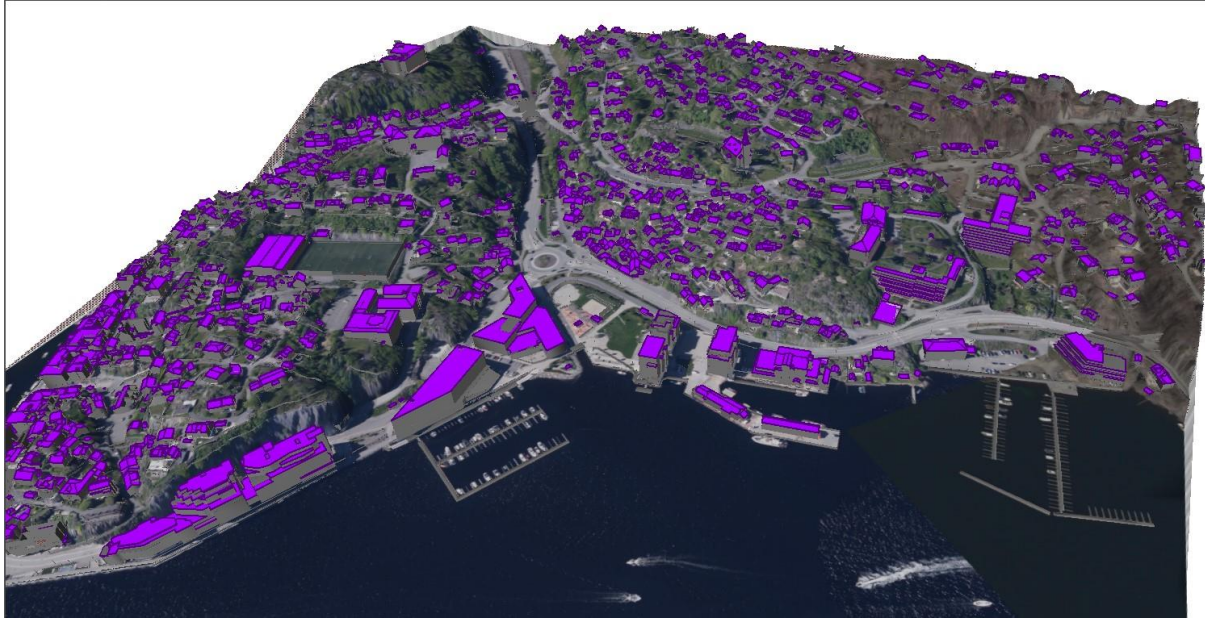
Peters et al. skriver i sin artikkel *Automated 3D Reconstruction of LoD2 and LoD1 Models for All 10 Million Buildings of the Netherlands* at et høyere nivå av detaljer ofte blir foretrukket over et lavere, da modeller med høyere LoD er mer virkelighetsnære [15]. På den andre siden er modeller med høyere LoD mer kompliserte og dyrere å få tak i, da disse er vanskeligere å konstruere med automatiserte prosesser ved hjelp av tilgjengelige data. Videre forklares det at høyere LoD ikke nødvendigvis betyr bedre resultater og at for mye detaljer kan ha en negativ effekt på ytelsen til modellen. Senere i modellen presenteres Figur 7.4: Illustrasjon av forskjellige LoD av samme bygning for å forklare forskjellen på LoD1.2, LoD1.3 og LoD2.2.



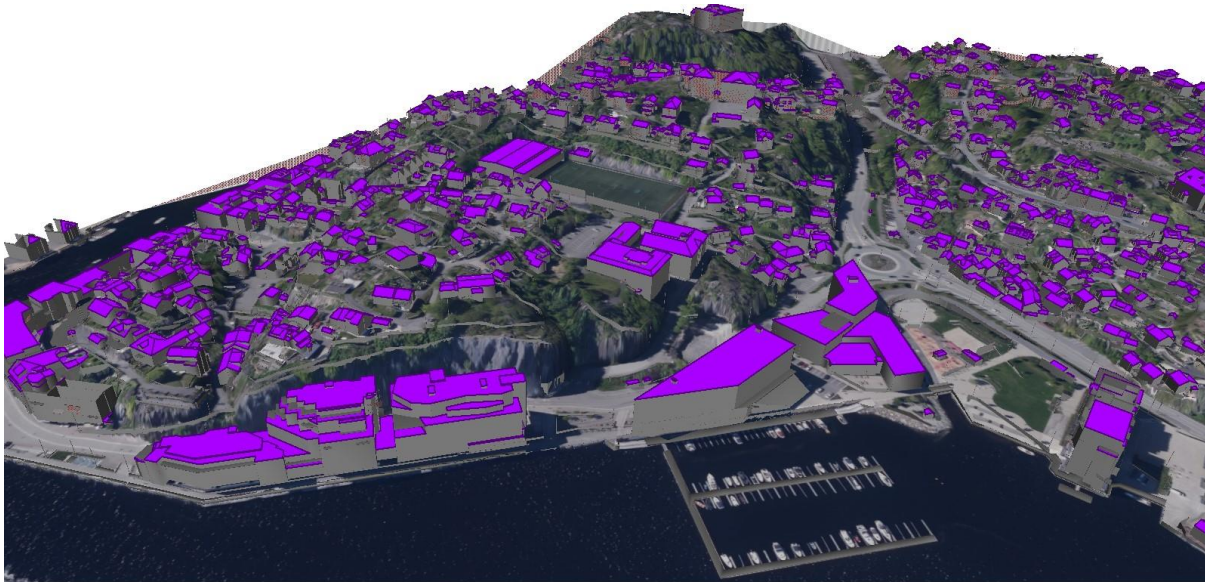
Figur 7.4: Illustrasjon av forskjellige LoD av samme bygning [15]

7.2. 3D-modell

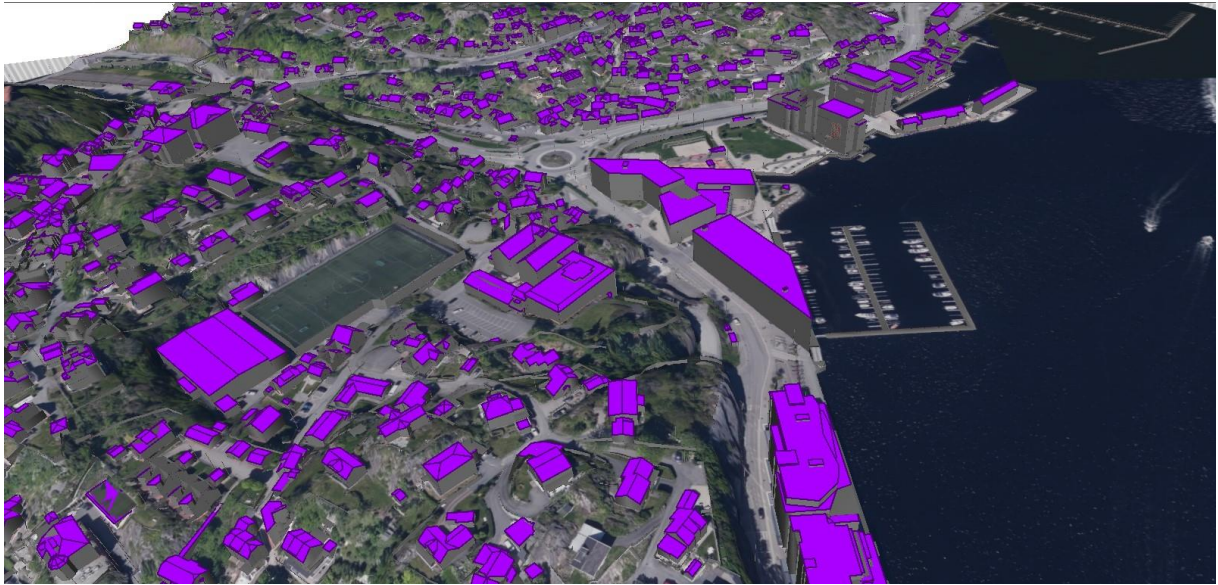
Det ble laget en 3D-modell på CityGML-format av bydelen Barbu i Arendal kommune ved hjelp av dataprogrammet FME. Modellen kan ses for forskjellige vinkler på Figur 7.5, Figur 7.6, Figur 7.7, Figur 7.8, Figur 7.9 og Figur 7.10, her vist med lilla takflater for illustrasjon.



