

RAPPORT

Forprosjekt Volumgeometri i norsk geodataforvaltning



Illustrasjon: Trondheim kommune

RAPPORT

Forprosjekt Volumgeometri i norsk geodataforvaltning

Emne: Volumgeometrier i norske geodataforvaltning
Fra: Prosjektgruppen
Til: Geovekst-forum
Kopi til:
Dato: 2.10.2025
Forfatter/redaktør: Prosjektgruppen
Bidragsytere: Knut Jetlund, Kartverket (Prosjektleder)
Nils Ivar Nes, Kartverket
Trond Johannesen, Kartverket
Ivar Oveland, Kartverket
Sveinung Råheim, Bodø kommune
Martin Vitsø, Trondheim kommune
Marianne Lindau Langhelle, Bergen kommune og Geodata
Trym Norløv Teigene, Oslo kommune
Martin Ljosdal, Stavanger kommune
Inge Myklebust, Field
Lars Eggan, Norconsult
Lars Furu Kjelsaas, Norkart
Rune Aasgaard, Norkart
Arne Einarsrud, Norkart
Erlend Råheim, Geodata

Innhold

1	Sammendrag	1
2	Termer og definisjoner	2
2.1	Dimensjoner for geometri	2
2.2	Andre termer	3
3	Introduksjon	4
3.1	Digitale representasjoner i 3D	4
3.2	Bakgrunn for forprosjektet.....	4
3.3	Målsetning	5
3.4	Gjennomføring	5
4	Standarder og spesifikasjoner	7
4.1	Generelt	7
4.2	FKB-Bygning 5.0/5.1.....	7
4.3	OGC CityGML	8
4.4	INSPIRE Buildings.....	11
4.5	Industry Foundation Classes (IFC)	13
4.6	Spesifikasjoner for 3D-geometri i matrikkelsystemer.....	14
5	Erfaringer fra andre nasjoner	16
5.1	Generelt	16
5.2	Estland.....	17
5.3	Finland	17
5.4	Sverige	18
5.5	Danmark	18
5.6	Nederland.....	19
5.7	Sveits	19
5.8	Polen	20
5.9	Frankrike.....	20
5.10	Tyskland	20
5.11	Storbritannia	20
5.12	Tsjekkia	20
5.13	Japan	20
5.14	Singapore	21
6	Kommersielt produserte datasett i Norge.....	22
6.1	Geodata	22
6.2	Norkart	26
6.3	Norconsult	28
7	Erfaringer og behov i kommunene	29
7.1	Bodø kommune	29

7.2 Trondheim kommune	31
7.3 Bergen kommune	34
7.4 Stavanger kommune.....	38
7.5 Oslo kommune	43
8 Datainnsamling og forvaltning	46
8.1 Fotogrammetrisk datafangst for FKB-Bygning.....	46
8.2 3D-data fra byggesaksbehandling gjennom FKB-Tiltak	46
8.3 Utfordringer med FKB-Bygning som grunnlag for volumgeometri	47
8.4 Refleksjoner fra datainnsamlere	48
9 Data fra BIM og byggesøknader	50
9.1 Integrasjon mellom GIS og BIM.....	50
9.2 Digitale byggesøknader	52
9.3 Data fra byggetegninger.....	53
10 Diskusjon	55
10.1 Bruksområder, behov og utfordringer	55
10.2 Etablering av volumgeometrier	55
10.3 Offentlige eller kommersielle datasett.....	56
10.4 Datamodell for volumdatasett.....	57
10.5 Videreutvikling av FKB	57
10.6 Data fra BIM og byggesøknader	58
10.7 Andre datasett hvor volumgeometri er relevant	58
11 Anbefalinger	60
12 Figurliste	62
13 Referanser.....	63

1 Sammendrag

Denne rapporten beskriver resultater og anbefalinger fra forprosjektet for håndtering av volumgeometrier i norsk geodataforvaltning. Prosjektet har vært finansiert av Geovekstforum og Norges forskningsråd, og ble gjennomført i perioden oktober 2024-juni 2025. I prosjektet har det vært bred deltakelse fra ulike deler av Kartverket, fem kommuner og fire private leverandører av data, programvare og tjenester.

Fokuset i forprosjektet har primært vært på bygninger, men med en målsetning om at arbeidet skal danne grunnlag også for andre datasett der volumgeometri er relevant, og da i første rekke byggverk som bruer, kulverter, tunnelportaler, kaier, tårn mm.

Gjennom prosjektet er det gjennomført studier av ulike nasjonale og internasjonale standarder og spesifikasjoner for volumrepresentasjon av bygninger og andre byggverk, herunder FKB, INSPIRE, OGC CityGML og IFC. Videre er det studert hvordan andre nasjoner i og utenfor Europa har forholdt seg til volumgeometrier. Flere nasjoner har etablert slike datasett, eller er i ferd med å etablere dem. For samtlige av de studerte nasjonene etableres det offentlige datasett, og da i hovedsak med generering av volumrepresentasjoner fra punktskyer støttet av bygningsomriss. Norge står i en særstilling med våre harmoniserte og landsdekkende detaljerte FKB-data i 2,5D som et unikt utgangspunkt for å generere detaljerte volumrepresentasjoner.

De tre sentrale norske leverandørene av systemer for forvaltning og analyse av geodata har presentert og beskrevet hvordan de etablerer CityGML-produkter med volumrepresentasjon av bygninger ut fra FKB-data, og hvilke utfordringer de møter i produksjonen av slike datasett fra dagens data. De deltakende kommunene har beskrevet hvordan de bruker volumrepresentasjoner i visualisering og for analyser av sol, skygge, vindforhold, overvann mm. Kommunene har også påpekt svakheter de opplever med de genererte geometriene, i form av både synlige og logiske avvik. Kartverket og dataprodusenter har beskrevet hvordan dagens FKB-data etableres, og hvilke utfordringer de ser for generering av volumgeometri. I tillegg er det sett på muligheter for å utnytte data fra BIM og byggesak for nye og endrede bygninger, der det pr i dag kommer lite data inn til kommunene.

Sammenstilt viser erfaringene fra prosjektet at det er mest realistisk å fortsatt etablere volumrepresentasjoner som avledede produkt fra 2,5D vektordata, supplert med andre kilder. Dagens FKB-bygg fungerer i store trekk godt som grunnlag, men det er påvist en del svakheter knyttet til takdetaljer og flater som ikke registreres i dag, samt at det kan være behov for strengere kvalitetskrav.

På basis av erfaringene konkluderer rapporten med seks anbefalinger for videre arbeid:

1. Volumgeometrier bør fortsatt etableres som avledet representasjon fra vektordata og andre kilder.
2. Et testprosjekt bør gjennomføres for å se på effekter og kostnader av innsamling av mer detaljerte data og strengere kvalitetskontroller.
3. FKB bør videreutvikles med større fokus på krav for bruk av dataene til å etablere volumgeometri.
4. CityGML bør være basis for datasett med volumgeometri, og spesifikasjonen bør brukes på en entydig måte i Norge.
5. Det bør utredes muligheter for et offentlig datasett med volumgeometri. Til tross for at dagens løsning med kommersielle datasett fungerer godt, er det klare fordeler med et offentlig datasett som er fritt tilgjengelig for de som har tilgang til FKB-data.
6. Det bør arbeides med overgang til objektbasert forvaltning av geodata, for å kunne identifisere ulike representasjoner av samme fysiske objekt (bygning), og for å utelate manuelt forbedrede objekter fra maskingenerering.

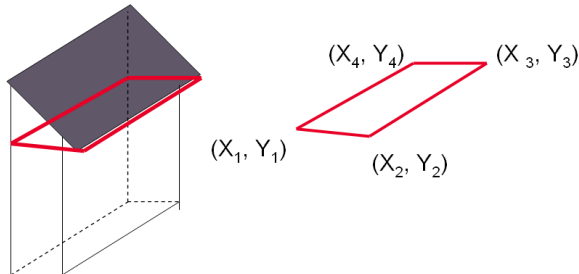
Innenfor rammene av forprosjektet har det vært fokus på faglige og tekniske vurderinger. Analyser av kostnader og nytteverdier anbefales gjennomført i et oppfølgende arbeid.

2 Termer og definisjoner

2.1 Dimensjoner for geometri

2D

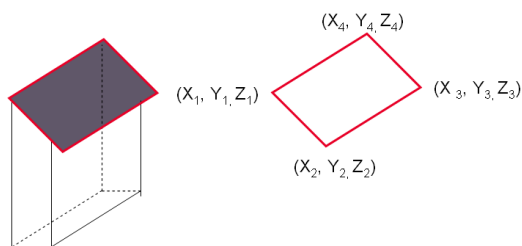
Geometrien til objekter er representert i et todimensjonalt rom [INSPIRE [1]].



Figur 1. Eksempel på 2D-geometri. Fra [1].

2.5D

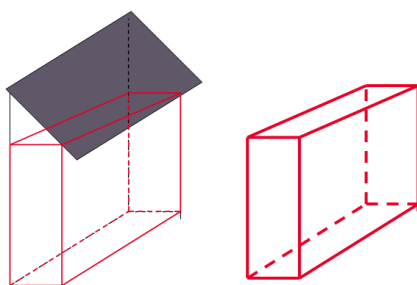
Geometrien til objekter er representert i et tredimensjonalt rom, men begrenset til at det kun finnes en høydeverdi (z) for hver posisjon i grunnriss (X, Y) [INSPIRE [1]].



Figur 2. Eksempel på 2.5D-geometri. Fra [1].

3D

Geometrien til objekter er representert i et tredimensjonalt rom [INSPIRE [1]].



Figur 3. Eksempel på 3D-geometri. Fra [1].

Volumgeometri (Solid geometry)

Basis datatype for 3-dimensjonal geometrirepresentasjon, der utstrekningen er definert av et sett med avgrensende flater [ISO 19107 [2]].

2.2 Andre termer

ADE

Application Domain Extension. En standard metodikk for utvidelse av CityGML [3].

AIM

Asset Information Model til bruk i operasjonell fase av et byggverk [4].

BIM

Bygningsinformasjonsmodellering. BIM er en prosess, mens modellene i BIM er definert som AIM eller PIM [4]

CityGML

City Geography Markup Language – en spesifikasjon for digitale representasjoner av det bygde miljøet [3].

FKB

Felles kartdatabase – en samling datasett som utgjør en sentral del av grunnkartet [5].

GML

Geography Markup Language – en standard for utveksling av geografisk informasjon på XML-format [6].

IFC

Information Foundation Classes – en standard for digitale representasjoner innen BIM [7].

INSPIRE

Infrastructure for Spatial Information in Europe [8].

LOD

Level of detail [3].

NVDB

Nasjonal vegdatabank.

OGC

Open Geospatial Consortium¹

PIM

Project Information Model til bruk i utviklingen av et byggverk [4]

PSD

Property Set Definition – egenskapssett i IFC [7].

RDF

Resource Description Framework².

SOSI

Samordnet opplegg for stedfestet informasjon³.

¹ <https://www.ogc.org/>

² <https://www.w3.org/RDF/>

³ <https://www.geonorge.no/Geodataarbeid/standardisering/standarder-under-sosi-paraplyen/>

3 Introduksjon

3.1 Digitale representasjoner i 3D

Datasett med geografisk informasjon har historisk sett blitt samlet med geometrirepresentasjoner i 2D eller 2.5D, for bruk i 2-dimensjonelle kart og visualiseringer. Dette gjelder for eksempel FKB-datasett som FKB-Bygning [9], der omriss og taklinjer har vært kartlagt for en best mulig 2-dimensjonal gjengivelse av bygningene.

Over tid har verktøy og teknologi for visualisering, analyser og navigering i tredimensjonale modeller blitt stadig bedre, og da spesielt i løpet av de siste årene, der teknologi fra spillindustrien har kommet sterkere inn på nye områder. Dette har medført et økt fokus og en stigende bruk av teknologien – for eksempel innen kommunal saksbehandling, der det er behov for et mer realistisk og forståelig beslutningsgrunnlag for politikere, saksbehandlere og innbyggere. Kommunene har derfor tatt i bruk 3D-teknologi i planprosesser og byggesaksbehandling. Oslo kommune skriver for eksempel i sin 3D-strategi om mulige gevinster for bedre beslutningsgrunnlag og planer som er lettere å forstå, samt økt effektivitet og redusert saksbehandlingstid [10].

Bedre verktøy for visualisering og økt bruk har igjen medført et ønske og behov for en best mulig 3D-representasjon av de fysiske objektene. FKB-Bygning og andre FKB-datasett har opp gjennom årene blitt tilpasset slik at avgrensingslinjer og knekklinjer skal kunne brukes for å generere 3D-geometrier (volumgeometrier) på en god måte, men datainnsamling og forvaltning fokuserer fortsatt på geometrier i 2.5D. For å imøtekomme behovene for 3D-bruk har det derfor vært diskutert om det i tillegg skulle innføres en forvaltning av volumgeometrier.

3.2 Bakgrunn for forprosjektet

Geovekst-forum vedtok revisjon av FKB-spesifikasjonene i mars 2020, og håndtering av 3D-geometri var da satt opp som et av de sentrale temaene. Som første punkt i revisjonsarbeidet ble det gjennomført en brukerundersøkelse blant de viktigste brukerne av FKB-data (Geovekst-partene sentralt og i fylkene, samt storkommunene) der det bl.a. ble spurt om innføring av 3D i FKB. Svarene fra brukerundersøkelsen avdekket en klar forventning blant brukerne om at FKB må over til 3D-geometri for å dekke brukerbehovene [11].

Det var derfor mye aktivitet knyttet til håndtering av 3D-geometri i revisjonsprosjektet for FKB 5.0 i løpet av 2020/2021. Å innføre 3D-geometri i FKB ville imidlertid medføre store endringer i alle ledd av dataflyten for FKB-data, og det var stor usikkerhet om ambisjonsnivå og teknologi. Videre ville dette sannsynligvis danne en mal for hvordan 3D-geometri skal håndteres i hele den nasjonale geografiske infrastrukturen. Det ble derfor ansett som essensielt at man gjør dette på en god og gjennomtenkt måte.

Revisjonsprosjektet anbefalte at man burde se grundigere på brukerbehovet og de alternative løsningene for å dekke behovet før man tok en beslutning på innføring av volumobjekter med 3D-geometri. På bakgrunn av dette besluttet Geovekst-forum i juni 2021 å fortsatt holde seg på 2.5D ved innføring av FKB 5.0, men samtidig følge opp videre aktivitet med tanke på å innføre 3D-geometri og volumobjekter på lengre sikt.

Videre ble en egen arbeidsgruppe for 3D etablert av Geovekst-forum. Denne gruppa hadde jevnlig møter i løpet av 2022 og 2023 og skisserte et sett med krav som et framtidig FKB 3D må innfri. Det var enighet i gruppa om at man trenger mer konkret erfaring med innsamling, forvaltning, distribusjon og bruk av 3D-data for å få tilstrekkelig kunnskap for å innføre 3D i FKB. Med bakgrunn i dette ble det foreslått at Geovekst skulle ta initiativ til å få gjennomført et testprosjekt.

Utover behovene som er identifisert gjennom FKB omtaler også Nasjonal geodatastrategi for 2018-2025 [12] bruksområder for tredimensjonale data, der det også vises til mangel på fellesløsninger for forvaltning av data fra BIM. BIM benyttes i økende grad for nye og

endrede bygninger og infrastruktur. Den digitale representasjonen av disse objektene etableres da først i BIM, og dataene bør kunne utnyttes for etablering av geometri og andre egenskaper i geodatabaser.