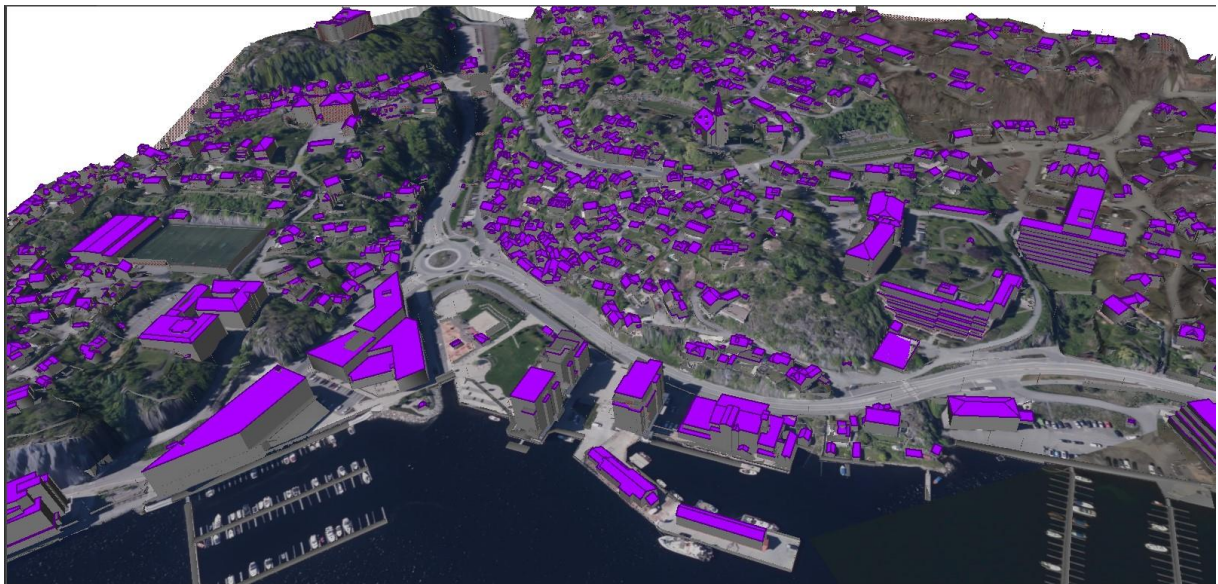
Figur 7.5: Egenprodusert digital 3D tvilling av Barbu



Figur 7.6: Egenprodusert digital 3D tvilling av Barbu



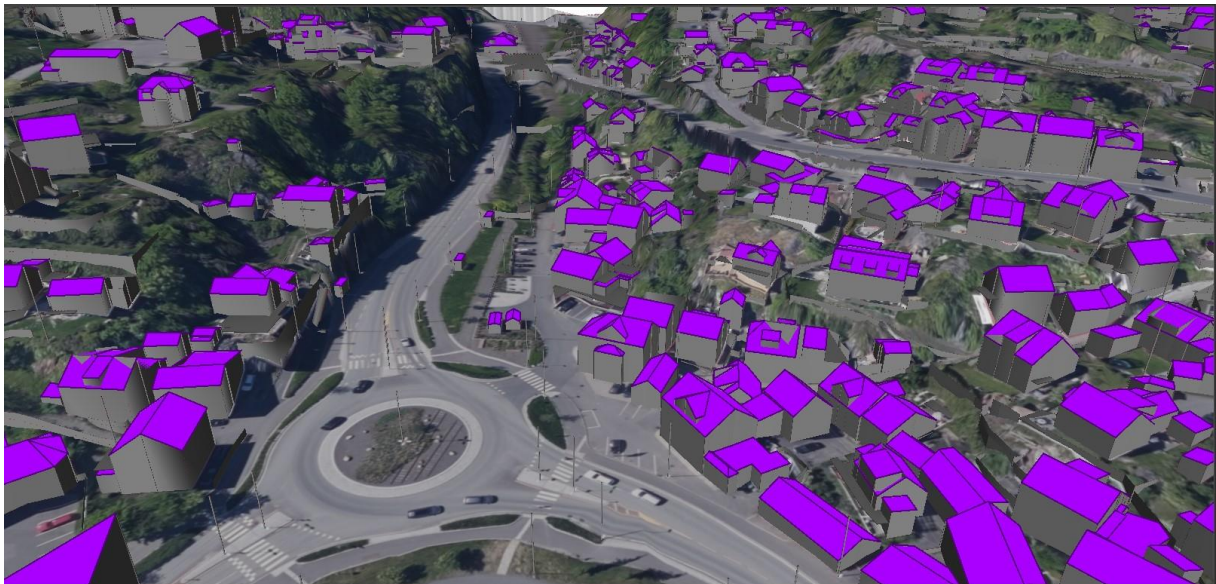
Figur 7.7:Egenprodusert digital 3D tvilling av Barbu



Figur 7.8:Egenprodusert digital 3D tvilling av Barbu



Figur 7.9:Egenprodusert digital 3D tvilling av Barbu



Figur 7.10:Egenprodusert digital 3D tvilling av Barbu

8. Diskusjon

8.1. Konvertering i FME

FME er et dataprogram som er relativt lett å bruke til konvertering av data, da det ikke krever noe koding av brukeren. Kodene ligger allerede inne i lesere, transformere og skrivere. Disse kan man legge inn og koble sammen på riktig måte. Det som kan gjøre det vanskelig å benytte FME er at en må kjenne til hva de forskjellige transformerne heter for å finne dem. Dersom en for eksempel er ute etter en transformer som kan ta et punkt og gjøre det til en sirkel, hjelper det ikke å søke på ord som «circle» eller «area». Denne funksjonen ligger nemlig i en transformer som heter «2DEllipseReplacer». Det kan derfor være vanskelig å finne funksjonene en er ute etter dersom en ikke kjenner navnene til de forskjellige transformerne. Av samme grunn kan det også være vanskelig å forstå hva de forskjellige transformerne egentlig gjør med dataene kun ved å lese navnet. Det kommer ikke alltid tydelig frem hvilke inputer som kan gå gjennom en transformer eller hva som vil komme ut som output.

Det å lage 3D-modellen ved hjelp av FME krevde mye prøving og feiling, og det tok lang tid å bli kjent med programmet og dets funksjoner. I tillegg til dette var det å sortere grunnlagsdataene en stor og krevende oppgave. Dataene var vanskelige å tolke når de ble åpnet hver for seg, men det å åpne alle samtidig førte til utfordringer i forhold til datamaskinkapasitet. Det var også vanskelig å vite hvilke grunnlagsdata som ville egne seg best til de forskjellige formålene. For eksempel var det mulig å finne informasjon om terrenget flere forskjellige steder i grunnlagsdataene. Både i SOSI-filene, som besto av høydekurver og i rasterene som var de som ble benyttet til slutt.

Grunnen til at det er valgt å benytte rasterene for å konstruere terrenngmodellen er at rasterene inneholder data som vil gi en mer nøyaktig modell. I tillegg har FME transformere som gjør det mulig å konstruere en 3D-terrenngmodell fra rasterene. SOSI-dataene inneholder heller ikke informasjon om farger slik som RGB-rasteren, som gir modellen en realisme som ellers ikke kan oppnås.

Det var også vanskelig å bestemme hvilke elementer det var ønskelig å få inn i modellen. Datagrunnlaget inneholder informasjon om mange forskjellige elementer som kunne vært lagt inn i modellen. Det ble imidlertid valgt å ikke legge inn alle disse av flere grunner. Et par eksempler på data som var tilgjengelig i SOSI-filene, men ble valgt å ikke legge inn er «vann» og «kulturminner». En av grunnene til dette var at det ville være tidkrevende å finne ut av hvordan de forskjellige dataene ville trengt å bli manipulert, da alle dataene er svært forskjellige og det man ønsker å få ut av hvert element også varierer mye. Den neste grunnen er plass og datamaskinkapasitet. Desto flere forskjellige elementer desto mer plass og kapasitet vil kreves av datamaskinen som benyttes. Den siste grunnen er at det å legge inn en rekke forskjellige elementer som ikke gir modellen noen spesielle fordeler kun gjør modellen mer uoversiktlig og gjør det vanskeligere å se den informasjonen man er ute etter.

Det oppsettet som er blitt laget i FME viser en automatisert prosess som ikke benytter noe manuell redigering. På grunn av dette vil den samme prosessen, kunne brukes helt likt på større områder. Dersom en for eksempel har liknende datasett for hele Arendal kan det sendes gjennom samme FME oppsett, altså at kun input byttes ut, og en vil oppnå en lik modell med samme LoD som modellen av

Barbu. Målet her har vært å lage et metodeverk som kan skape samme LoD modell fra tilsvarende data, uansett størrelse på området. En mulig begrensning til dette er at det kreves en kraftig datamaskin for å håndtere så store mengder data.

Det som er positivt med FME er at den har en «inspector» der en kan se hvordan dataene ser ut i alle de forskjellige stegene i prosessen, samt den ferdige modellen. Det er dermed ikke behov for andre programmer kun for å se på outputdata. Det er også mulig å redigere og endre småting i FME uten at det påvirker resten av arbeidsbordet og det er forutsigbart og mulig å lære seg. Det å legge inn eller fjerne elementer fra arbeidsbordet krever en viss teknologisk kompetanse. Det kan være tidkrevende og dermed kostbart for en bedrift lære opp alle ansatte i bruken av FME. Dersom en skal lære seg FME uten noen form for kursing eller gjennomgang med erfarne, kan det av erfaring ta lang tid å sette seg inn i alle systemer og navn. I tillegg til en grunnleggende forståelse av alle systemene, må en lære hvordan disse fungerer sammen og påvirker hverandre.

Khayyal et al. [9] trakk frem i sin artikkel at metoden de benyttet med dyp læring for å finne plassering av hver bygning trolig ikke ville fungere like godt for europeiske bygninger. Det ble ikke reflektert noe mer rundt grunnen til dette, med det kan tenkes at det kan være på grunn av skråtak. Det å begynne med å finne grunnflate for så å heve denne til en høyde, fungerer godt for bygninger med flate tak, men vil ikke fungere like godt for skråtak eller andre takformer. Det kan allikevel være interessant å se nærmere på bruk av dyplæring, men da for å finne andre elementer som inngår i modellen enn grunnflatene til bygninger.

8.2. Mangler og avvik

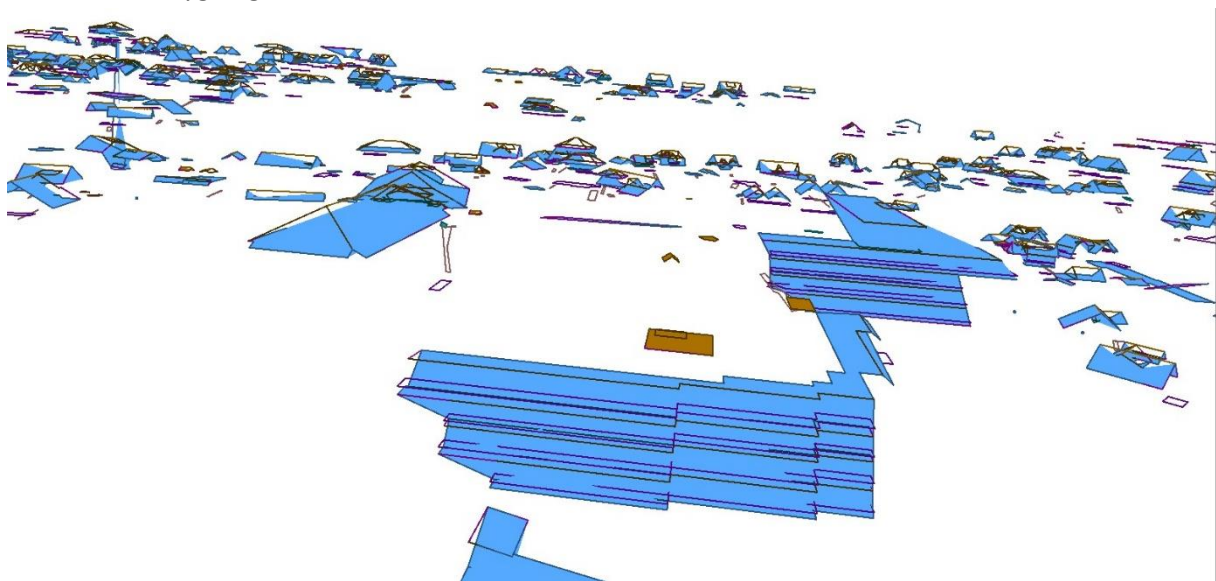
Det kan være vanskelig å lage en fullstendig modell kun fra dataene som er benyttet i denne oppgaven. Det er flere grunner til at dette kan være en vanskelig oppgave. Den første grunnen er at dataene er noe mangelfulle eller inneholder feildata. Et eksempel på feildata er SOSI-filen som heter veg. Her ligger vegene, samt midtlinje, fartsdumper, autovern mm. Men noen av vegene har feil høydekoordinater, noe som gjør det vanskelig å overlappes vegene med terrenget. Det ble forsøkt å benytte en SurfaceDraper for å gi veien riktig z-koordinater, men dette gjorde at veiene ikke holdt seg rette og havnet under terrenget flere steder. Det ble vurdert av veien kom bedre frem i modellen uten å legge dem inn som separate elementer. Dette er allikevel noe som kunne vært interessant å se nærmere på dersom en skal lage en modell som skal benyttes til arbeid knyttet til infrastruktur.

Det var også en del manglende data i de benyttede SOSI-filene. Dette er noe som kan endres manuelt i forbindelse med konvertering til 3D-modell, men dette vil være en stor og svært krevende oppgave. Det vil også trolig komme bedre datagrunnlag i løpet av de neste årene. Utviklingen i offentlige kartdata vil antageligvis være signifikant de neste årene, etter hvert som teknologier forbedres og det kommer et økende ønske om tilgjengeligheten på slike data.