Det er uttalt i strategien at det skal utvikles og tas i bruk teknologi som håndterer slike data i infrastrukturen, fra datainnsamling til bruk. Til strategien følger også en handlingsplan med spesifiserte tiltak, der tiltak 22⁴ skal tilrettelegge for 3D geodata. Tiltaket har fire aktiviteter som alle bygger oppunder dette forprosjektet:

- Utrede krav til 3D i den nasjonale infrastrukturen.
- Binde sammen miljøer som er aktive på 3D.
- Kartlegge erfaringer og god praksis fra andre land.
- Trekke BIM inn i den geografiske infrastrukturen.

Med bakgrunn i arbeidet i revisjonsprosjektet for FKB, Geovekst 3D-arbeidsgruppe og Nasjonal geodatastrategi ble det skissert et forprosjekt som ble godkjent av Geovekst-forum i mai 2024.

3.3 Målsetning

Den sentrale målsetningen med forprosjektet har vært å avklare hvordan 3D-geometri skal samles, forvaltes og brukes i norske offentlige geodatabaser, med et innledende fokus på FKB-Bygning og Matrikkelen. Tidlige avklaringer viste imidlertid at tidspunktet for gjennomføring var for tidlig med tanke på videreutvikling av Matrikkelen. I samråd med Eiendomsdivisjonen i Kartverket ble fokuset derfor innsnevret til FKB-Bygning.

Videre skal forprosjektet legge grunnlag for at geometri og andre egenskaper ved bygde objekter skal kunne kobles og gjenbrukes mellom BIM og offentlige geodatabaser, der det samme objektet kan ha ulik detaljering og kompleksitet i ulike systemer.

3.4 Gjennomføring

3.4.1 Tidslinje

Forprosjektet har vært gjennomført i perioden oktober 2024 – juni 2025.

3.4.2 Finansiering

Prosjektet har mottatt finansiering på 350.000 kr fra Geovekst-forum og 150.000 kr fra Norges forskningsråd.

3.4.3 Begrensning

Innenfor rammene av prosjektet har det vært fokusert på tekniske og faglige vurderinger. Det har ikke være rom for økonomiske betraktninger som analyser av kostnader og nytteverdier, som heller må komme i videre oppfølgende arbeid.

3.4.4 Prosjektgruppe

Prosjektet har hatt deltakelse fra ulike fagområder i Kartverket, samt fra kommuner, dataprodusenter og leverandører av applikasjoner og tjenester. Tabell 1 viser hele prosjektgruppen.

⁴ <https://www.geonorge.no/Geodataarbeid/nasjonal-geodatastrategi/handlingsplanens-tiltak/tiltak-22/>

Tabell 1. Deltakere i prosjektet

REPRESENTERER	AKTØR	NAVN
KARTVERKET - FOU	FoU	Knut Jetlund (Prosjektleder)
KARTVERKET - LAND	Land	Nils Ivar Nes
KARTVERKET - LAND	Land	Trond Johannesen
KARTVERKET - LAND	Land	Ivar Oveland
KARTVERKET - EIENDOM	Eiendom	Ina Renate Turi ⁵
KARTVERKET - IT	IT-Standardisering	Åsmund Tjora
KARTVERKET - IT	IT-Dataplattform	Thomas Ellet von Brasch
KARTVERKET - IT	IT-Dataplattform	Kay Frode Kristiansen
KARTVERKET - IT	IT-Utvikling	Anne Berit Namork ⁶
KOMMUNE	Bodø kommune	Sveinung Råheim
KOMMUNE	Trondheim kommune	Martin Vitsø
KOMMUNE	Bergen kommune	Marianne Lindau Langhelle ⁷
KOMMUNE	Bergen kommune	Hans Ove Kannenberg ⁸
KOMMUNE	Oslo kommune	Trym Norløv Teigene
KOMMUNE	Stavanger kommune	Martin Ljosdal
DATAINNSAMLER	Hexacon	André Torsnes ⁹
DATAINNSAMLER	Field	Inge Myklebust
LEVERANDØR	Norconsult	Lars Eggan
LEVERANDØR	Norkart	Lars Furu Kjelsaas
LEVERANDØR	Norkart	Rune Aasgaard
LEVERANDØR	Norkart	Arne Einarsrud
LEVERANDØR	Geodata	Erlend Råheim

⁵ Ikke aktiv deltakelse, men er holdt oppdatert gjennom månedlige statusmøter.

⁶ Ikke aktiv deltakelse.

⁷ Fram til 1. april 2025. Geodata etter det.

⁸ Etter 1.april 2025.

⁹ Kun innledningsvis.

4 Standarder og spesifikasjoner

4.1 Generelt

Dette kapitlet beskriver relevante standarder og spesifikasjoner for 3D-representasjon av bygninger og andre byggverk. Tabell 3 viser en oversikt, mens de påfølgende delkapitlene går mer detaljert inn på de enkelte alternativene.

Tabell 2. Relevante standarder og spesifikasjoner.

NAVN	UTBREDELSE	FORMALISERING
FKB-BYGNING	Norge	Nasjonal produktspesifikasjon
INSPIRE BUILDINGS	EU og EØS	INSPIRE-direktivet
CITYGML	Internasjonalt	OGC-spesifikasjon
IFC	Internasjonalt	ISO-standard

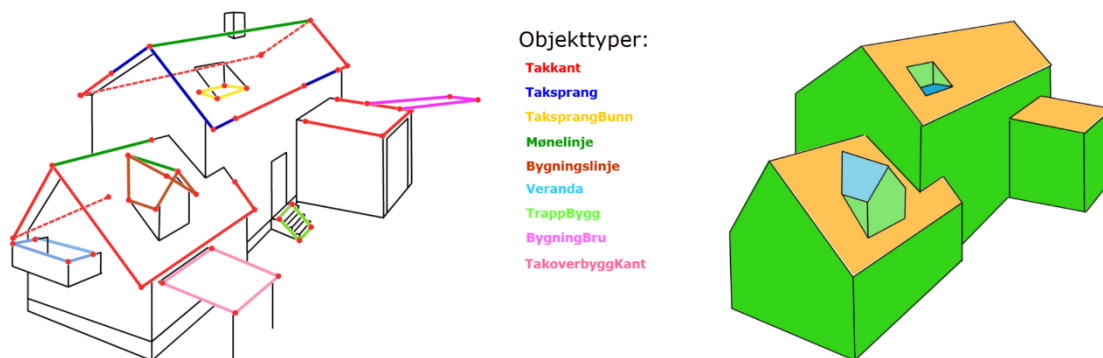
4.2 FKB-Bygning 5.0/5.1

Den SOSI-standardiserte produktspesifikasjonen for FKB-Bygning [9] beskriver et datasett i 2.5D. Datamodellen er en videreutvikling av de første FKB-produktspesifikasjonene som ble utarbeidet allerede på 1990-tallet og er designet med tanke på fotogrammetrisk datafangst, der detaljer i takoverflaten klassifiseres og registreres med bakgrunn i flybilder og lagres som kartobjekter i FKB-Bygning.

Definisjonen av hva som er et bygningsobjekt i FKB-Bygning følger regler fra Matrikkelen. Det innebærer at en del fysisk sammenhengende bygninger som bygårder og rekkehus deles opp i flere bygninger ved hjelp av bygningsdelelinjer. Bygningspunktet fra Matrikkelen med bygningsnummer, bygningsstatus og bygningstype inngår som en del av FKB-Bygning, og koblingen mot bygningsomriss i FKB gjøres med bakgrunn i geometri.

I forbindelse med innføring av FKB-Bygning 4.0 rundt 2007 ble datamodellen justert med tanke på at den skulle kunne brukes til å generere 3D-modeller av de registrerte bygningene. Reglene for registrering av de enkelte objekttypene er utformet slik at man ved å projisere disse linjene ned på en terrengmodell får et volumobjekt. Der dataene i FKB-Bygning er registrert etter regelverket vil programvare i de aller fleste tilfeller automatisk kunne generere fornuftige 3D-modeller fra FKB-Bygning-dataene.

Figur 4 viser eksempler på registrerte linjer i FKB-Bygning og hvordan disse brukes som grunnlag for en 3D-modell. 3D-modellene som kan genereres fra FKB-Bygning tilsvarer LOD2.2 (se Figur 8), ettersom FKB i de fleste tilfellene har registrert takkant, og ikke vegglin.



Figur 4. Eksempel på registrering av objekttyper i FKB-Bygning i 2.5D og generert 3D-objekt. Fra [9].

4.3 OGC CityGML

CityGML er en åpen og standardisert spesifisering fra OGC, og definerer en konseptuell modell for representasjon, lagring og utveksling av virtuelle modeller av det bygde miljøet [3, 13]. Første versjon av spesifiseringen (versjon 1.0) ble publisert allerede i 2009, mens versjon 2.0 kom i 2011. Gjeldende versjon er 3.0, som ble publisert i 2021.

Den konseptuelle modellen er modellert i UML i henhold til prinsipper fra ISO/TC 211-standards og definerer en struktur som kan realiseres i ulike formater, basert på modelldreven arkitektur. De mest fremtredende formatene er:

- GML (definert i standarden¹⁰)
- JSON (CityJSON¹¹)
- RDF (CityRDF¹²)
- Relasjonsdatabase (3DCityDB¹³) for direkte bruk i GIS-applikasjoner

CityGML er svært utbredt over store deler av verden og er den dominerende spesifiseringen for denne typen datasett, noe som blant annet framkommer av erfaringene fra andre nasjoner (se kapittel 5) og fra en liste med kjente bymodeller¹⁴. Et resultat av den vide utbredelsen er at det er utviklet funksjonalitet for lesing, skriving, forvaltning og bruk i en rekke verktøy, for eksempel FME, QGIS og PostGIS. Dette bidrar til å forenkle tilgang og bruk av datasett basert på CityGML.

CityGML omfatter muligheter for både den geometriske og semantiske representasjonen av objekter fra den virkelige verden, og er dermed tilrettelagt for å kunne brukes til langt mer enn ren visualisering av det bygde miljøet. I versjon 3.0 er det også tatt inn konsepter fra INSPIRE for høyder og for versjonering av objektene [14].

Spesifiseringen er basert på en struktur med moduler, der bygninger er ett av flere tema. Som det framgår av Figur 5 inkluderer spesifiseringen en rekke tema – i første rekke fra det bygde miljøet (bruer, tunneler, byobjekter), men også arealbruk og vegetasjon, og mer abstrakte objekter som trafikkrom.

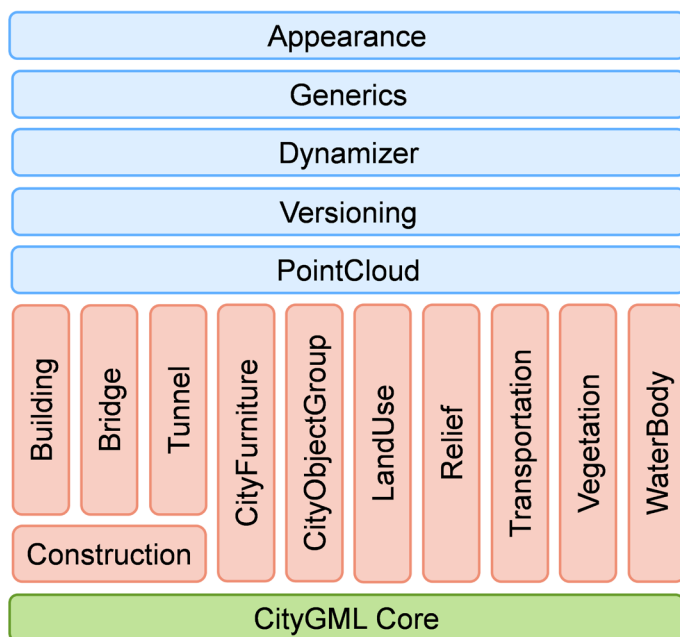
¹⁰ <https://www.ogc.org/publications/standard/citygml/>

¹¹ <https://www.cityjson.org/>

¹² <https://github.com/ogcincubator/cityrdf/tree/master/citygml-owl>

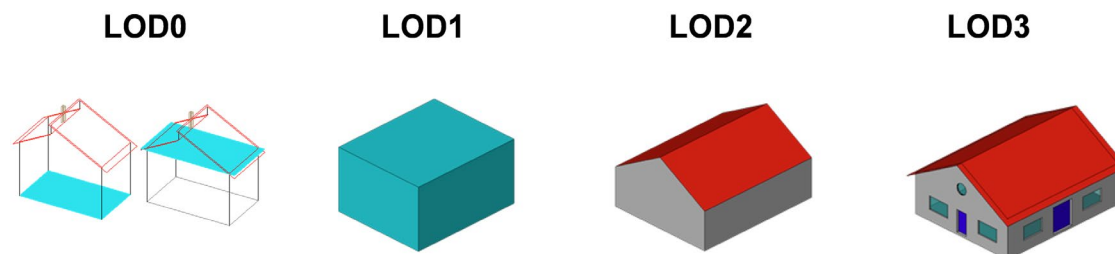
¹³ <https://github.com/3dcitydb>

¹⁴ <https://github.com/OloOcki/awesome-citygml>



Figur 5. Moduler i CityGML. Fra [3].

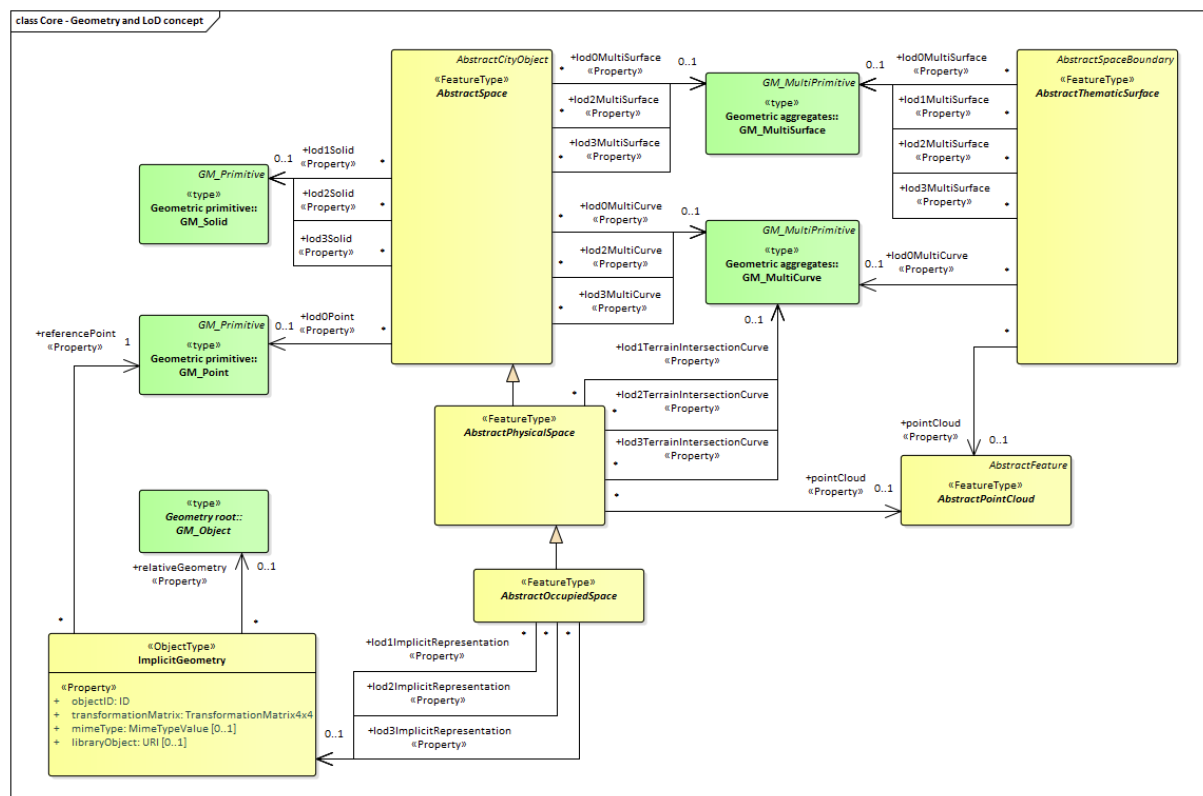
Konseptet Level of Detail (LOD) defineres i CityGML og er spesielt relevant for denne rapporten. LOD er et svært innarbeidet begrep innen volumrepresentasjoner, og brukes for eksempel også i INSPIRE (se kapittel 4.4). I tidligere versjoner av CityGML opererte man med fem nivåer (LOD0-LOD4), mens i versjon 3.0 er LOD4 utelatt, da det er en detaljering med innendørs og utendørs elementer som kan gjøres på alle de fire andre nivåene. Figur 6 viser de fire nivåene.