Et eksempel på manglende SOSI-data var trær og vegetasjon, som i utgangspunktet var noe oppdragsgiver ønsket å ha med i modellen. Det var et par registrerte trær, men disse var kun punkter og inneholdt ikke noe informasjon om høyde eller størrelse på hvert tre. Dersom alle trærne hadde vært lagt inn og presentert kun som punkter, ville det allikevel vært mulig å gi disse en gitt omkrets og høyde, på samme måte som ble gjort med lyktestolpene. Dette kunne gitt et inntrykk av

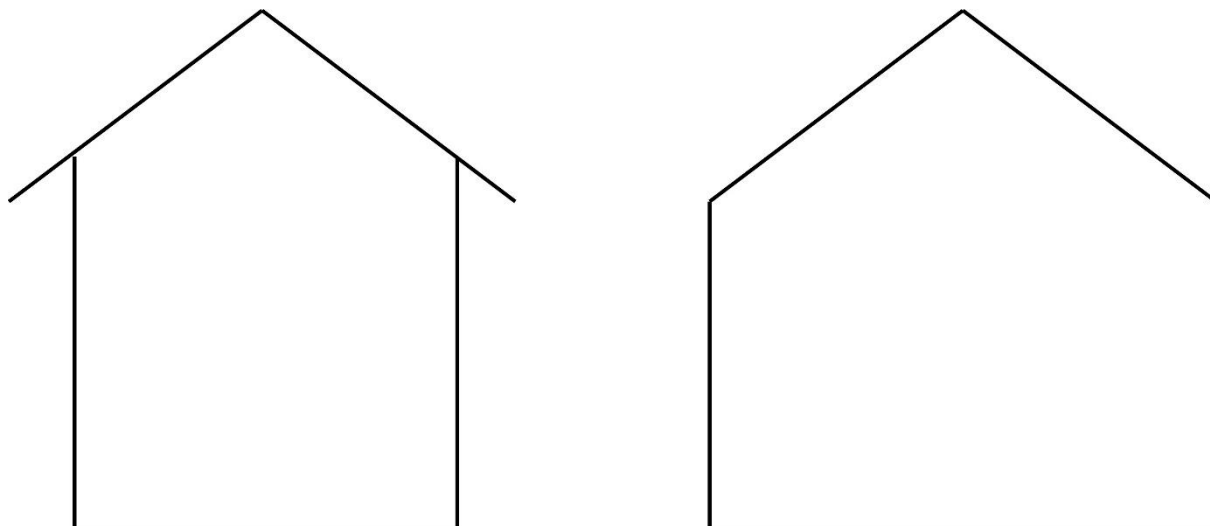
plasseringen av vegetasjon, selv om det ikke ville sett ut som ekte trær. Det kunne også blitt sett på alternativer for å benytte andre verktøy eller undersøke om informasjon om trær og vegetasjon er mulig å finne i andre offentlige kartdata. Det kunne for eksempel vært interessant å se nærmere på muligheten for implementering av lasermåling og punktskydata. Det er ikke blitt sett på hvilke data som finnes fra området allerede, men det hadde også vært mulig å foreta egne lasermålinger.

En annen ting som er vanskelig å konstruere ut fra SOSI-filene som er benyttet, er vegger. Grunnen til dette er at dataene fra hver bygning er begrenset til takdetaljer, veranda og trapp. I tillegg til dette er det en underkategori kalt «bygninger». Denne inneholder flater som representerer hver bygning, men selv om flatene viser bygningene på en god måte i 2D sett ovenfra, mangler flatene riktige z-koordinater og ser derfor ikke riktige ut i 3D. Dersom vi ser på disse dataene sammen med de andre dataene i samme fil i 3D får vi modellen som kan ses i Figur 8.1, der det som er farget blått er dataene fra «bygninger».



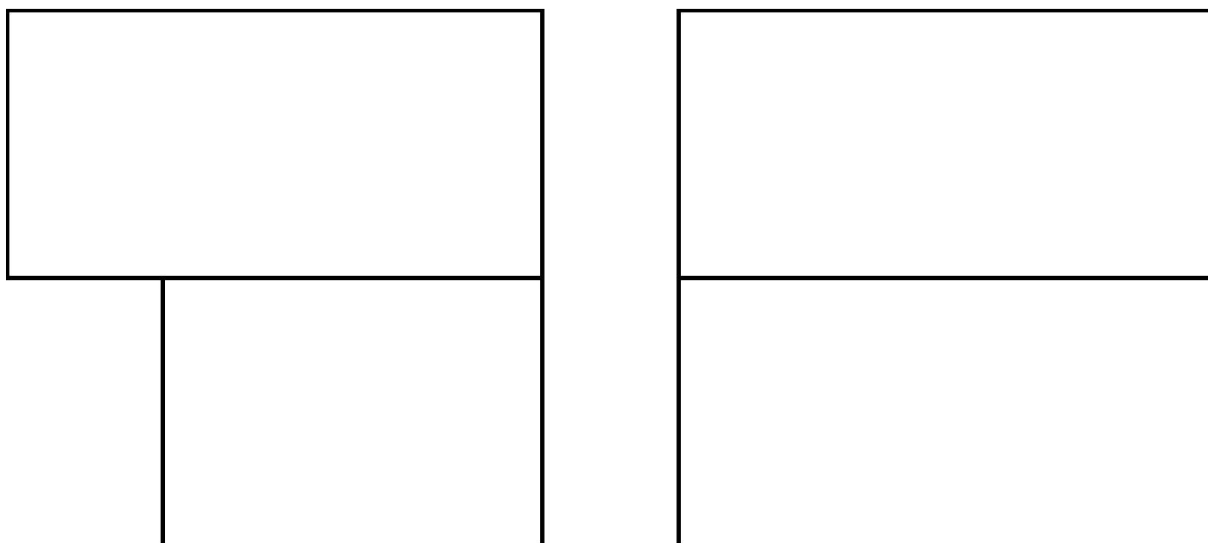
Figur 8.1: SOSI-data som viser datagrunnlaget for bygninger

Selv om det er mulig å endre og manipulere disse dataene til å gi nokså gode presentasjoner av taket på hver bygning. Er det vanskelig å plassere veggene korrekt. Figur 8.2, viser hvordan veggene ideelt skulle blitt plassert på husene (venstre) og hvordan de blir i modellen på grunn av manglende data (høyre). Dette er et problem som stort sett kun går utover bygningene med skråtak, men bygningene med flate tak stort sett ser riktige ut. Mange av byene som er blitt sett på i annen forskning er storbyer med stor andel skyskraper og bygninger med flate tak. Det kan derfor tyde på at metoden som er benyttet i denne oppgaven hadde gitt gode resultater på en typisk storby. Skråtak er svært utbredt i Norge og det er derfor svært interessant å se nærmere på hvordan prosessen for å konstruere disse i en digital 3D-modell kan forbedres og automatiseres.