Figur 6. LOD-nivåer i CityGML 3.0. Fra [3].

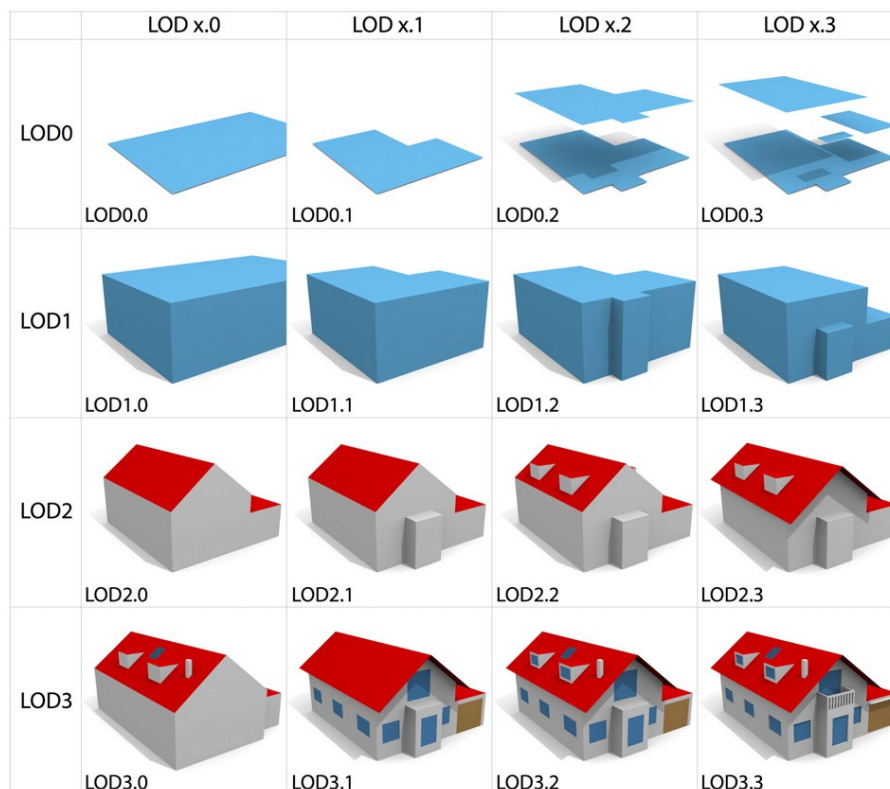
- LOD0 er den enkleste representasjonen, med punkt, kurver eller flater (fotavtrykk eller takavtrykk)
- LOD1 er en enkel volumrepresentasjon
- LOD2 er en mer detaljert volumrepresentasjon som i tillegg kan ha egne flaterepresentasjoner av tak og andre bygningsoverflater.
- LOD3 er en ytterligere detaljering av LOD2.

Selv om LOD-konseptet er illustrert med bygningsobjekter er det et generelt konsept i CityGML som også brukes for andre objekttyper. Forholdet mellom objekter og deres geometrirepresentasjoner er spesifisert definert på øverste nivå i CityGML-modellen som vist i Figur 7. «Spaces» er definert som entiteter med en volumutstrekning i virkeligheten, og der for eksempel «Building» er en type «Occupied Space». Ett enkelt objekt kan ha geometri på flere LOD-nivåer. Objektene kan representeres som enkeltpunkter i LOD0, multiflater i LOD0/2/3, volumer i LOD1/2/3 og multikurver i LOD2/3. Avgrensninger og overflater kan representeres som multiflater i LOD0/2/3 og som multikurver i LOD2/3.



Figur 7. Forholdet mellom objekttyper og geometri. Fra [3].

Utover de fire grunnleggende LOD-nivåene er det også foreslått detaljeringsgrader, i første rekke av Biljecki et al [15]. Her skilles det for eksempel på i hvilken grad takdetaljer er tatt med, og om det er tatt hensyn til veggliv og overheng av tak. Figur 8 viser prinsipper for detaljeringen.



Figur 8. Detaljering av LOD. Fra [15].

Et annet viktig konsept i CityGML er Application Domain Extension (ADE), som er en formell og systematisk metodikk for å utvide modellen tilpasset en spesiell anvendelse (application). ADE-er skal modelleres som utvidelser av den konseptuelle UML-modellen og kan omfatte både nye objekttyper, egenskaper og kodeverdier. Eksempler på bruk av ADE er omtalt i Biljecki et al. [16]. Et relevant bruksområde i Norge kan være utvidelser for å legge på egenskaper fra Matrikkelen.

Mer informasjon:

- CityGML 3.0 Conceptual Model [3]
- CityGML 3.0 Conceptual Model Users Guide [13]
- Kutzner et al. – CityGML 3.0: New Functions Open Up New Applications [14]
- Kutzner et al. – CityGML 3.0 and its usability at national scale [17]
- Biljecki et al. – CityGML Application Domain Extension (ADE): overview of developments [16]

4.4 INSPIRE Buildings

INSPIRE-direktivet [8] ble vedtatt i 2007, og er implementert i norsk lov gjennom Geodataloven fra 2010 [18]. Direktivet og loven stiller krav til tilgang til en rekke datasett i tre grupper definert i direktivets Annex I-III. For hvert datasett er det spesifisert innhold og struktur i form av UML-modeller og produktspesifikasjoner basert på ISO 19131, på samme måte som i norske SOSI-produktspesifikasjoner. Bygninger inngår i direktivets Annex III, med en spesifisering som sist ble oppdatert i 2024 [1]. INSPIRE anser bygninger som et av referansedatasettene som er nødvendige i en geografisk infrastruktur for å beskrive landskapet og for bruk i en rekke applikasjoner.

Bygningsmodellen i INSPIRE er basert på INSPIRE sin egen generiske konseptuelle modell, men er sterkt inspirert av CityGML 2.0 for både 2D- og 3D-representasjon. En rekke egenskaper fra CityGML er også tatt med i INSPIRE-modellen. Det er dog ikke fullt samsvar – noe har blitt tilpasset og noe har blitt forenklet. Forholdet mellom spesifikasjonene er omtalt i Annex D av INSPIRE Buildings-spesifikasjonen [1]. En egen koblingstabell er også definert for konvertering av egenskaper mellom CityGML 2.0 og INSPIRE.

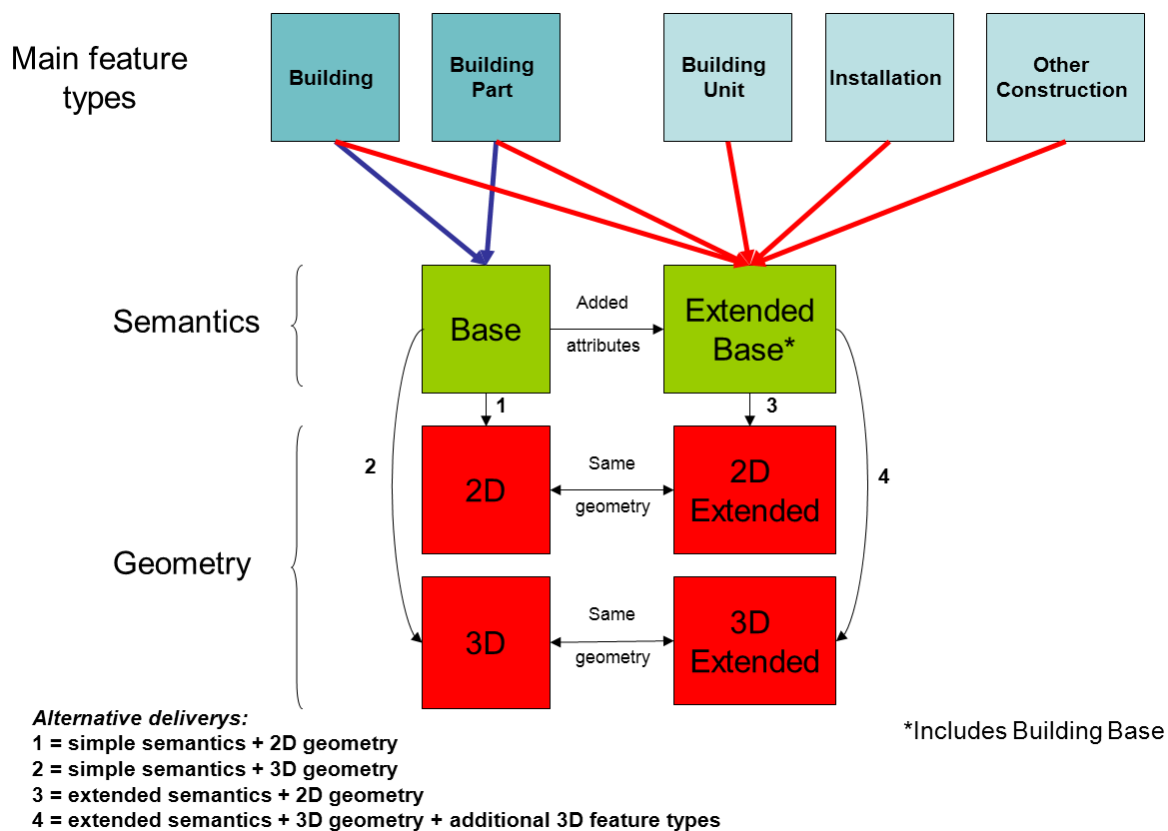
Eksempler som nevnes for tilpasninger:

- Egenskaper for klassifisering har blitt tilpasset for INSPIRE.
- Fellesegenskaper for alle INSPIRE-tema er tatt inn.

Eksempler som nevnes for forenkling:

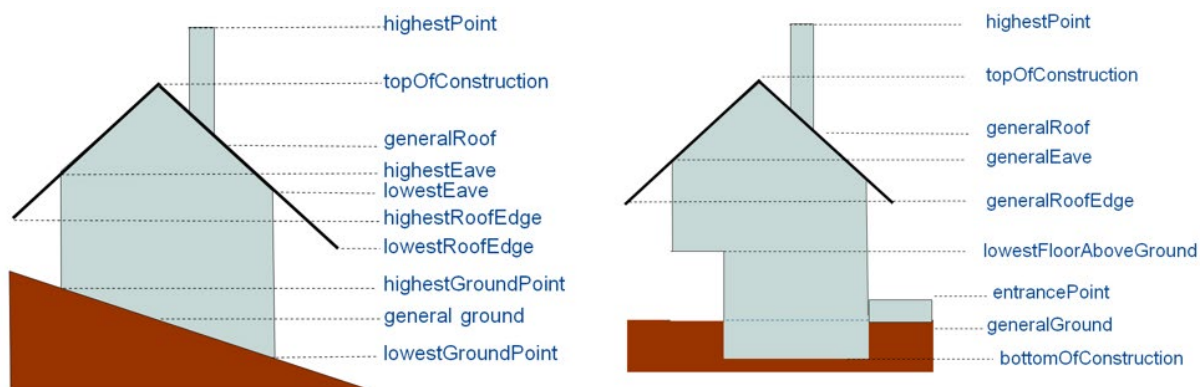
- Mens CityGML kan ha bygningsdeler som igjen har bygningsdeler, er det kun bygninger som kan ha bygningsdeler i INSPIRE.
- Modellen for presentasjon er også forenklet noe.

INSPIRE Buildings består av to grunnleggende modeller (Core) for henholdsvis 2D og 3D, og to utvidede modeller (Extended) for ytterligere detaljering av informasjonen for bygninger i 2D eller 3D. De utvidede modellene inkluderer flere typer byggverk og mer informasjon om type tak, tilkoblinger til vann, avløp osv. Dette gir fire alternative måter man kan levere bygningsdata på, som illustrert i Figur 9. Modellene bruker i ulik grad semantikk og elementer definert i basismodellene Base og Extended Base.



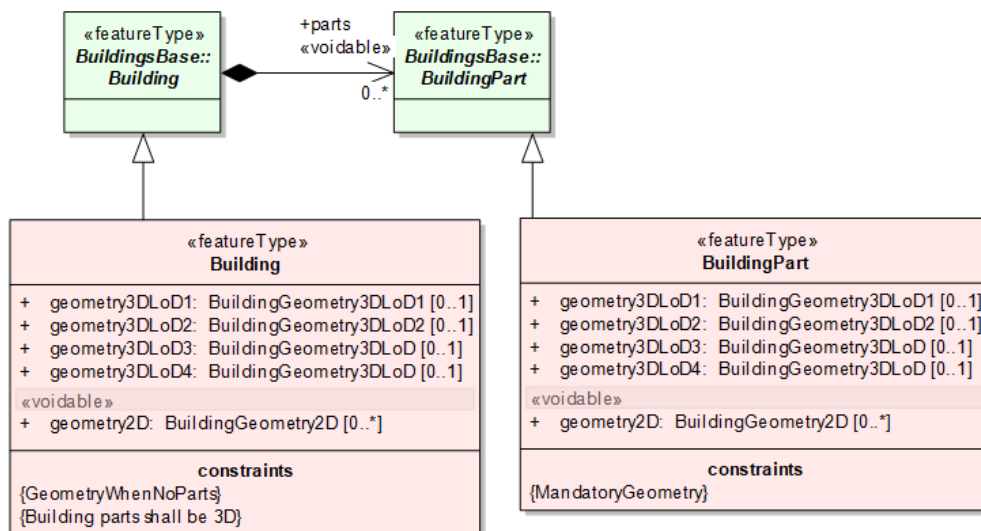
Figur 9. Den overordnede strukturen for INSPIRE Buildings. Fra [1].

Den grunnleggende modellen (BASE) definerer to egenskaper med tilhørende datatyper for å representere bygningenes absolutte (elevation) og relative høyde (heightAboveGround). Hver bygning kan ha flere instanser av disse egenskapene, som da representerer angitte vertikale posisjoner på bygningene. Dette kan, for eksempel, være høyeste punkt, laveste bakkepunkt, høyeste bakkepunkt osv. som vist i Figur 10.



Figur 10. Eksempler på høydeposisjoner. Fra [1].

I modellen for 2D-representasjon skal bygningene ha en (og kun en) geometri i 2D eller 2.5D, mens bygningsdeler skal ha minst en, og eventuelt flere geometrier i 2D eller 2.5D. I modellen for 3D-representasjon stilles det krav om at bygningene og bygningsdeler skal ha geometri på ett eller flere LOD-nivå fra CityGML 2.0. I tillegg kan de ha en geometri i 2D eller 2.5D, som vist i Figur 11.



Figur 11. Geometrirepresentasjon for INSPIRE 3D-bygninger. Fra [1].