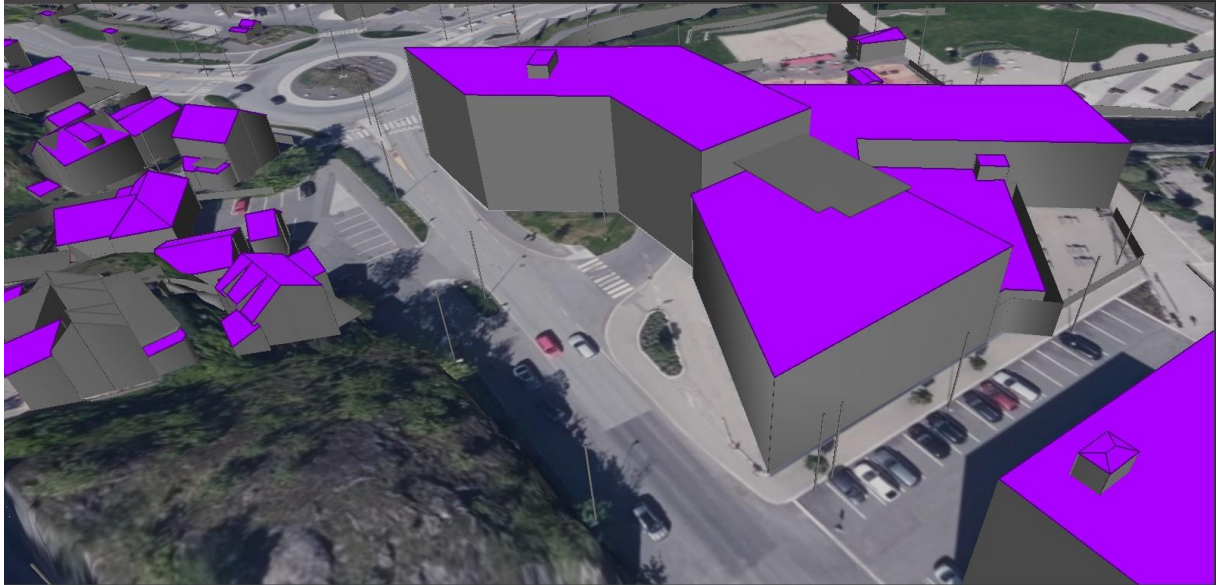
Figur 8.2: Modell som viser feil i veggplassering for bygninger med skråtak

Et annet eksempel på liknende feil som kan oppstå er i bygninger der overetasjen er større enn underetasjen. På Figur 8.3 er dette illustrert ved hjelp av to modeller av hus sett fra siden, der figuren til venstre viser hvordan bygningen burde sett ut, og figuren til høyre viser hvordan denne typen hus blir seende ut i modellen. Dette skjer igjen fordi veggene ikke har egne data, men benytter data kun fra takarealet.



Figur 8.3: Modell som viser feil i veggplassering for bygninger med mindre underetasje

På Figur 8.4 er det vist et bygg der taket og overetasjen er større enn underetasjen og hvordan det kan få konsekvenser for modellen. Bygningen i modellen strekker seg over to forskjellige veier, noe denne bygningen ikke gjør i virkeligheten. Selv om det er lett å se at bygningen er feil på modellen, er det vanskelig å se for seg hvordan denne bygningen egentlig ser ut i virkeligheten. Feil som dette kan gjøre det vanskelig å benytte seg av denne modellen ved for eksempel planlegging eller analyser i akkurat dette området. Dersom en annen del av modellen skal benyttes kan det også være vanskelig å se hvilke bygninger eller andre elementer som er feil på modellen.



Figur 8.4: Del av 3D-modell der en bygning ligger i veibanen

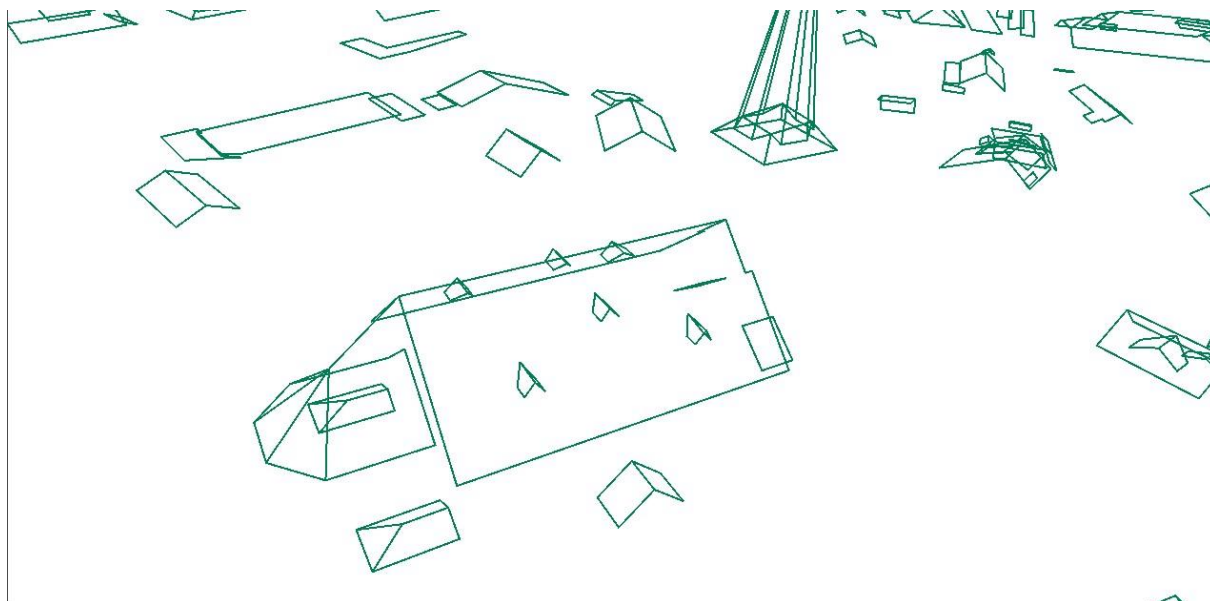
Figur 8.5: Skjermdump fra googlestreetview av bygning som ikke ble lagt riktig inn i modellen viser hvordan dette bygget ser ut i virkeligheten, her vist på googlestreetview. Her kan en se at det er stor forskjell mellom de nedreetasjene på modellen og i virkeligheten.



Figur 8.5: Skjermdump fra googlestreetview av bygning som ikke ble lagt riktig inn i modellen

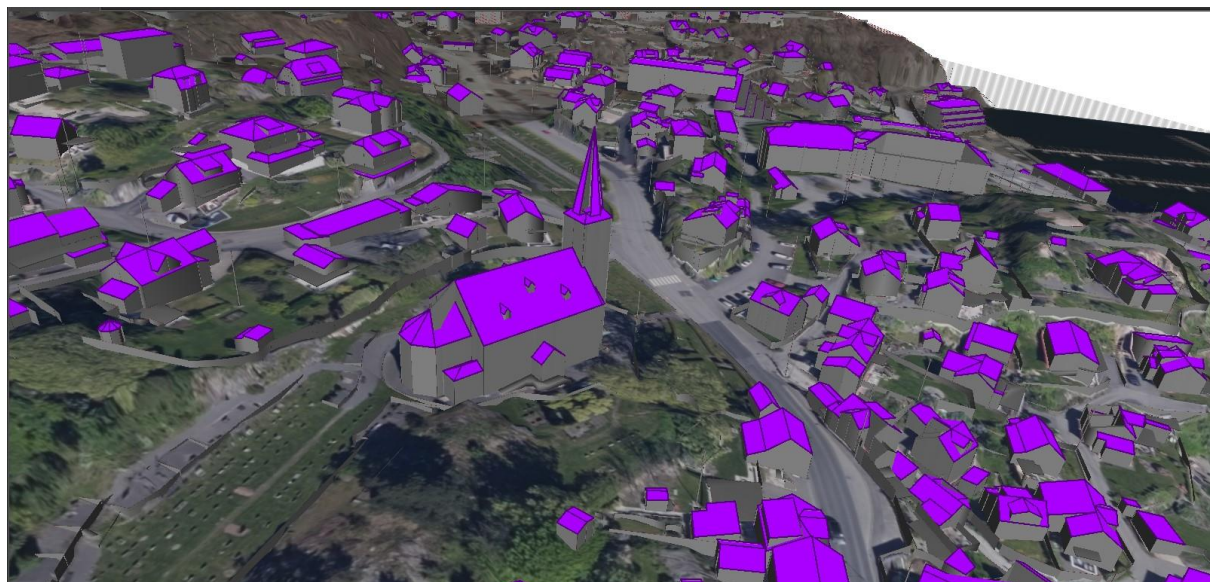
Noen steder har linjene fra SOSI-filene feil eller ukomplette. Figur 8.6: SOSI-data av taklinjer fra grunnlagsdata viser linjene som utgjør taket på Barbu kirke. Mønelinjen på venstre del av kirken stekker seg opp til resten av taket istedenfor 90 grader inn mot veggen. Dette gjør at taket på denne delen av bygningen ikke danner komplette flater. Dette vil gjøre det vanskelig for dataprogrammet å