4.5 Industry Foundation Classes (IFC)

Mens CityGML er den dominerende spesifikasjonen for digitale modeller av det bygde miljøet innen GIS, er buildingSMART International sin Industry Foundation Classes (IFC)¹⁵ den klart dominerende spesifikasjonen for byggverk innen BIM. IFC var opprinnelig fokusert på bygninger, men spesifikasjonen er nå utvida til å omfatte infrastrukturobjekter som veg, jernbane, bruer mm. Siste versjon av IFC er 4.3, som også er standardisert av ISO som ISO 16739-1:2024 [7]. Samtidig jobbes det med en versjon 5 som er ventet å modernisere teknologivalg og forbedre integrasjonen med andre modeller.

I likhet med CityGML er IFC primært en konseptuell modell, og er bygd opp av moduler fordelt på fire lag, som illustrert i Figur 12:

- Ressurslaget med felles basismoduler for geometri, tid mm.
- Kjernelaget med felles kjernemoduler.
- Interoperabilitetslaget med tematiske fellesmoduler.
- Domenelaget med spesifikke tematiske moduler.

Videre kan også IFC-modellen realiseres i flere formater, der de offisielle formatene er:

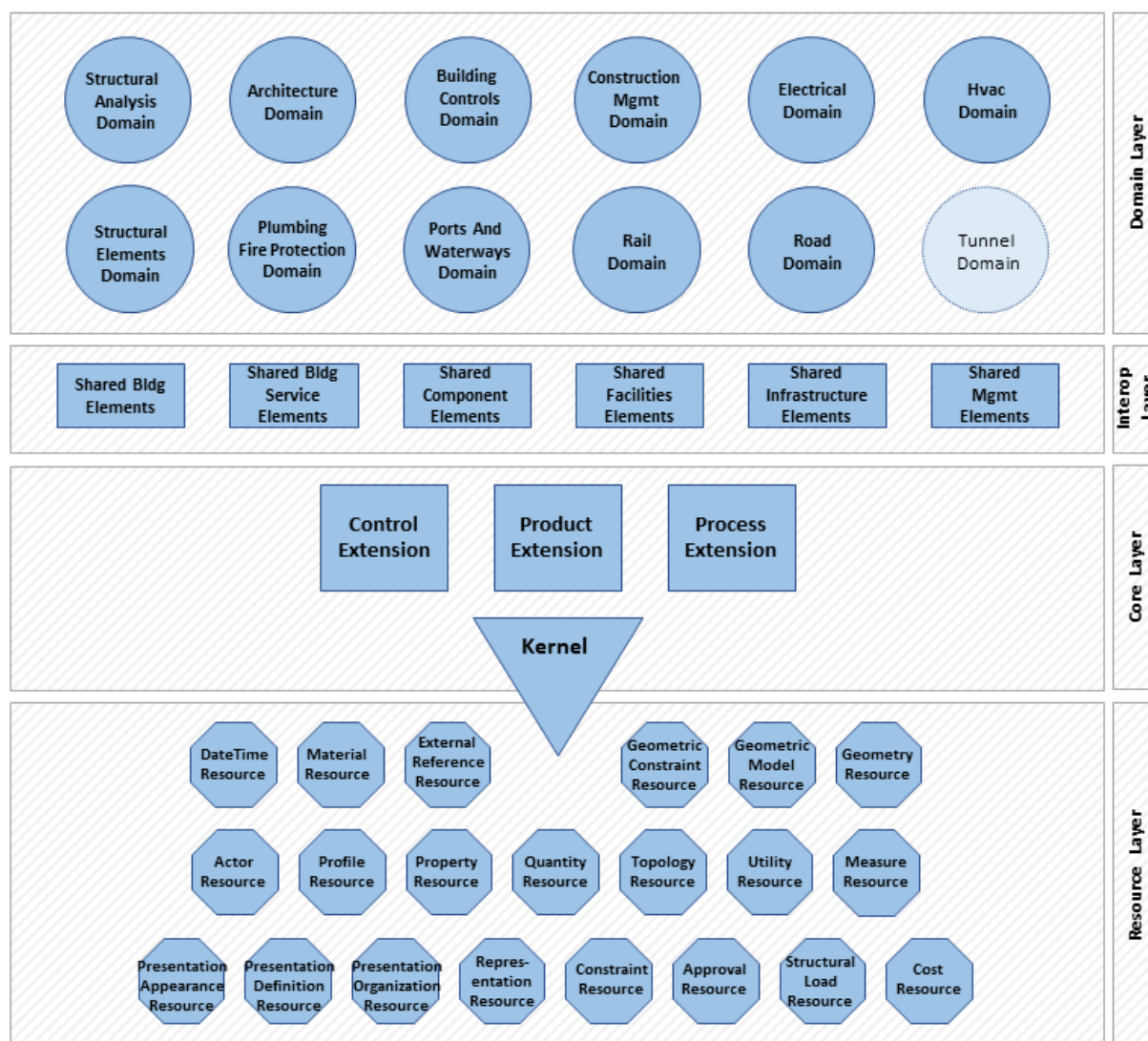
- STEP, med skjema beskrevet i EXPRESS, er et tekstformat og det man gjerne omtaler som IFC-filer.
- XML, med tilhørende skjema i XSD-format.

Det finnes også en RDF/OWL-representasjon (IfcOWL) som ble utviklet gjennom et forskningsprosjekt, men som ikke er vedlikeholdt for nye versjoner av IFC.

Strukturen i IFC-modellen er relativt kompleks og svært fleksibel. De enkelte objekttypene har kun et fåtall egenskaper, men kan knyttes til andre objekttyper gjennom relasjoner som igjen kan ha egne egenskaper og assosiasjoner. I tillegg er det definert en standard struktur for utvidelser av modellen i form av PropertySetDefinitions, der det defineres en samling ekstra egenskaper som kan knyttes til angitte objekttyper.

Objekter i IFC kan ha to typer geometri: eksplisitt og implisitt. Den eksplisitte geometrien tilsvarer i grove trekk geometrien i GIS, mens den implisitte geometrien er basert på geometri for angitte produkter. For eksempel kan en dør av en bestemt type ha en standardutforming, og alle objekter med den dørtypen har da den samme geometrien, men ulik innplassering.

¹⁵ <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/>



Industry Foundation Classes version 4.3.x Architecture overview

Figur 12. Modulene i IFC¹⁶.

4.6 Spesifikasjoner for 3D-geometri i matrikkelsystemer

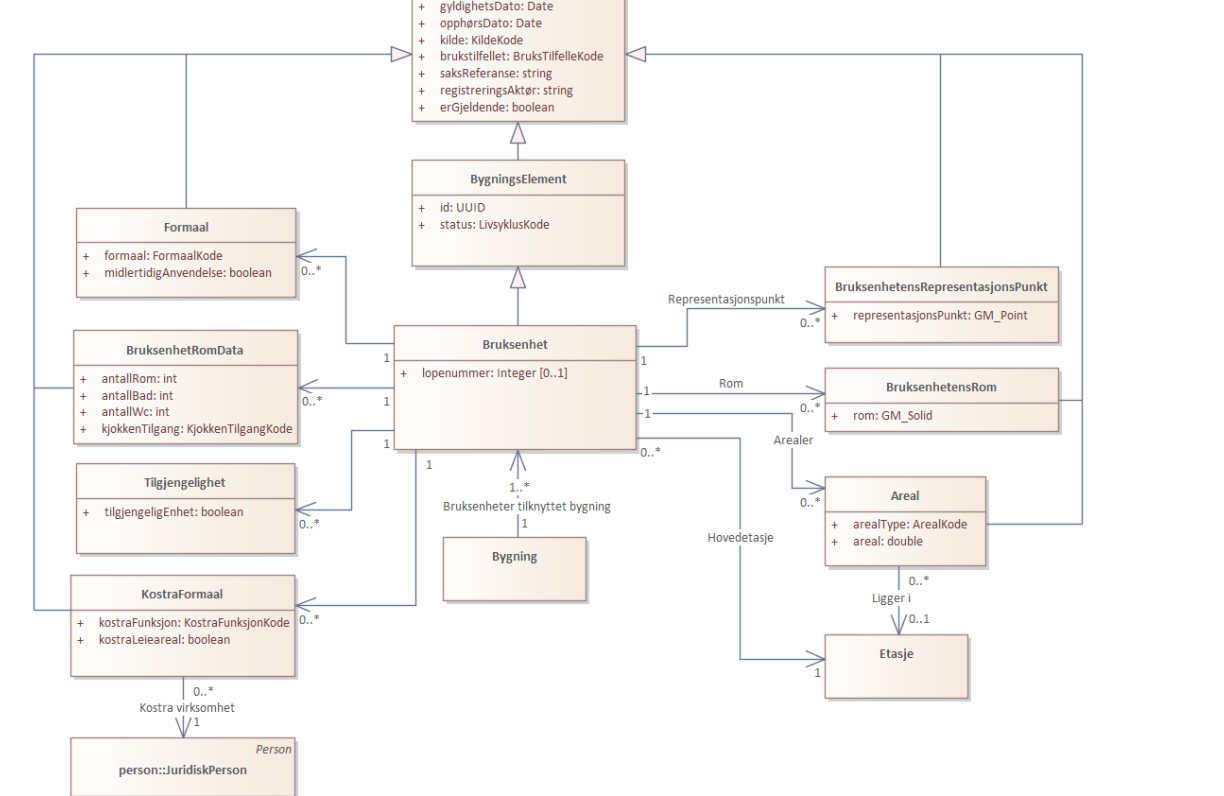
Selv om forprosjektet har hatt et mindre fokus på Matrikkelen enn opprinnelig planlagt er det fortsatt relevant å vurdere modeller for 3D-geometri i matrikkelsystemer (kadaster) i et lengre perspektiv.

Rapporten «Informasjonsmodell bygningsdel av Matrikkelen» [19] analyserer brukerhistorier fra den foregående rapporten «GeoIntegrasjon Matrikkel - Brukerbehov og teknologivalg» [20] og vurderer behovet for ny informasjonsmodell ut fra disse. Brukerhistorie nr. 17 peker på behovet for å visualisere hvor i bygget den enkelte bruksenhet ligger: «*Matrikkelen har ikke et system for å visualisere hvor bruksenheten og anleggseiendommene, over og under bakken, ligger i et bygg ... For at byggesaksbehandler og saksbehandler som fører matrikkel skal vite hvor endringen skjer, må bruksenhetsnummer oppgis. Matrikkelen gir kun opplisting av alle bruksenhetsnumre i bygningen, men ikke til hvilken bruksenhet i bygget bruksenhetsnummeret tilhører.*»

I rapporten [18] er det foreslått at visualisering av bruksenhetenes plassering kan løses gjennom innføring av en enkel volumgeometri på hver bruksenhet, samt et

¹⁶ https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_3/HTML/content/introduction.htm

RegisterMetadata
+ registreringsTidspunkt: Timestamp



9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000 1001 1002 1003 1004 1005 1006 1007 1008 1009 1010 1011 1012 1013 1014 1015 1016 1017 1018 1019 1020 1021 1022 1023 1024 1025 1026 1027 1028 1029 1030 1031 1032 1033 1034 1035 1036 1037 1038 1039 1040 1041 1042 1043 10

Det ble også laget en enkel demonstrator for å evaluere løsningen. Erfaringene derfra indikerer at det teknisk sett er relativt enkelt å lage løsningen. Imidlertid bemerkes det både i vurdering og evaluering at registrering av slike volumer vil være et omfattende arbeid som krever detaljert kunnskap om bygningene og tilhørende bruksenheter.

Internasjonalt sett ser det ut til å være begrenset med 3D-databaser for matrikkelsystemer, som vist gjennom Shahidinejad et al. sin artikkel om håndtering av 3D-geometri i databasesystemer for kadaster [21]. Det har vært noe utvikling på området, med forsøk på å etablere databaseskjema for lagring av matrikkeldata med 3D-geometri, men en gjennomarbeidet modell for 3D-kadaster ble ikke funnet i forskningen deres, og pekes på som et viktig tema for videre forskning.

Videre viser Maria Gkeli sin PhD-avhandling [22] til at en rekke land, for eksempel Polen, Korea, og Malaysia, har studert 3D-perspektivet og volumgeometrier som en del av matrikkelen sin gjennom nasjonale profiler av ISO-standarder ISO 19152 – Land Administration Domain Model (LADM). Det har også vært eksperimentert med kobling mellom matrikler og bygningsmodeller som CityGML og IFC. BIM anses som en viktig kilde for 3D-geometri til matrikler, forutsatt at bygninger i BIM modelleres og stedsfestes slik at de kan brukes. Imidlertid peker Gkeli på at både tid, økonomi og datakraft er utfordrende for innføring og forvaltning av 3D-geometrier i matrikler.

5 Erfaringer fra andre nasjoner

5.1 Generelt

En rekke nasjoner både i Norden, Europa og resten av verden har startet, kommet langt eller ferdigstilt etablering av nasjonale datasett med volumrepresentasjon av bygninger. I Norden er særlig Estland, Finland og Danmark langt framme, mens ellers i Europa er blant annet Sveits og Nederland kommet langt. På verdensbasis er Singapore og Japan eksempler på spesielt aktive aktører.

Gjennomgangen i dette kapittelet summerer funnene fra studier av strategier, nettsider og forskningsartikler fra de ulike nasjonene, samt en felles nordisk rapport [23] og presentasjoner fra EuroSDR sin workshop for «State-of-the-art 3D mapping at National and Regional Mapping Agencies» som ble avholdt i Paris 22-23.januar 2025.

Tabell 3 oppsummerer funn fra andre nasjoner, mens de påfølgende delkapitlene beskriver mer detaljer. Erfaringene fra andre land kan sammenfattes til å si at de fleste arbeider med problemstillingen, og da stort sett med en tilnærming basert på CityGML og generering av volumrepresentasjoner ut fra punktskyer. Noen land har bygningsomriss (takomriss eller fotavtrykk), men ingen andre enn Norge virker å ha data på detaljnivået i FKB. Et interessant innspill er ellers Roland Billen fra University of Liège sine refleksjoner om myndigheter sin rolle i digitale tvillinger [24]. En mulighet som skisseres der er at offentlige kartverk kan fungere som en plattform for private aktører og sikre offentlig eierskap av originaldataene.

Tabell 3. Oversikt over studerte nasjoner

NASJON	STATUS	METODE	DATASETTEIER
ESTLAND	Komplett datasett	Punktsky og takomriss	Offentlig
FINLAND	Under etablering, delvis dekning	Punktsky og 2D fotavtrykk (tak eller grunnriss)	Offentlig
SVERIGE	Tidlig fase. Spesifikasjon utarbeidet basert på CityGML	Punktsky og takomriss	Egne datasett i enkeltkommuner
NEDERLAND	Komplett datasett	Punktsky og takomriss	Offentlig
SVEITS	Komplett datasett	Punktsky, takflater og standard bygningstyper	Offentlig
POLEN	Under etablering, delvis dekning	Punktsky og 2D fotavtrykk (tak eller grunnriss)	Offentlig
FRANKRIKE	Under etablering, delvis dekning	Punktsky og 2D fotavtrykk (tak eller grunnriss). Lokal kvalitetsheving	Offentlig
TYSKLAND	Under etablering, delvis dekning	Punktsky og 2D fotavtrykk	Offentlig
STORBRITANNIA	Forskning, ikke omsatt til produksjon		
TSJEKKIA	Under etablering, tidlig fase	Punktsky og 2D fotavtrykk av grunnriss	Offentlig
JAPAN	Under etablering, dekker 211 byer. Egen spesifikasjon (ADE) basert på CityGML.	Punktsky og 2D fotavtrykk	Offentlig
SINGAPORE	Komplett datasett	Konstruksjon fra flere kilder	Offentlig

5.2 Estland

Estland har etablert en strategi for 3D-kartlegging med fokus på

- Teknologi for datainnsamling, infrastruktur og standarder
- Dekning, kvalitet, tidsaspekter og effektivitet
- Produkter og tjenester
- Visualisering og portal

Strategien er basert på en forretningsanalyse i 2023, der ulike interessenter ble intervjuet om sine behov. Målsetningen er å ha en mest mulig automatisert prosess fra rådata til ferdige 3D-produkter innen 2026.