se hvor taket skal gå, og vil føre til manglene eller merkelige takflater. Dette var et problem på flere bygninger, og er noe som kan være vanskelig å rette på da det vil kreve at man går inn og endrer hvert tak individuelt.



Figur 8.6:SOSI-data av taklinjer fra grunnlagsdata

Figur 8.7:Del av 3D-modell som viser Barbu kirke viser hvordan kirken ble seende ut på modellen. Slike små feil i datagrunnlaget er vanskelig å oppdage når en jobber med større modeller eller de som lager modellen ikke er kjent med hvordan bygningene skal se ut. Dette kan være spesielt krevende i områder det flere av bygningene har spesielle tak eller andre unike attributter.



Figur 8.7:Del av 3D-modell som viser Barbu kirke

For å kunne bruke modeller som denne må det ses på hvordan en kan fikse slike feil og mangler. Det kan være aktuelt å se nærmere på løsninger som foreslått av Kim et al. om en form for automatisk

reparasjonsalgoritme eller manuell redigering av modellen [13]. Shirinyan et al. kom med flere alternative måter å manuelt redigere modellen i programmer som QGIS eller SketchUp [10].

8.3. LoD i CityGML

Det ble diskutert av Zhu et al. hva LoD er og hvordan det skiller seg fra LOD som brukes i BIM. Det må tas i betraktning at det er snakk om detaljnivå når vi skal finne ut hvilken LoD som er mulig å oppnå. Både LoD og LOD indikerer mengden informasjon i modellen, men forskjellen ligger i fokuset og formålet. Når det er snakk om LoD er ikke målet å kunne bygge et hus nøyaktig etter modellen, slike det ofte er med BIM modeller, men heller se på det store bildet for å planlegge og analysere. Det skal ses nærmere på hvordan en digital 3D tvilling kan brukes i kapittel 8.4.

Det er mulig å lage en svært detaljert modell av en bydel kun ved hjelp av offentlig data, men ikke uten manuell redigering. Dataene som er benyttet har allikevel mer data enn det som kreves for å lage en LoD1 modell da dataene inneholder relativt nøyaktig informasjon om bygningenes takformer og høyder. Det er allikevel noen sperrer som kan gjøre det vanskeligere å lage modeller med høyere LoD. Den første sperren er muligheten for automatisering av prosesser, som nevnt av Karim et al. [14] i deres artikkel, samt av Shirinyan et al. i *Modeling Buildings in CityGML LOD1: Building Parts, Terrain Intersection Curve, and Address Features* [10]. Det kommer frem i begge disse artiklene at en høyere LoD vil kreve manuell redigering på en eller annen måte. Avhengig av hvilke data en starter med og hvilken konverteringsprosess en velger, vil de allikevel kreve en eller annen form for manuell redigering.

Dersom utgangspunktet er at en ønsker så høy LoD som mulig må det ses nærmere på hvilke sperrer som finnes og hva som kan være mulig med forskjellige datagrunnlag. Det kan først diskuteres hvilke utfordringer som vil være knyttet til å lage en LoD4 modell av en by eller en bydel. LoD4 krever detaljert informasjon inn innsiden av bygninger og er dermed urealistisk for større modeller. Dette fordi det ikke vil være mulig eller etisk å ha en offentlig modell som viser informasjon om plassering av møbler og liknende i private bolighus. Når det skal lages den modell av en by eller en bydel har man dermed ikke den nødvendige informasjonen om bygninger til å lage modeller med høyere LoD enn LoD3.

En annen sperre for å lage en mer detaljert modell er at når modellen går fra LoD2 til LoD3 kreves det informasjon om blant annet alle vinduer og dører på fasaden til hver bygning. Dette er informasjon som er offentlig tilgjengelig og en enkelt kan finne, ved hjelp av for eksempel google, men som kan være vanskelig å legge inn i en 3D-modell uten å manuelt legge det inn. Det kan derfor være aktuelt å se nærmere på alternative løsninger som for eksempel bruken av kunstig intelligens (KI) som kan mates med tusenvis av bilder og benytte disse til å lage et datasett som så kan legges inn i modellen. Dersom for eksempel alle bildene fra googlestreetview hadde blitt lagt inn i et KI verktøy, hadde det kanskje vært mulig å få ut de nødvendige dataene for å lage en 3D-modell med LoD3.

I Figur 7.1 presentert av Shirinyan et al. [10] kommer det frem hvilken LoD som er benyttet i modeller av ulike byer rundt om i verden. Det er her snakk om CityGML modeller av 18 forskjellige byer. Det kan ses i figuren at de fleste av disse er laget i LoD1 mens noen er laget i LoD2, men det er ingen med høyere detaljnivå enn dette. Det kan også leses i figuren at av de fem modellene som er fra er fra

2021, er det kun en som er LoD2 mens de resterende fire er LoD1. Det lages altså nyere modeller i lavere LoD. Det kan være flere grunner til at det er valgt å lage modellene i LoD1 istedenfor LoD2, for eksempel kan det være på grunn av manglende data eller at det er ønskelig med en modell som lettere kan deles og ikke krever så mye datakapasitet for å kunne benyttes. Det at disse modellene med lavere detaljnivå er blitt laget nylig kan også tyde på et detaljnivå på LoD1 fortsatt er svært relevant og blir sett på som en nyttig resurs. En kan også se at en modell med LoD2.2 er mer presis enn de fleste av de 18 3D-modellene. Modellene kan allikevel ha blitt redigert manuelt og kan inneholde mindre feil eller mangler som gjør modellene mer presise totalt sett.

Modellen til Peters et al. [15] gir uttrykk for at modellen laget i forbindelse med denne oppgaven har LoD2.2. Det kan ses i Figur 7.4 at det som skiller LoD1.3 fra LoD2.2 er at bygningene i modellen har takflater med korrekte høyder og vinker, noe også modellen i denne oppgaven har. Det er ikke reflektert noe rundt det at veggene også i denne figuren går rett ned fra taket. Det kan allikevel antas, ut fra formen på bygningen, at disse veggene ikke ser nøyaktig slik ut i virkeligheten, men burde vært smalere enn takbredden. Dette kan tyde på at man kan oppnå en LoD2.2 på digital 3D tvilling fra offentlige kartdata.

Dersom det ses på et mindre område, kanskje bare en bygning er det lettere å oppnå et høyere detaljnivå. Da er det også mer relevant å tenke at modellen lages som en BIM modell og ikke en GIS modell. Det ses også gjerne på LOD fremfor LoD, som beskrevet av Zhu et al. [12] i deres artikkel. En viktig grunn til dette er at dersom en lager en modell som kun viser noen få bygninger vil det ikke være noe i veien for å gå inn på modellen og legge inn data manuelt. For eksempel kan en legge inn vinduer og dører manuelt uten at det blir en altfor stor oppgave. Dette er imidlertid ikke realistisk når det kommer til en større modell, da det gjerne er snakk om plassering av tusenvis av vinduer og dører som alle er i forskjellige størrelser og høyder. Det er imidlertid mulig å se på muligheten for bruk av kunstig intelligens til dette formålet.

8.4. Bruk av digital tvilling

For å se på hvordan en slik modell kan brukes, kan vi benytte listen til Lethola et al. [11] om byens behov. Det første punktet som ble nevnt var byplanlegging og byutvikling. Dette er det punktet som gjerne blir vurdert først når det er snakk om digital tvilling. Når det kommer til byplanlegging og byutvikling er det gjerne snakk om mange forskjellige aktører som gjerne skulle hatt tilgang til en slik modell. Det hadde dermed vært en stor fordel om slike modeller hadde vært mulig for de forskjellige aktører å lage selv med data som er lette å få tak i. Eksempler kan være arkitekter, ingeniørfirmaer eller kommuner. Fordelen med at flere aktører har tilgang på en slik modell er bedre planlegging som tar hensyn til flere aspekter. Slike modeller kan ofte bidra til bedre forståelse av områder og kan dermed føre til at planleggere kan oppdage eller bli oppmerksom på elementer ved området som ikke kommer tydelig frem fra 2D tegninger eller bilder. Det kan også her være snakk om mindre aktører som ønsker å benytte digital tvilling til analyse eller kartlegging av for eksempel solforhold eller vind i forbindelse med planlegging og utvikling.

Et annet punkt som trekkes frem er punktet som omhandler helse og nødetater. En digital 3D tvilling kan brukes til å simulere og planlegge nødsituasjoner, for eksempel brann, naturkatastrofer eller terrorangrep. Ved å ha en nøyaktig og realistisk 3D-modell av et byområde kan nødetatene øve på

utrykning, evaluere evakueringsruter og identifisere potensielle utfordringer på forhånd. Dette kan bidra til å redusere responstiden og øke effektiviteten under reelle nødsituasjoner. En kan også benytte digital 3D tvilling til å planlegge og utforme infrastruktur som sykehus og brannstasjoner. Ved å visualisere og analysere 3D tvillingen kan man se på tilgjengeligheten av helsetjenester, optimere plasseringen av utstyr og planlegge responstruter for å sikre rask og effektiv respons i nødsituasjoner. Digitale 3D tvillinger kan brukes til opplæring og trening av helsepersonell og nødetater. Ved å simulere ulike scenarier og nødsituasjoner i en realistisk 3D-modell kan man gi helsepersonell og utrykningspersonell verdifull erfaring og trening uten å risikere faktiske liv og eiendommer.

Et annet viktig punkt på samme liste er det som omhandler infrastruktur. Bruken av digital tvilling i planlegging og vedlikehold av infrastruktur i en by, kan være fordelaktig for alle innbyggere. Det kan føre til mer effektivt arbeid, at man finner bedre løsninger og at problemer oppdages raskere. Her kan det være snakk om både små og store prosjekter som omhandler kartlegging, analyse eller planlegging. Lethola et al. [11] trakk frem simuleringer og analyse av trafikk, energi, vann, avfall og telekommunikasjon. 3D-modellen kan for eksempel brukes til simulering av trafikkmønstret i en by eller en bydel, noe som kan bidra til å oppdage problemområder eller se muligheter for fremtidig utbygging og vedlikehold. Ved å kombinere informasjon om infrastruktur, trafikkmengder og sanntidsdata kan man analysere trafikkbelastning, identifisere flaskehalsen og foreslå tiltak som kan bedre problemområder. Dette kan bidra til bedre trafikkstyring og planlegging eller se på alternative løsninger for kollektivtransport.

Dersom det ses på energi, kan digital 3D tvilling for eksempel brukes til å analysere energiforbruk og energieffektivitet i byområder. Ved å kombinere 3D-modellen med klimadata og energisystemdata kan man identifisere energilekkasjer, vurdere potensialet for utnyttelse av fornybar energi og optimalisere energiforbruket. Dette kan bidra til å redusere energikostnader og fremme bærekraftig energiforvaltning. Ved å kombinere terrengdata, hydrologiske data og værinformasjon i 3D-modellen kan man analysere oversvømmelsesrisiko, optimalisere overvannshåndtering og vurdere effekten av flomforebyggende tiltak. Avfallshåndtering ble også nevnt under punktet om infrastruktur og det er interessant på hvordan digital 3D tvilling kan brukes til å optimalisere avfallshåndteringen i et byområde. Modellen kan for eksempel benyttes til å identifisere gunstige plasseringer for avfallsbeholdere, optimalisere innsamlingsruter og planlegge avfallsmottak. Ved å studere og analysere topografiske data, bygningsinformasjon og signalstyrker kan man planlegge og optimalisere plasseringen av for eksempel mobilmaster og fibernett. Man kan også identifisere områder med dårlig dekning og planlegge utbygging av infrastruktur for å forbedre tilgjengeligheten av kommunikasjonstjenester.

Bruk av digital 3D tvilling har mange fordeler, men det er også viktig å være oppmerksom på noen potensielle ulemper og utfordringer knyttet til det å ta i bruk digital 3D tvilling. Det at modellen konverteres fra offentlige kartdata kan føre til unøyaktighet og dårlig kvalitet. Dette på grunn av feil og mangler i informasjonen eller unøyaktigheter i datagrunnlaget som kan påvirke nøyaktigheten og kvaliteten i den endelige modellen. Det er viktig å være bevisst på slike begrensninger og vurdere påliteligheten av dataene som brukes i konverteringsprosessen. Det er blitt sett på noen mangler og avvik i modellen konstruert i denne oppgaven, men det kan også være vanskelig å oppdage slike feil

og mangler og det kan derfor være vanskelig å vite om modellen er god nok til å brukes til forskjellige formål.

Et annet viktig element å vurdere er ressurskrav og kompleksitet. Digital 3D tvilling krever betydelige ressurser for å opprette, administrere og oppdatere modellen. Det kan være komplekst å håndtere store mengder geografisk informasjon, spesielt når det gjelder store byområder. Behovet for kraftig maskinvare og programvare kan også være en utfordring for mindre aktører med begrensede ressurser. Konvertering av kartdata til en digital 3D tvilling er også en tidkrevende og kostbar prosess. Det kan kreve betydelig innsats for å forberede og transformere dataene, spesielt dersom dataene kommer fra ulike kilder eller er i forskjellige formater. Videre kan vedlikehold og oppdatering av 3D-modellen også være en ressursintensiv oppgave.