Mer informasjon er tilgjengelig på

- Geo3D-strategi på Estlands Geoportal¹⁷
- Forretningsanalysen [25]
- Den nordiske rapporten [23]

Det er etablert offentlige, åpne og gratis datasett som er tilgjengelig i flere ulike formater, inkludert CityGML-formater (GML, GDB) og kjente formater som GPKG, GDB og SHP. Datasettene produseres og vedlikeholdes som en del av den topografiske databasen (ETDB) og inkluderer bygninger på LOD1 og LOD2-nivå, frittstående tak, transportinfrastruktur (f.eks. bruer), drivhus og vegetasjon. LOD1 for bygninger er avledet fra LOD2 der de finnes, ellers med standardhøyde ut fra bygningstype. Se flere detaljer på

- Beskrivelse av 3D-data på Estlands Geoportal¹⁸
- Estlands kartportal for 3D-data¹⁹

Bygningsdataene omfatter bygninger større enn 20m² og inneholder ID fra matrikkelen. Datasettet er generert fra punktskyer kombinert med omriss av takflater i 2.5D. Estland har ikke data for fotavtrykk av veggiv. Dataene har noe større detaljering i urbane strøk enn i rurale. De har også lagt på noe tekstur i sentrale strøk, for eksempel i gamlebyen i Tallin.

LOD1-data oppdateres månedlig, mens LOD2 oppdateres årlig basert på omløpsfotografering. De har et mål om hyppigere oppdatering også av LOD2.

5.3 Finland

Finland har under etablering et nasjonalt datasett basert LIDAR-skanning og omløpsfotografering. Datasettet er ikke landsdekkende enda, men dekningsgraden øker for hvert år.

Mer informasjon er tilgjengelig på

- Lantmäteriverkets side om Laserskanning och fotograferingsflygninger²⁰
- Lantmäteriverkets side for 3D-data²¹
- Lantmäteriverkets produktbeskrivelse av bygninger i 3D²²
- Den nordiske rapporten [23].

Bygningsdata i LOD1 er tilgjengelig som åpne data, men LOD2-data blir ikke publisert åpent av hensyn til sikkerhet. Dataene er tilgjengelige i CityGML og CityJSON.

¹⁷ <https://geoportaal.maaamet.ee/eng/spatial-data/geo3d/geo3d-strategy-p835.html>

¹⁸ <https://geoportaal.maaamet.ee/eng/spatial-data/geo3d/3d-data-p836.html>

¹⁹ <https://3d.maaamet.ee/kaart/>

²⁰ <https://www.maanmittauslaitos.fi/sv/laserskanning-och-fotograferingsflygningar>

²¹ <https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/tiedostopalvelu/3d-rakennukset?lang=sv>

²² <https://www.maanmittauslaitos.fi/sv/kartor-och-geodata/datamaterial-och-granssnitt/produktbeskrivningar/byggnader-3d>

Bygningsdataene omfatter bygninger større enn 20m². Volumrepresentasjon i LOD2 genereres fra LIDAR og 2D fotavtrykk, mens LOD1 generes ut fra høyeste punkt på LOD2-representasjoner. Fotavtrykkene brukes kun for å finne hvor det er bygninger, ikke for å avgrense bygningene, grunnet usikkerhet om kvaliteten. Fotavtrykkene kommer fra en nasjonal database, men har varierende opprinnelse og kvalitet, og også varierende representasjon av enten tak eller grunnriss. Det inngår ingen manuell kontroll av dataene i prosessen, det er kun maskinelle kontroller som med mulige påfølgende manuelle korreksjoner.

Det er under utarbeiding en prosess for ajourhold og generering av ny volumgeometri ved detekterte endringer i 2D-fotavtrykk. Pr nå er 3D-bygningsrepresentasjonen uavhengig av vedlikehold av 2D-bygningsdata. De har et mål om felles vedlikehold, forvaltning og tilgjengeliggjøring etter hvert.

5.4 Sverige

Sverige er i en tidlig fase med å planlegge etablering av et landsdekkende datasett med volumgeometri for bygninger. De planlegger en etablering basert på Lidar-data og fotavtrykk av bygninger, men mangler i likhet med Norge en finansiering for et slikt datasett.

Datagrunnlaget vil være den landsdekkende digitale høydemodellen med både terrengmodell og overflatemodell, samt fotavtrykk av bygninger fra grunnkartet. Høydemodellen oppdateres gjennomgående hvert sjuende år. Metoden for etablering av 3D-representasjoner er utprøvd i noen testområder. I tillegg har en del større kommuner etablert sine egne 3D-datasett med bygninger i LOD2 for hele eller deler av kommunen.

Sverige har utarbeidet en ny nasjonal spesifisering for bygninger, med en struktur tilsvarende CityGML 3.0, men med noe mer egenskaper. Spesifikasjonen inkluderer også en spesifisering av LOD (NS LOD), basert på CityGML, men med noe tillegg og forenklinger.

Mer informasjon kan finnes i den felles nordiske rapporten [23].

5.5 Danmark

I Danmark ble det gjennomført en gevinstanalyse for en nasjonal 3D-modell (Danmark i 3D) i 2019, der fokuset var på nytteverdien for kommunale aktører [26]. Analysen ble fulgt opp i en rapport i 2024 der man så på nye anvendelsesmuligheter for andre brukere i staten, regioner, kommuner og virksomheter [27]. Rapportene viser et stort gevinstpotensial med en ensartet, landsdekkende modell som kan anvendes på tvers av administrative grenser, basert på autoritative data, og ved at det i tillegg er en objektbasert modell som muliggjør kobling til andre datasett. Samlet sett estimerte analysen fra 2019 et årlig potensial i kommunene på mellom 30,4 og 44,1 millioner DKK, noe som med dagens kurs tilsvarer 48-69 millioner NOK.

Av gevinster som nevnes er:

- Bedre beslutningsgrunnlag i byggesaker og planprosesser
- Vekst i næringslivet gjennom innovasjon
- Økt anvendelse av andre åpne offentlige data
- Effektiv gjennomføring av politikk
- Planlegging og gjennomføring av beredskap, herunder klimatilpasning

Mer informasjon finnes i

- Gevinstanalysen [26] og gevinstrealiseringsrapporten [27]
- Opplastingsspesifikasjonen [28] og en presentasjon fra SDSW23 [29]
- Den felles nordiske rapporten [23]
- Dataforsynings side om Digital Tvilling²³

²³ <https://dataforsyningen.dk/labs/2265>

Det arbeides fortsatt med å skaffe mandat og finansiering av et nasjonalt datasett.

Datasettet etableres på nivå LOD2, generert fra 2,5D fotavtrykk og punktskyer. Det legges ikke opp til manuell bearbeiding. Man er da forberedt på at det kan være feil og mangler på ca. 10% av bygningene. Kommuner kan laste opp forbedret representasjon av kompliserte bygninger, slik at det de er opp til kommunene selv hvor perfekt datasettet blir i deres kommune. Det er også tilrettelagt for at volumrepresentasjonen oppdateres når det skjer endringer i vektordataene. Vedlikehold anses som svært viktig for å sikre verdien av dataene over tid.

Datasettet lagres i en intern struktur i henhold til en egenutviklet modell [28], men kan lastes ned på CityGML, CityJSON og 3D Tiles. CityGML brukes også for opplasting av endringer fra kommunene. Det legges lite informasjon på selve 3D-bygningsobjektet, men koblinger til andre datasett med flere egenskaper er sikret gjennom identer. Viktigheten av en felles spesifisering som alle forholder seg til framheves spesielt.

5.6 Nederland

Nederland har det landsdekkende datasettet 3DBAG (Detailed 3D Building models Automatically Generated for very large areas) som blir generert og oppdatert av Universitetet i Delft ved hjelp av egenutviklet programvare. Dataene er fritt tilgjengelige på formater som CityJSON og GPKG fra 3DBAG-kartportalen²⁴.

Datagrunnlaget er LIDAR-data fra den nasjonale høydemodellen (AHN) og takavgrensninger fra bygningsregisteret (BAG), og datasettet dekker hele landet med ca. 10 millioner bygninger i LOD 2.2 og LOD 1.3. De har erfart at noen brukere, for eksempel de som beregner støy, ikke klarer å håndtere detaljerte data på LOD 2, og har derfor etablert data på LOD 1.3 i tillegg. Bygningene har noen attributter, blant annet id for kobling til andre registre. Enkelte lokale modeller er forbedret med høyere detaljering.

For mer informasjon, se

- Den felles nordiske rapporten [23]
- Online artikkel i GIM International [30]

5.7 Sveits

Sveits har tatt et strategisk grep der 2.5D-geometrier for punkt, polygoner og flater er grunnlaget (Topographic Landscape Model SwissTLM^{3D}). 2D-kart og volumgeometrier er sidestilte biprodukter. De har et nasjonalt datasett i LOD 2.3 (dvs. med tak som stikker ut fra veggiv) som har vært landsdekkende siden 2018 og tilgjengelig som åpne data siden 2021. Datasettene er tilgjengelige for innsyn og nedlasting på CityGML og andre formater fra Swisstopos side for geodata og applikasjoner²⁵.

For bygninger forvaltes takflater som brukes som grunnlag for generering av volumrepresentasjoner. De har en egen intern struktur på dataene, men kan eksportere til CityGML. Fotavtrykk og vegger avledes ut fra standardtyper av tak, laserdata og bakkebasert datainnsamling. Volumene etableres med et fiktivt fotavtrykk 3m under laveste punkt i terrengmodellen, for å unngå at bygninger svever over bakken.

En kjent utfordring er å definere hva en bygning er, og hva som avgrenser den. Der er det ulike syn fra ulike fagmyndigheter. De har planer om en mer komplett bygningsmodell for bruk hos de ulike interessentene som vedlikeholder sine bygningsregistre på ulike måter i dag, og som har ulike oppfatninger av hva en bygning er og hvilke linjer den er avgrensa av. Inntil da knyttes ulike databaser sammen ved hjelp av offisiell bygningsident på objektene.

²⁴ <https://www.3dbag.nl/en/viewer>

²⁵ www.swisstopo.ch/geodata

Første etablering av datasettet ble gjort av et eksternt firma på oppdrag fra Swisstopo, men dataene vedlikeholdes nå internt, både fortløpende og ved periodisk ajourhold hvert sjette år. Typisk effektivitet på en ansatt er 2 minutter pr nye bygning. Datasettet ajourholdes hvert sjette år.

5.8 Polen

Polen er i ferd med å kartlegge hele landet i 3D. Volumrepresentasjoner av bygninger etableres i henhold til CityGML, generert fra punktskyer og fotavtrykk. Bygninger konstrueres kun der det er samsvar mellom fotavtrykk og klassifisering som bygning fra punktsky.

Alle 3D-data er åpent og gratis tilgjengelig for alle.

5.9 Frankrike

Frankrike arbeider med en landsdekkende digital tvilling, der 3D-bygninger inngår. Dataene baseres på Lidar-skanning supplert med frivillig detaljering og kvalitetsheving på lokalt nivå.

5.10 Tyskland

Tyskland har et prosjekt for «Digital Twin Germany» som har pågått fra 2022 og skal gå fram til 2026. Deretter skal man gå over i produksjon fra 2027. Gjennom prosjektet samles en landsdekkende punktsky med høy oppløsning, og objekter avledes fra denne. Objekter som avledes inkluderer både bygninger, enkelttrær, luftfartshindre og stupetårn.

5.11 Storbritannia

Storbritannia har gjort mye forskning på 3D-produkter, med mest fokus på mesh-representasjon. En sentral utfordring for dem har vært å omsette forskning til produksjon.

5.12 Tsjekkia

Tsjekkia har under oppstart et landsdekkende 3D-kartleggingsprosjekt over fire år. De har fotavtrykk for alle bygninger i matrikkelen. For nye bygninger kreves innmålte data fra landmåler, mens for eldre bygninger er det mer uklar og variabel kvalitet.

5.13 Japan

Japan har etablert en nasjonal spesifikasjon og datasett («Plateau») basert på CityGML. Datasettet er under kontinuerlig etablering og dekker nå 211 byer over hele landet. I dataene inngår både bygninger, infrastruktur og andre anlegg. Dataene er generert ut fra laserdata og kommunale datasett med bygningsomriss. De fleste byene har bygningsdata på LOD2-nivå og andre datasett på LOD1-nivå, men noen byer har også bygningsdata og data for transportinfrastruktur på LOD3-nivå.

Mer informasjon finnes i:

- Plateau-prosjektets side om åpne data²⁶
- Plateau-prosjekts hovedside²⁷
- Den felles nordiske rapporten [23]

Datasettene er fritt tilgjengelig i CityGML-format og som 3DTiles, og kan lastes ned for hver enkelt by.

²⁶ <https://www.mlit.go.jp/plateau/open-data/>

²⁷ https://front.geospatial.jp/plateau_portal_site/

5.14 Singapore

Singapore påbegynte sitt nasjonale 3D-datasett allerede i 2014 og har et landsdekkende datasett der bygninger, bruer, tuneller og andre anlegg i hovedsak er etablert på LOD2-nivå. Dataene er generert ut fra flyfoto, Lidar og terrestrisk laserskanning og er implementert i CityGML-struktur..

Erfaringer viser at det var en kostbar prosess både å etablere datasettene og å sette opp infrastrukturen rundt. Men bruken av CityGML har vært besparende for både myndigheter og brukere på grunn av tilgang på eksisterende funksjonalitet.

Mer informasjon:

- Beskrivelsen av prosjektet på OECD sin innovasjonsside²⁸
- CITYGML Modelling for Singapore 3D National Mapping [31]
- Den felles nordiske rapporten [23]

²⁸ <https://oecd-opsi.org/innovations/virtual-twin-singapore/>

6 Kommersielt produserte datasett i Norge

6.1 Geodata

6.1.1 Produkter

Geodata AS produserer landsdekkende 3D-innhold fra FKB-Bygning og FKB-Tiltak i form av bygningsvolumer. Hovedproduktet er en 'Scene', en 3D-tjeneste inneholdende FKB-innholdet som resultat av en byggeprosess. 'GeosceneBygning' finnes i de mest aktuelle koordinatreferansesystemer.

Innholdet i den landsdekkende tjenesten blir generert i egen byggemotor. Det finnes en konfigurasjon for prioritering av områder for oppdatering, basert på målt aktivitet over tid. Dette sikrer hyppig generering av innhold i områder med stor bygge- og kartleggingsaktivitet.

Formatet som anvendes i oppbygging av 3D-innholdet er ett av flere alternative 3D-format i teknologiplattformen – Esri Multipatch. Dette er et relativt enkelt oppbygd 3D-format, basert på tilliggende 'rings'/polygoner (surface patches) der hver enkelt av disse inneholder et sett polygoner og én av flere mulige triangeltyper. Generelt blir denne representasjonen kraftig utfordret innen Esri-teknologiplattformen, men vi har lagt til grunn at enkelhet, relativt lavt datavolum samt god, gjennomtestet interoperabilitet gjør den hensiktsmessig for dette formålet. Gitt at FKB-vektordata så langt er det dominerende råmaterialet, framstår også denne representasjonen som formålstjenlig.

GeosceneBygning er 3D-bygning-hovedproduktet, i tråd med moderne bruksmønster og nytteverdi. Men det blir også avledet flere dataprodukter fra det landsdekkende datasettet. Først og fremst foreligger uttrekk på kommune- og fylkesnivå, nedlastbare og generert etter oppdatering av aktuelt område i landsdekkende kildedata. Teksturering av tak tilbys også i 3D-leveranser.

Det finnes muligheter for å støtte spesifikke bruksområder ved å kople på attributter fra andre kildedata, samt fra analyser og beregninger. Solkraftpotensial på tak er et veletablert sådant, mens sikt- og sol-/skyggeanalyser relatert til sertifiseringskrav er et oppkommende felt. Nye bygg- og bruksenhetsmodeller fra Matrikkelen antas å gi potensial for visning av bygningsbruk på illustrasjonsnivå.

En måte å oppnå grunnlag for prosjekt- eller analysedata på, er å bruke vår 3D Clip&Ship-tjeneste. Den har svært mange 3D-format-valgmuligheter og er eksponert via Infoland.

Byggemotoren (NT 3DBygger) som sådan er et tilgjengelig produkt.

6.1.2 Videreutvikling basert på kjente datakilder

3D-volumbygging fra FKB har måttet forholde seg til en lang rekke forhold som gjør det krevende å oppnå et perfekt resultat, og vurderinger av beste løsning samt hvor langt en skal gå metodisk der det er usikkerhet om hva som er korrekt, har endret seg over tid. Viktige aspekter har historisk sett vært:

- Deteksjon av avgrensningslinjer for gitt bygg (ref spesielt takkantoverlapp).
- Håndtering av manglende 3D-konneksjon. Bruk av toleranse, spesifikke antakelser/algoritmisk reparasjon, eller aksept for datatap?
- Håndtering av Bygningsdelelinje. Med/uten geometribidrag (unike Z-bestemte knekkpunkt) og sammenfall med bygningsbeskrivende linjer.
- Grad av OBJTYPE-spesifikk håndtering i koden.
- Håndtering av flere sett avgrensningslinjer (Fasadeliv vs. Takkant ++), korrekthet/komplettethet av egenskap som angir settet som skal brukes der dette ikke er klart fra geometri og objekttype.
- Taksprang/TaksprangBunn i ulike konstellasjoner.
- Ambisjonsnivå: Arkade, Portrom.
- Nedre avgrensning – gitt valg av prioritert brukstilfelle.

- Håndtering av feilklassifisering av 3D-nivå.
- Formfaktorer, ivaretaking av varianter og bruk av kontekstinformasjon ved håndtering av bygningsvedheng.

Det har definitivt vært en bevegelse fra prinsippet 'bygge så langt datakvaliteten tillater det' til 'strekke seg mot en komplett 3D-representasjon av bygningsmassen', og denne har vært drevet av forventninger i markedet.

Vi legger p.t. til grunn at det er mulig å løfte kvaliteten på genererte 3D-bygg signifikant. Et viktig premiss her er at vi fortsatt tenker oss at levert FKB-Bygning er den primære kilden. Teknisk sett mener vi at vi kan spille på følgende:

- FKB 5.1 med assosiasjoner til avgrensningslinjer: Gitt kompletthet, vil dette gjøre bygging av hovedform raskere og redusere feil. Hvis en må bygge et omfattende sett fallbacks for å håndtere avvik på disse assosiasjonene (også), er nytteeffekten usikker.
- Kode: Refactoring, samt å oppnå et mer begrunnet og gjennomtenkt oppsett for byggeverktøyet (NT 3DBygger) vs. fallbackmekanismer som vi i dag kun anvender ved videreprosessering i skymiljøet.
- Forbedrede fallbacks der bygging ikke lar seg gjennomføre eller der en ønsker å redusere omfang av krevende logikk med usikker nytteverdi
- Mellomstadium-representasjon (f.eks. database), hvis dette gir positiv struktureringseffekt forut for generering av 3D-volumene.
- Teknologier som allerede var etablert da vi valgte å gjøre dette basert på et gitt plattform-utviklingsrammeverk har vist seg egnet for formålet og vil kunne erstatte dagens byggemotor.
- Mer utviklede komponenter/pakker som vi har tilgang til kommer stadig nærmere vårt 'norske scope' og vil kunne spille en rolle i vår produksjon av volumgeometrier framover.

Det legges her til grunn, basert på signaler i diskusjonen i arbeidsgruppa, at en fulltopologisk representasjon av takflatesegmenter blir for dyrt, slik at vi ikke kan forvente dette i FKB-Bygning innen aktuelt tidsrom. Det legges også til grunn at FKB-bygningsmodellen er her for å bli. Dermed antar vi også at punktsky med etterbehandling vil kunne være et tilleggsbidrag, men neppe erstatte konstruert vektordata fullt ut nå.

Den typiske 'FKB-baserte klossen' har begrensninger i bruk. Både byggesaksbehandling og analyser som vind- og sol-/skygge-, lider f.eks. av manglende differensiering mellom Takkant og Veggliv(/Grunnmur). Takskeggets utstikk i 3D-modell er ikke noe som bør bli satt som mer eller mindre synsede standardverdier når en tar krav i byggesaksbehandling og nøyaktighetskrevede analyser i betraktning. Dette aktualiserer, i likhet med ønsket om realistiske fasadevisninger og bybilder, 3D-mesh-baserte modeller i områder med spesifikt store krav samt for analyser i digitale tvillinger av byrom. Vi kommer nærmere inn på mesh i kap. 6.1.4.

6.1.3 Markedsutvikling og offentlige vs private bidrag

Prosjektering og byggesaksbehandling er sett på som de tradisjonelle, tunge bruksområdene og driverne for grunnkartlegging tilpasset stor målestokk. Et annet viktig område er den generelle bruken av gode, detaljerte 2D-kart i stor målestokk i samfunnet, her med vekt på bebygde miljøer. Den konkrete bruken av FKB utfordres kombinert av de andre datafangstmetodene, klientutvikling, samt økning av datakraft tilgjengelig for prosessering og visualisering. Men vi antar fortsatt betydelig vilje til å bruke ressurser på fotogrammetrisk konstruksjon av bygninger. Samtidig gjør noen klare trender seg gjeldende:

- Større byer bruker ressurser på en kontinuerlig vedlikeholdt og forfinet 3D-bymodell, som vist for arbeidsgruppa. Arbeidet er preget av pragmatisme i valg av kilde og metode, og datainnsamling skjer i stor grad ved egeninnsats eller ved kjøp av tjeneste. Vi ser at 3D-mesh og BIM med hensiktsmessig LOD gradvis erstatter byggvolum uten fasadestruktur fra FKB der det jobbes på denne måten. Dette

stimulerer både markedet for datafangst og markedet for programvare og komponenter for prosessering, visualisering og analyser relatert til bygg/bygde miljøer.

- Strømmingstilpassede representasjonsformat og skalerbar datakraft vil øke omfang – og bruk av både bykjerne – og store landskapsmodeller basert på mesh.
- Plan og bygde miljøer sett i sammenheng: Moderne urbane illustrasjoner har potensial til å vise konsekvenser av plan ved å kombinere planelementer, dagens - konkret planlagte – eller KI-genererte bygg. 3D-elementer i plan (typisk -forslag) som sådan ses her på som elementer i myndighetsoppfølging for vedtatte planer og utgangspunkt for KI-generering, uten at de skal inngå i illustrasjon av utbyggingsalternativ.

Datafangst for – og generering av bymodeller er et kjerneområde og et felt som driver klientutvikling innenfor 3D-GIS, her i videste forstand. For tida har vi et rikt aktørbilde, og vi vil ikke påstå at bestemte typer aktører eller systemfamilier er i ferd med å feste hegemoni. Skyprosessering og hardwareutvikling er rammebetingelser for konsum av typisk tung data. Kostnadsbilde, ressurstilgang og utvikling av tjenestearkitektur vil fortsette å være rammebetingelser, uten at vi her framsetter hypoteser om trender eller gradienter. Interoperabilitet mellom leveranseformater fra de ulike datafangstmetodene antas god nok til at sammenstilling av BIM, mesh og enklere formater/strukturer for bruk i en 3D-bymodell/digital tvilling nå foregår noenlunde effektivt.

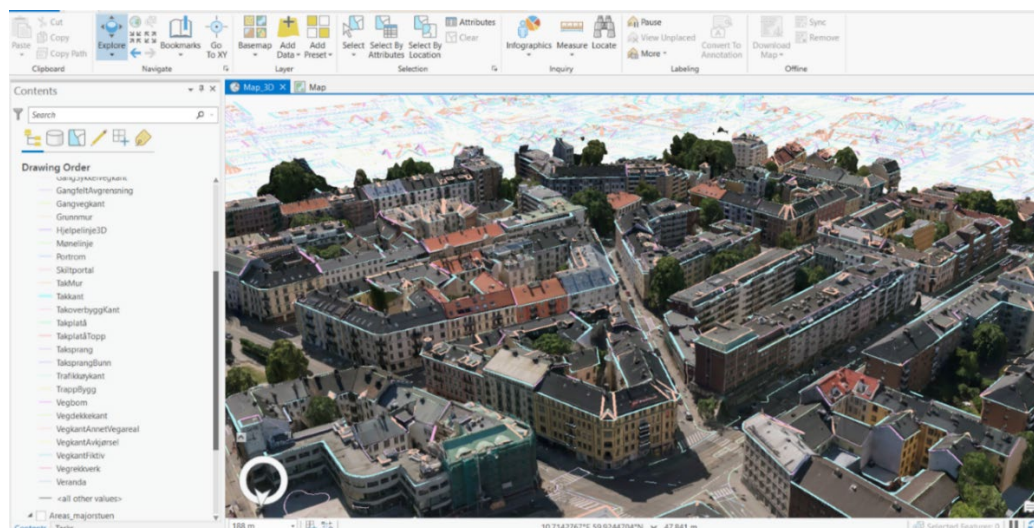
Oppbygging av et volumgeometri-bygningsdatasett i offentlig regi vil påvirke en del markedsscenarier. Men først og fremst må det tas stilling til realismen i et slikt opplegg, gitt finansieringskilder og -vilje. Av faglig interesse er spesielt forholdet mellom BIM-modeller, som i hvert fall i noen grad vil kunne fanges av byggesaksbehandling, et fotogrammetrisk ajourhold og en tenkt CityGML-representasjon. Kartlegging av arbeidsmengde og kostnadsbilde rundt dette vil kreve solid FoU-innsats før et opplegg kan startes opp.

6.1.4 Mesh: Disruptiv teknologi med tanke på tradisjonell (norsk) grunnkartdatafangst?

Datainnsamling for generering av mesh, der hensikten er å gi en mest mulig sann overflatebeskrivelse av menneskeskapte objekter, vil kreve egne oppdrag med spesifikasjoner for høy stedfestingskvalitet. I tillegg må en, for å oppnå sikker generering av fasader, ha 80/60 – bildeoverlapp, gjerne kombinert med skråfoto (A. Szadkowski, Esri, pers.medd.).

Fordelene for bruksformål som er sterkt visualiseringsavhengige samt som nyttiggjør detaljerte fasade – og takbeskrivelser, er samtidig åpenbare. Men vurderingene går så langt i retning av at mesh med høykvalitetsbeskrivelse av fasader kostnadmessig først og fremst vil kunne forsvares for bykjernekartlegging.

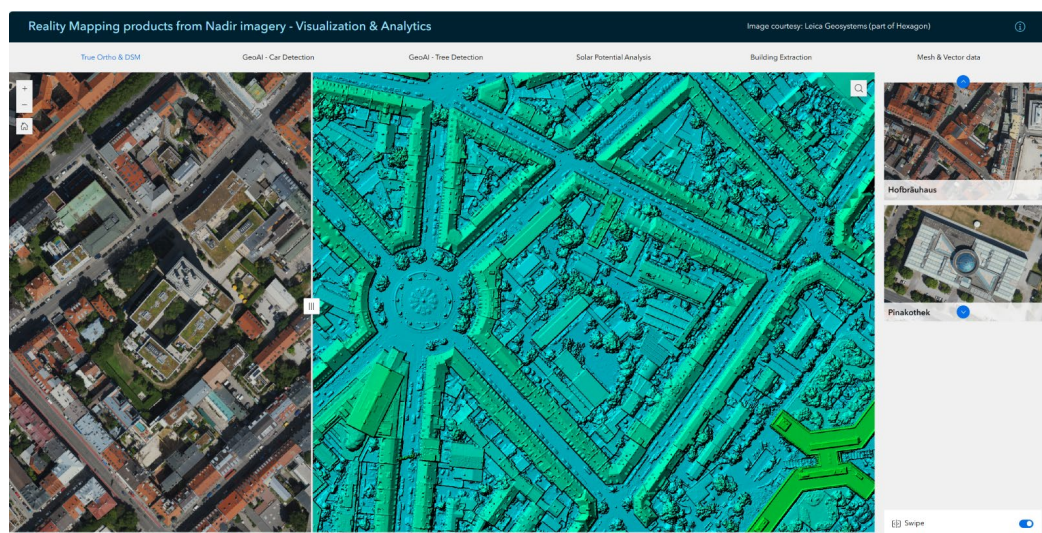
Mesh lagres typisk i SLPK, I3S, OBJ eller som 3D tiles. En rekke formatkonverteringer er tilgjengelige, men vi har ikke konkrete erfaringer eller formalkunnskap om datatransformasjoner for ommodellering, som avledning av 2,5 D bygningskropp – og takform vektorgeometrier eller til et enklere bygningsvolum i LOD 2.X. Dermed mangler vi også grunnlag for å kunne si om hvorvidt mesh-orientert punktkartlegging kan være enerådende i aktuelle områder. Det bør videre faglig samarbeid på dette området kunne avdekke.



Figur 14. Mesh, med FKB-Bygning drapert

Et eksempel på storskala-mesh generert i ArcGIS Reality fra mange ulike bildeserier, der terrengbeskrivelse og bymodellperspektiv er forent, er digital tvilling for Nordrhein Westfalen²⁹. Lagringsformat er I3S, og ytelsen ved visning av et mesh-datasett over et så stort område viser at områdevisualiseringer i 3D ikke lenger må by på problemer. Så kan det synes viktig at innsamling av skråfoto for støtte til fasadegenerering i tette bysentra foretas målrettet, gitt en del anomalier.

Utenfor bykjernene vil dagens bygningskartlegging kunne utfordres av tilgangen til DOM/Lidar og rektifisert ortofoto. Et sannsynlig premiss for at det skal kunne lønne seg å ta utgangspunkt i dette, er at opphav – avledningsforholdet snus ved at 'tilstrekkelig beskrivende vektorgeometri' blir avledet fra modellen. Men det virker ikke som miljøet anser at generering av 2,5 D byggkropp og takdetaljer fra et slikt grunnlag er gangbart nå. Dette gitt dagens nøyaktighetskrav og typisk punkttetthet for punktskykartlegging i tettbebygde strøk. Men gitt Norges posisjon innenfor høydedatainnsamling og GeoAI, samt at lista for gode visualiseringer i planarbeid og byutvikling stadig blir lagt høyere, er det viktig å utfordre dagens aktivitetsmodell ut fra muligheter som utvikler seg kontinuerlig.



Figur 15. Rektifisert ortofoto på DOM (bildemat. Leica Geosystems, DOM: ArcGIS Reality)³⁰

²⁹ <https://www.geoportal.nrw/?activetab=portal>

³⁰ <https://experience.arcgis.com/experience/170245a6fd5a4a709f3c0b913b3808f4>

6.2 Norkart

6.2.1 Utgangspunkt og bruksområde

Ved å kombinere FKB-data med støtte fra andre datasett som terrengmodeller genererer Norkart en landsdekkende 3D-modell som inkluderer bygninger, terreng og vegetasjon.