Det er også et terskel for det å ta i bruk og utnytte modellen fullt ut etter den er ferdig konstruert. Det vil kreve opplæring og en del teknisk kompetanse av alle involverte, noe som kan være vanskelig for enkelte. Brukergrensesnittet og interaksjonsmetodene for å utforske og manipulere 3D-modellen må være intuitivt og brukervennlig for å sikre en effektiv brukeropplevelse. Kompleksiteten til 3D-modeller kan også være en utfordring for de som ikke har like lett for å lære nye tekniske hjelpemidler. Et annet viktig hensyn å ta er privatliv og sikkerhet. En digital 3D tvilling kan inneholde sensitive data om byområder og infrastruktur. Det er viktig å være bevisst på personvernspørsmål og sikkerhetstiltak knyttet til innsamling, lagring og deling av geografisk informasjon i 3D-modellen. Beskyttelse av personopplysninger og sensitiv infrastruktur er viktige hensyn som må adresseres. Det er viktig å merke seg at disse ulempene ikke nødvendigvis gjelder for alle bruksscenarier av digital 3D tvilling, og mange av dem kan håndteres med riktig planlegging, ressursallokering og tekniske løsninger.

9. Konklusjon

I denne oppgaven er det blitt sett på hvordan offentlig kartdata kan konverteres til en digital 3D tvilling på CityGML format ved hjelp av FME. Det har gjennom litteraturstudie og praktisk datakonvertering blitt sett nærmere på hvordan kartdata i form av SOSI-filer og rastere kan konverteres til CityGML format. Det er blitt sett på hvilke mangler og avvik som kan forekomme under konvertering fra kartdata til 3D-modell. Det er også sett på hvor detaljert en CityGML modell konstruert fra kartdata kan bli og hvilke fordeler og ulemper som er knyttet til bruk av digital 3D tvilling.

Arbeidet med denne oppgaven, både den teoretiske delen og det praktiske datakonverteringsarbeidet, tyder på at det er mulig å lage en god og presis modell med et detaljnivå på LoD2.2, kun ved hjelp av offentlig kartdata. Det er likevel noen feil og mangler i grunnlagsdataene som fører til en del avvik i den digitale 3D tvillingen. FME oppsettet kan gjenbrukes for andre og/eller større områder og vil lage 3D-modeller på en effektiv måte uten behov for innkjøp av ferdige modeller fra kommersielle aktører. Dette vil bidra til at bruken av 3D-modeller kan utvides til nye og mindre kapitalsterke aktører og anvendelsesområder. Det er mange feil og mangler i dagens grunnlagsdata som fører til feil og avvik i den endelige modellen, men dette vil trolig forbedres i årene fremover.

Digital 3D tvilling vil kunne bli brukt i en rekke forskjellige applikasjoner, dersom teknologien blir mer tilgjengelig. Eksempler på applikasjoner er byplanlegging og byutvikling eller planlegging og vedlikehold av infrastruktur. Bruken av digital 3D tvilling kan også ha noen ulemper, for eksempel feil og mangler i analyser, simuleringer og planleggingsarbeid som følge av en upresis modell.

10. Anbefalinger

I videre arbeid hadde det vært svært interessant å se nærmere på hvordan digital 3D tvilling kan påvirke kostnader i forskjellige applikasjoner. Det kunne også vært interessant å undersøke dette over lengre tid for å se om økonomisk endring allerede ved det første prosjektet det benyttes eller om det skjer en økonomisk endring først etter digital 3D tvilling er fullstendig integrert i prosjekter. Hvor lett integrering av digital 3D tvilling er i større og mindre prosjekter er også et svært aktuelt spørsmål til videre arbeid.

Det hadde også vært interessant er å se på muligheten for bruk av kunstig intelligens i konstruksjonen av modellen. Kunstig intelligens kunne blitt brukt på en rekke forskjellige måter i konstruksjon av modellen. For eksempel kunne det blitt brukt for å minske feil og mangler eller for å legge fasader på bygningene. Det anbefales også å se nærmere på muligheter for bruk av vr og ar i forbindelse med digital 3D tvilling.

Se på måter å legge inn forskjellig type informasjon og data som er tilpasset til forskjellige applikasjoner. Det kan for eksempel ses på muligheter for å legge inn informasjon om sol- eller vindforhold.

Til oppdragsgiver ønsker jeg å anbefale å prøve samme FME-oppsett på et større område. Jeg vil også anbefale å utforske muligheter for å finne bedre grunnlagsdata eller forsøke en slik konvertering på nytt dersom grunnlagsdata forbedres i fremtiden.

11.Referanser

- [1] FN-sambandet, «FNs bærekraftsmål,» FN-sambandet, 19 Januar 2023. [Internett]. Available: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>. [Funnet 16 Februar 2023].
- [2] NAOB, «Digitalisere,» [Internett]. Available: <https://naob.no/ordbok/digitalisere>. [Funnet 5 Mai 2023].
- [3] DigitalNorway, «Digitale tvillinger: Slik brukes det i dag,» 20 Januar 2021. [Internett]. Available: <https://digitalnorway.com/digitale-tvillinger-slik-brukes-det-i-dag/>. [Funnet 5 Mai 2023].
- [4] Esri, «What is GIS?,» [Internett]. Available: <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>. [Funnet 7 Mai 2023].
- [5] Norkart, «FME,» Norkart, [Internett]. Available: <https://www.norkart.no/fme/>. [Funnet 16 Februar 2023].
- [6] Geonorge, «Brukerveiledning,» [Internett]. Available: <https://www.geonorge.no/aktuelt/om-geonorge/brukerveiledning/>. [Funnet 10 Mai 2023].
- [7] G. M. Øien, «Fra SOSI- til GML-format,» 2019. [Internett]. Available: <https://geoforum.no/wp-content/uploads/2019/01/Fra-SOSI-til-GML-format.pdf>. [Funnet 16 Mai 2023].
- [8] Asplan Viak, [Internett]. Available: <https://www.asplanviak.no/>. [Funnet 9 Mai 2023].
- [9] H. K. Khayyal, Z. M. Zeidan og A. A. Beshr, «Creation and Spatial Analysis of 3D City Modeling based on GIS Data,» *Civil Engineering Journal*, vol. 8, nr. 1, 2022.
- [10] E. Shirinyan og D. Petrova-Antonova, «Modeling buildings in CityGML LOD1: Building parts, terrain intersection curve, and address features,» *International Journal og Geo-Information*, vol. 11, nr. 166, 2022.
- [11] V. V. Lehtola, M. Koeva, S. O. Elberink, P. Raposo, J.-P. Virtanen, F. Vahdatikhaki og S. Borsci, «Digital twin of a city: Review of technology serving city needs,» *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 114, nr. 102915, 2022.
- [12] J. Zhu og P. Wu, «BIM/GIS data integration from the perspective of information flow,» *Automation in Construction*, vol. 136, nr. 104166, 2022.
- [13] K. Kim, Y. Kim, J. Park, D. Yoon og S. Shin, «Preliminary Literature Survey on LoD of Geographic Information,» *International Conference on Information and Communication Technology Convergence*, vol. 13, 2022.
- [14] H. Karim, A. A. Rahman, N. Z. A. Halim, G. Buyuksalih og H. Rashidan, «3D CityGML BUILDING MODELS DEVELOPMENT WITH CROSS-SCALE QUERY DATABASE,» *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. %1 av %2XLVI-4, nr. 161, 2022.
- [15] R. Peters, B. Dukai, S. Vitalis, J. v. Liempt og J. Stoter, «Automated 3D Reconstruction of LoD2 and LoD1 Models for All 10 Million Buildings of the Netherlands,» *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 88, nr. 3, pp. 165-170, 2022.
- [16] M. e. a. Uggla, «Future Swedish 3D City Models—Specifications, Test Data, and Evaluation,» *International Journal of Geo-Information*, vol. 12, nr. 2, 2023.

12.Vedlegg

Vedlegg 1: A3-poser

Vedlegg 2: Komplet oppsett fra FME