De genererte modellene brukes direkte i egne løsninger, eksempelvis Norkart Bygginnsikt, Eiendomsinnsyn og Kommunekart 3D. Det er i mange sammenhenger nyttig å kunne se et område i tre dimensjoner, for eksempel i forhold til vurderinger rundt utsikt, solinnstråling og ved behov for å se en BIM-modell i forhold til området rundt.

Modellene har stor verdi som 3D-grunnlag for prosjekter i byggenæringen. Arkitekter og eiendomsutviklere sparer mye tid på å få et ferdig modellert og georeferert utgangspunkt for egne prosjekter. Norkart tilbyr dette grunnlaget gjennom egen nettbutikk og integrert direkte i bransjens egen programvare for CAD. Videre prosjektering i disse verktøyene har mindre behov for senere georeferering, siden modelleringen skjer i samspill med eksisterende dataene.

6.2.2 Produksjon

Norkarts produksjon av 3D-modeller fra FKB baserer seg på programvare utviklet internt i firmaet, med nyutvikling og gradvis forbedring over mange år.

Bygningsmodellene lages bygning for bygning basert på FKB-data for et område av gangen. Bygningspunktet brukes til å hente ut bygningsflaten, som igjen brukes til å hente ut linjegeometriene som ligger innenfor og ved bygningen. Disse linjene justeres og prosesseres for å i størst mulig grad eliminere støy fra måling, eksempelvis at linjestykker som nesten møtes, innenfor en terskelverdi, flyttes slik at de møter hverandre. Fra det justerte linjesettet dannes takflater i 3D, som igjen brukes til å lage fullverdige volumgeometrier ved å trekke disse ned til en terrengmodell. For å lage modeller som best mulig gjenskaper virkeligheten gjøres det antagelser for verdier som høyden på gelender for verandaer, som ikke ligger i datasettet.

6.2.3 CityGML og 3DCityDB (Postgres)

Som tidligere nevnt overfører vi 3D objektdata produsert fra FKB med CityGML. For lagring og prosessering bruker vi også den tilhørende 3DCityDB databasestrukturen.

CityGML er en GML applikasjonsprofil for 3D objekter, primært menneskelagde, men også naturlige. Den har et rikt utvalg av ferdigdefinerte objekttyper for bygninger, bruer, vegetasjon osv. og også en utvidelsesmekanisme for å håndtere brukerdefinerte objekter. CityGML bygger på GML 3, og benytter et subset av de geometrityper som finnes der. Nyeste versjon av CityGML er v3.0, og hovedforskjellene fra v2.0 er noe større vekt på utvidbarhet og bedre kompatibilitet med BIM systemer og dynamiske data.

3DCityDB er en databasestruktur som støtter CityGML datamodellen og har de samme ferdigdefinerte datatyper og utvidelsesmuligheter som CityGML. Nyeste versjon av 3DCityDB er v5.0 (fra mars -25), og denne støtter også CityGML v3.0.

Ved overgangen til v5.0 har databasestrukturene blitt sterkt omskrevet, med vekt på forenkling og utvidbarhet. Mens v4 databasestrukturen totalt hadde 66 tabeller, med forskjellige tabeller for individuelle datatyper (f.eks. 8 av disse til forskjellige objekttyper relatert til bruer). Så har nå v5 17 tabeller der hoveddelen av strukturen ligger i tabellene "feature", "property" og "geometry_data".

Tabellen "feature" inneholder nå den mest fundamentale informasjon om et objekt, som objekttype, gyldighetstidsintervall, id og boundingbox. Alle andre egenskaper som temakoder, geometri, assosiasjoner til tilknyttede objekter og eierskap til delobjekter er håndtert av et en-til-mange forhold til "property" tabellen. Der en egenskap består av geometri så vil igjen "property" tabellen referer til "geometry_data" tabellen.

I 3DCityDB v4 og tidligere var all geometri lagret som enkeltpolygoner, med en databaserad per delflate. Volumer og sammensatte flater ble implementert som en hierarkisk struktur av databaserader. For objekter oppdelt i mange små flater (ruter eller triangles) så ble dette svært ressurskrevende og v5 lagrer nå alle delflater i ett multipolygon. Siden modellen for volumer og sammensatte flater ikke samsvarer en-til-en i hhv GML og PostGIS så er geometrien supplert med en json struktur som gir ytterligere informasjon om geometri-hierarkiet og gir delflatene individuelle IDer for referanse til separat styling informasjon..

Vår erfaring fra de tester vi har gjort så langt er at v5 gir en økning i ytelse, og muligheter for en betydelig forenkling av SQL kall for søk i databasen.

6.2.4 Visning i Cesium

Cesium er et rammeverk for 3D-visualisering av globale geografiske data. Klientprogrammet er open-source og dataformatene er dokumentert, publisert og tildels overdratt til standardiseringsorganisasjoner som Kronos og OGC.

Vi har utviklet en 3D-tiles service som henter geometri fra en 3DCityDB, bygger opp visualiseringsnære datastrukturer og mellomlagrer disse i en meget hurtig binærdata-database. Servicen leser nå de vanligste datatyper i 3DCityDb, og kan utvides for å håndtere mer spesielle.

6.2.5 Import av BIM

BIM-modeller på Ifc-format importeres inn i liknende 3DCityDb-struktur som den landsdekkende modellen, men denne gang uten å gå veien om CityGML. Geografiske objekter bygges direkte opp i databasen, og er straks etter tilgjengelig for visning i Cesium.

Ifc har gode muligheter for å georeferere modellene, men blir sjeldent satt opp korrekt av arkitektene, antakelig ut fra manglende kunnskap om disse mekanismene og teorien bak dem. Vi har derfor lagt inn heuristikker for å tolke koordinatsysteminformasjon "i beste mening", og med brukergrensesnitt for å falle tilbake til en manuell innpassing.

BIM-modeller kan inneholde geometrier av stor kompleksitet, og de vil utfordre ytelsen i systemet. Så langt ser vi at omhyggelig optimalisering av grafikkstrukturer og styring av synligheten til grafikkdetaljer avhjelper dette og gjør det mulig å vise store 3D-modeller på rimelige sluttbrukermaskiner. Den forbedrede grafikkstrukturen i 3DCityDb v5 er forventet å gi ytterligere ytelsesforbedringer i databaseoperasjonene.

6.2.6 Utfordringer med datasettet

En utfordring med dagens modell er å knytte relevante geometrier til hver bygning som det skal lages 3D-modeller for. Bygningspunktet og bygningsflaten gjør at vi kan gjøre enkle geografiske analyser for å hente ut linjegeometrier som overlapper eller er nær bygningen, men særlig i tettbygde strøk er det da en utfordring at geometrier fra tilstøtende bygg også kommer med. Disse må lukes ut fra genereringen, og fører i en del tilfeller til feil på de ferdige modellene.

En grunnleggende utfordring med at datasettet er basert på 2,5D er at det er krevende å jobbe med "innhugg" og bygningsformer der veggene ikke fører helt ned til bakken. Bygninger der taket strekker seg ut over bygningens grunnflate, for eksempel ved skrånende vegger eller arkader, ender opp med for stort areal på bakkeplan. Det er i dag rom i FKB for å legge inn arkader og portrom, men dette krever andre metoder for registrering enn fra flyfoto og det oppleves stor variasjon i hvor godt disse er kartlagt.

Det finnes gode open source kodebibliotek for en del av analysene som er nødvendig for å bygge 3D-modeller, men de er i liten grad tilpasset for 2,5D-datasett. Høydeverdier kan tas med og behandles, men er i varierende grad hensyntatt i algoritmer for avstandsberegning, for å finne skjæringspunkt mellom linjer og så videre.

6.3 Norconsult

6.3.1 Produkt

Norconsult Digital har i mange år benyttet 3D-data i sine produkt som er produsert på ulike måter der FKB-Bygning har vært en av datakildene.

Her kan nevnes ISY GIS 3D som bruker TerraExplorer 3D Pro. Denne har også en Web-viewer Skyline Globe Server, som benyttes som en komponent i webløsninger som ISY Map. ISY GIS 3D støtter en rekke formater og har funksjonalitet for presentasjon, avanserte analyser, konstruksjon og VR-modeller.

Vi viser også 3D-data i vår web-løsning ISY Havn.

I vår løsning for integrasjon mellom eByggesak og Matrikkelen tolker vi en BIM-modell (IFC) dersom det finnes i eByggesak. Dersom det finnes matrikkel-informasjon i BIM-modellen trekker vi ut av bygningsinfo og tiltaksgeometri.

6.3.2 Produksjon

Vi jobber for tiden med å lage et landsdekkende 3D datasett basert på FKB datasett, Bygning og Terreng.

Målet er å lage en rask og best mulig 3D-modell basert på dagens datagrunnlag.

Vi benytter ulike OpenSource bibliotek for dette som bl.a. *NetTopologySuite* og *SharpGLTF*.

Vi produserer 3d-tiles versjon 1.1 med implisitt tiling.

Vår rutine forsøker først å koble sammen det den kan av objekttyper. Så kjøres en "cycle detection"-algoritme for å finne takflatene. Deretter lages vegger som vi trekker ned enten mot terreng eller mot 0. Til slutt trianguleres flatene for produksjon av glb-filer.

Det finnes muligheter for å legge egenskaper på 3D-objektene, og stile med ulike farger basert på dette.

Målet er at det landsdekkende 3D datasettet skal synkroniseres og oppdateres fra FKB-Bygning via geosynkronisering.

6.3.3 Utfordringer

FKB-Bygning krever en del preparering for å få et tilfredsstillende resultat.

Her har vi utviklet programvare for å automatisere prosessen, og for å veilede brukeren der brukeren selv kan rette opp i data via visualisering av feil.

Objekttypen Bygningslinje skaper en del utfordringer, ser ut til at denne er brukt der man ikke helt vet hva som skal registreres. Generelt unøyaktigheter på cm-nivå er litt problematisk, her bruker vi buffer-verdier.

6.3.4 Annet

Vi har litt tro på at LIDAR-skanning kan supplere FKB-Bygning 2.5 D i typisk bystrøk og mener dette bør utredes nærmere. Dette kan gjøre at man kan få et høyere LOD-nivå på data for f.eks. fasader.

Vi støtter det Trondheim kommune sier: «*Sånn sett kan en bygnings 3D-/volummodell bare være en ekstra geometrikolonne i tabellen FKB-Bygning.*»

7 Erfaringer og behov i kommunene

7.1 Bodø kommune

Bodø kommune har tatt 3D-kart aktivt i bruk i saksbehandling og analyser siste 3 år. Det er først og fremst brukt i plansaker og til en del overflateanalyser som overvannsavrenning. I slike analyser er ikke bygg viktige.

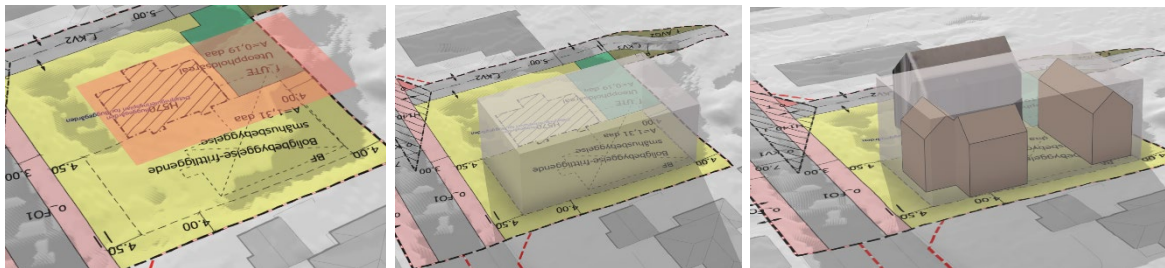
Bodø kommune har 3D-modellen i ArcGIS Online. Vi kjøper 3D-bygg som tjeneste fra Geodata AS. Vi henter også høydemodell og bakgrunnskart fra Geodata sin Geodataonline-plattform.

Vi krever 3d-modell i alle plansaker. Denne blir levert når planen skal på høring. 3d-modellen skal være på IFC-format og være georeferert. Dette lykkes konsulentene stort sett med.

Vi setter opp 3D-klienter med en sammenstilling av nasjonale 3d-tenester og prosjektspesifikke bygningsmodeller.

Vi lager «klosser» av byggegrensene i planforslag for å illustrere mulighetsrommet i reguleringsplanen. Dette kan være nyttig tilleggsinformasjon sammen med BIM-modellene fra utbygger. Dersom vi ønsker visualisering av bygningsvolum før vi har mottatt BIM-filer kan vi lage disse som enkle klosser av høydebærende bygningsfotavtrykk.

Figur 16 viser prosessen med å lage mulighetsrom fra plandata i versjon 4.5.



Figur 16. Prosessen med å lage mulighetsrom fra plandata i versjon 4.5. Fra venstre: Areal av byggegrense med kotehøyde. Midten: Lage volum av arealet. Til høyre: Sette inn forslag til nye bygninger.

IFC-filer vi mottar fra konsulenter kan være svært ulike i struktur. Vi har et ønske om å bruke de på samme måte som Bergen kommune, og vise arealformål fordelt på etasjer med mer. Dette er ikke alltid like enkelt å få til, da innholdet i modellene er lite standardisert. Denne mangelen på standardisering er også ei utfordring for å lage enklere importrutiner og på å hente ut potensialet i en BIM-modell. Vi er kjent med standarden for byggesaks-BIM, men vi opplever ikke at planleggere / utbyggere benytter seg av denne, i alle fall ikke på planstadiet av ei mulig utbygging. Figur 17 viser eksempler på bygninger fra ulike kilder.

Nyttige muligheter i våre 3D-modeller er sol-skyggeanalyser på det tidspunktet vi måtte ønske, stor gjenkjennbarhet sammenligna med 2D-kart, mulighet for å lage siktlinjer eller siktsektorer og se påvirkning på disse med nye bygg. Det er også enkelt å lage høydeprofiler som i praksis blir et snitt der en ser både nye og eksisterende bygninger



Figur 17. Eksempel på kombinasjon av bygninger generert fra FKB (Geodata 3-bygg-teneste), BIM-modell fra utbygger (lys brun) og sol/skyggevisning i 3d-klient

Figur 18 viser utfordringer med tolkning av FKB til bygg (Geodata 3D-bygg). Nr 1, til venstre, er egentlig en radarkuppel. For nr 2, går veien gjennom bygget via en ark. Dette er beskrevet i FKB, men blir som regel ikke fanga opp. Figur 19 viser faktisk situasjon i bilde fra Google StreetView.



Figur 18. Eksempler på utfordringer med tolkning av unormale bygg



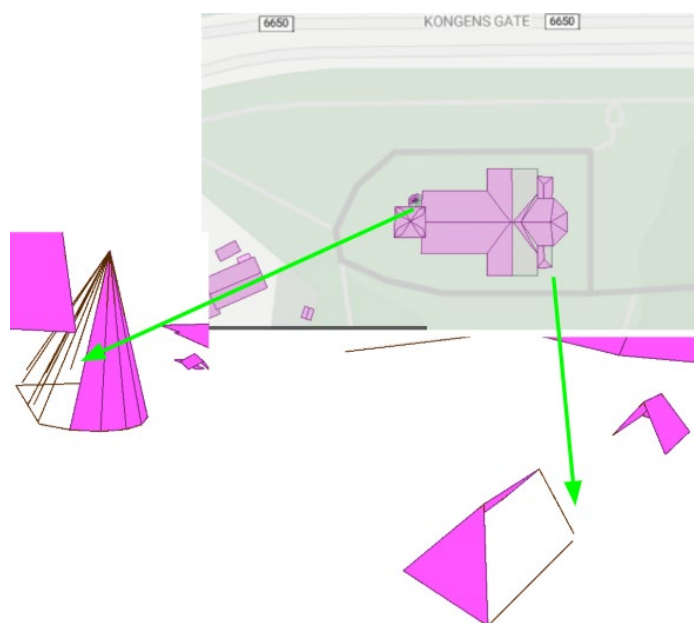
Figur 19. Faktisk situasjon fra Google StreetView

Av ting vi holder på med i dag, som kanskje skiller oss fra andre, er at vi blant annet igjen er i gang med 3D-print, men nå i mindre skala, med mer moderne, mindre og rimeligere printer. Printerene krever såkalt vanntette modeller. Slike modeller er nyttige også til en rekke andre ting, som analyse av vind, nedbør og vannavrenning. En egenskap slike "matematisk lukkede" modeller har, er at i tillegg til å definere et lukket skall som 3D-printeren kan fylle med støttegeometri, definerer skallet også et 3D-rom som kan ekskluderes fra større rom, som ved analyse av vind og vann, men også analyse mot objekter fra 3D plan, som mulighetsrom og bevaringsområder i 3D. Hvor mye av volumet utnyttes? Hvor stort volum er utenfor lovlig område?

Dette er en viktig egenskap som bør vurderes i en ny standard, enten dette blir FKB eller noe annet. Konseptet volumgeometri bør omfatte begrepet vanntette modeller, solids eller non-manifold og contiguous geometri.

Produksjonsløypa vår tar utgangspunkt i flatene som oppstår når linjegeometrien i FKB-Bygning stemples inn i bygningspolygonet, som pepperkakeformer i pepperkakedeig. I 2D grenser da hver "takdel" mot den linjegeometrien som utgjør flatas omriss i 3D, og disse linjene benyttes til å lage 3D-flata. Med avrunding av desimaler og litt konservativ snapping av nodene i linjegeometrien, for å bøte på de enkleste topologifeilene, vil resultatet bli bra der det ikke er grove topologifeil i dataene. Dessverre er det mange slike feil, og hovedproblemene vi ser, er de samme som Åsmund Hegnars FKB-sjekk avdekker; linjestykker som ender i løse lufta. Om linjedata i FKB-Bygning hadde vært bedre "sammensveiset", ville utgangspunktet for gode FKB 3D-tak vært mye bedre.

Figur 22 viser eksempler på generering av takflater etter kun koordinat-avrunding og snapping. Manglene der 3D-flater ikke blir dannet er ofte åpenbare.



Figur 22. Eksempler på manglende flater

I tilfellet til høyre i Figur 22 viser inspeksjon av linjene at taksprang bunn (øverste linje) skulle endt i samme punkt som takkanten under. Dette er en case som kan legges til rutinen, slik at åpningen tettes og 3D-flate blir riktig dannet. Men, neste gang casen oppstår, kan det være at motsatt tilfelle er korrekt; takkant må flyttes til taksprang bunn. Resultatet blir fortsatt at 3D-flaten genereres, men geometrien ble rettet på feil måte. Derfor gjør vi kun dette ved generering av 3D-tak for å unngå hull i modellen. Vi skriver ikke rettingen tilbake i FKB-basen.

Her har nok andre mye mer robuste løyper enn oss, men én fordel med å ta utgangspunkt i tak som allerede er delt inn etter pepperkakemetoden, er at selv om vi mislykkes med å danne 3D-flate etter å ha kjørt igjennom alle predefinerte caser, har vi fortsatt takdelen som flate i 2D. Vi gir da flata en høydeverdi fra median eller gjennomsnittet av flatas

avgrensning i DOM. Resultatet blir bra dersom takdelen i virkeligheten er flat, mens for skråtak ser det ikke like bra ut. Uansett ender vi opp med et komplett tak, der vi kan "extrudere" alle takdelene om til solids, som vi deretter kan løse opp i hverandre for å danne en vanntett bygningsmodell.

Vi lager også 3D-volumobjekter fra andre FKB-data, som hekk, gjerde og vegdekkekant. Disse gir en viss dybde i en 3D-modell, som vist i Figur 23.



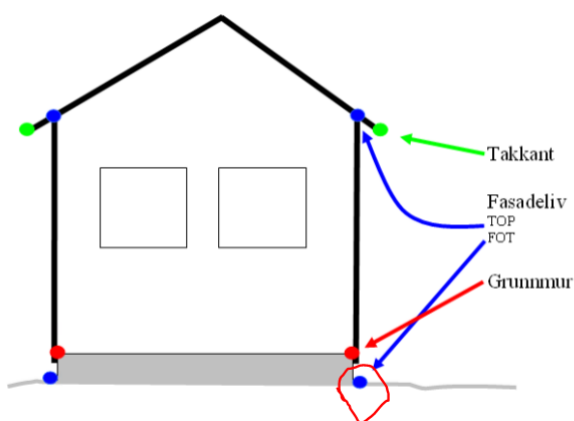
Figur 23. Eksempler på andre volumobjekter enn bygning

7.2.2 Supplering av data

Vi bestilte kartlegging av FKB Fasadeliv ved kartlegging i Granåsen i Trondheim i 2024. Fasadelivet har stor verdi for en 3D FKB-bygningsmodell, siden den plasserer yttervegger på riktig plass, i motsetning til rett ned fra takkanten, som er vanlig ellers. Våre data har registrering i FOT, som kan brukes som byggets terrenghøyde (se Figur 24).

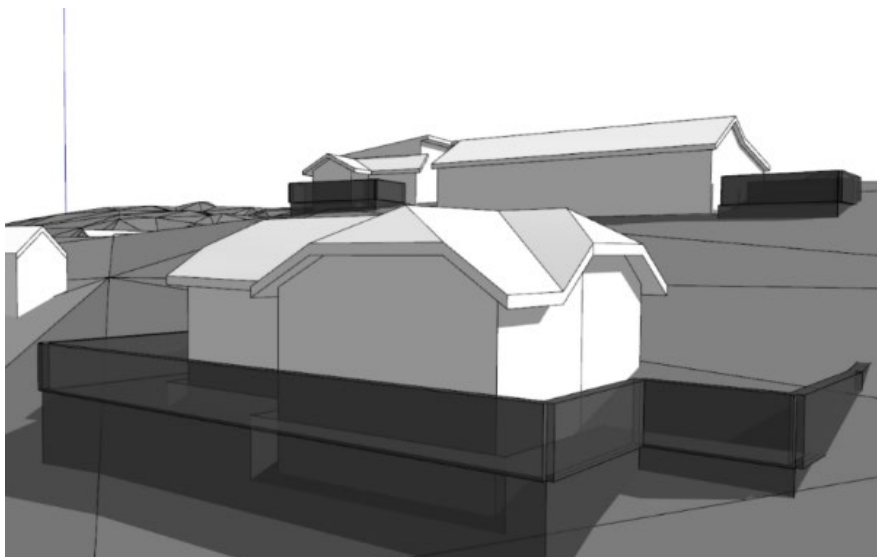
Registreringsinstruks
FKB-Bygning 5.0

24



Figur 24. Registrering av fasadeliv

I vår leveranse kom fasadeliv som lukkede omriss, som vi klippte mot takene fra egen løype. "Innerdelen" ble extrudert ned som vegger, mens det uklipte taket ble extrudert ned noen cm, for å gi taket tykkelse (se Figur 25).



Figur 25. 3D-objekt med fasadeliv

7.2.3 Fremtidig 3D FKB

For internasjonal relevans, bør forvaltning av bygningsmodeller ha en grenseflate mot CityGML. Dette er f.eks. formatet academia forholder seg til ved utveksling av slike data. I praksis brukes kanskje CityDB for enklere datahåndtering. 3D-data kan også lagres i databaser som geometritype polyhedralsurface på flatenivå, og som en geometry collection av slike på modellnivå. Sånn sett kan en bygnings 3D-/volummodell bare være en ekstra geometrikolonne i tabellen FKB-Bygning. I dag inndelt i bygningsnummer.

7.2.4 Definisjon på hva som er en bygning

Det er i dag ikke samsvar en-til-en mellom en fysisk bygning slik den fremstår i virkeligheten, og hvordan den er gjengitt i FKB. Oppklipping i bygningsnummer for FKB er unødvendig, gjelder bare vertikalt, og i forhold til 3D stykkes geometrien opp. Takkanten til langsiden på et rekkehus bør i 3D være én rett linje mellom to hushjørner, ikke en serie linjer som er klippet mot inndeling i bygningsnummer. En bygnings indre oppdeling kan håndteres i matrikkelen, der grenseflaten mot romlig inndeling i f.eks. BIM er mer nærliggende, og behovet for romlige objekter er til stede. I en digital tvilling vil det være kunstig å splitte vertikaldelte rekkehus i flere deler, når det fysiske bygningsobjektet oppleves som ett sammenhengende objekt, uavhengig av hvor mange bruksenheter som er innenfor bygningen.

7.3 Bergen kommune

7.3.1 Bruk av 3D-datasett

Bergen kommune har i de siste årene tatt i bruk 3D-datasett som verktøy i både planlegging og saksbehandling særlig i Plan- og bygningsetaten. Men også i andre etater, som Bergen vann og Etat for bygg og eiendom bruker nå 3D-programvare aktivt. BIM-modeller av planforslag settes inn i 3D-kart, der disse skal vurderes i sammenheng med eksisterende bebyggelse og landskap. Dette krever at grunnkartdataene er nøyaktige og pålitelige også i 3D. Særlig er det viktig at bygninger fungerer godt i 3D.

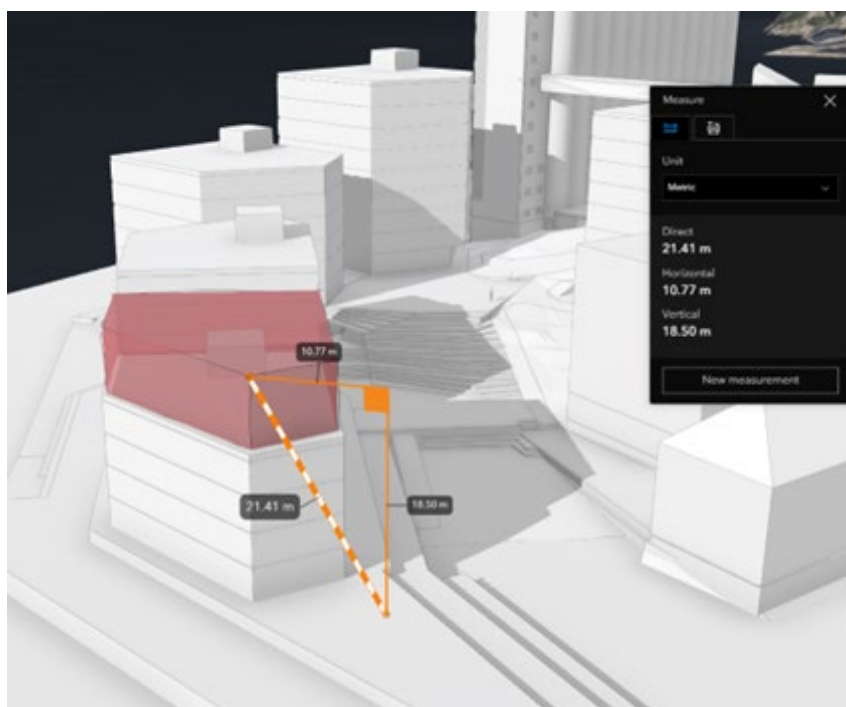


Figur 26. Fargelegging av 3Dbygg basert på arealbruk pr etasje. F.eks. Gult er boligetasjer og blått er næringsetasjer.

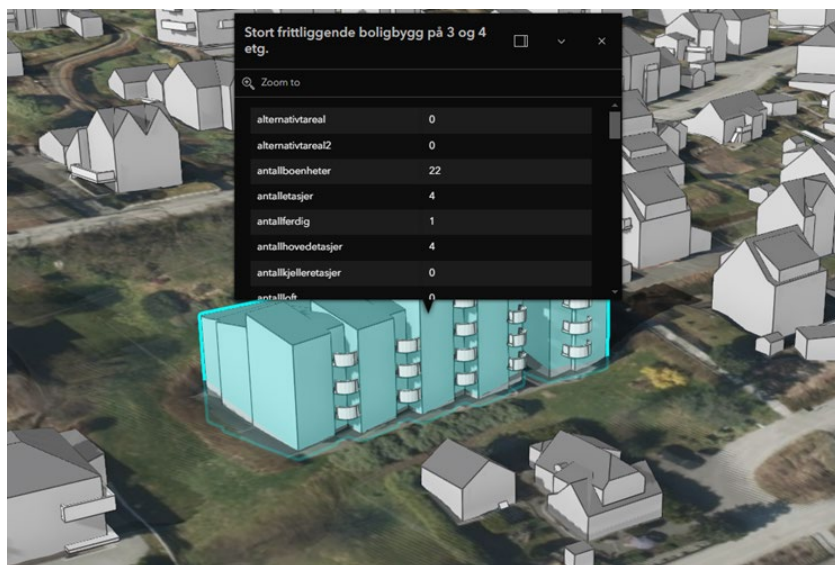
Vi ser stor nytte i å kunne bruke egenskapsinformasjon på bygningsvolumene som angir arealbruk/arealformål per etasje til å fargelegge byggene, som vist i Figur 26. Formidling av et planforslag på denne måten til både saksbehandlere, politikere og publikum generelt, gir en langt enklere forståelse for hva et planforslag innebærer enn å skulle tolke 2D-plankart, bestemmelser og hundrevis, og ofte tusenvis, av sider med plandokumenter.

Til saksbehandlingen er det viktig at selve geometrien er nøyaktig på et nivå som tillater pålitelige solskygge-analyser, og måling av byggehøyder og byggelinjer. Planforslagene, som sendes til oss som IFC-modeller, skal kunne sammenlignes med eksisterende bebyggelse med slike analyser.

I dag er særlig innholdstjenesten "GeosceneBygning" en viktig brikke i vår bruk av volumgeometri i våre 3D-modeller, som tilrettelegges i ArcGIS Online. Denne type tjeneste gjør at vi selv slipper å bruke mye tid på å klargjøre kartdata til bruk i våre 3D-modeller. Byggvolumene inneholder også attributtinformasjon, hovedsakelig matrikkelinformasjon, som bl.a. angir bygningstype, antall etasjer, boliger, osv.



Figur 27. Måling av byggehøyder, og vurdering av solskygger



Figur 28. Matrikkelinformasjon i "GeosceneBygning".

7.3.2 Ønsker for videre utvikling

7.3.2.1 Detaljering i oppdeling av bygninger

Muligheten til å kunne ha attributtinformasjon på volumgeometrien er sånn sett veldig nyttig. Et ønske for videre utvikling av dagens tilbud er at denne informasjonen kan fordeles på en mer finmasket voluminndeling. Det vil si at blokker, som i Figur 28, kunne vært inndelt mer både vertikalt og i inndeling per etasje. Dette kunne muliggjort objektinformasjon på etasjenivå. På sikt kunne en slik utvikling lagt grunnlaget for en videreutvikling av matrikkelen i 3D.

7.3.2.2 Forbedring av geometri

Det merkes at 3D bygg basert på FKB-data får bedre og bedre kvalitet. Det er færre geometrifeil nå enn bare for få år siden. Samtidig er det fortsatt rom for forbedringer. Signalbygg, som kirker, er viktige å få riktig, men har også ofte kompleks geometri. Figur 29 viser Johanneskirken i Bergen, som har fått mye bedre gjengivelse i 3D i det siste.

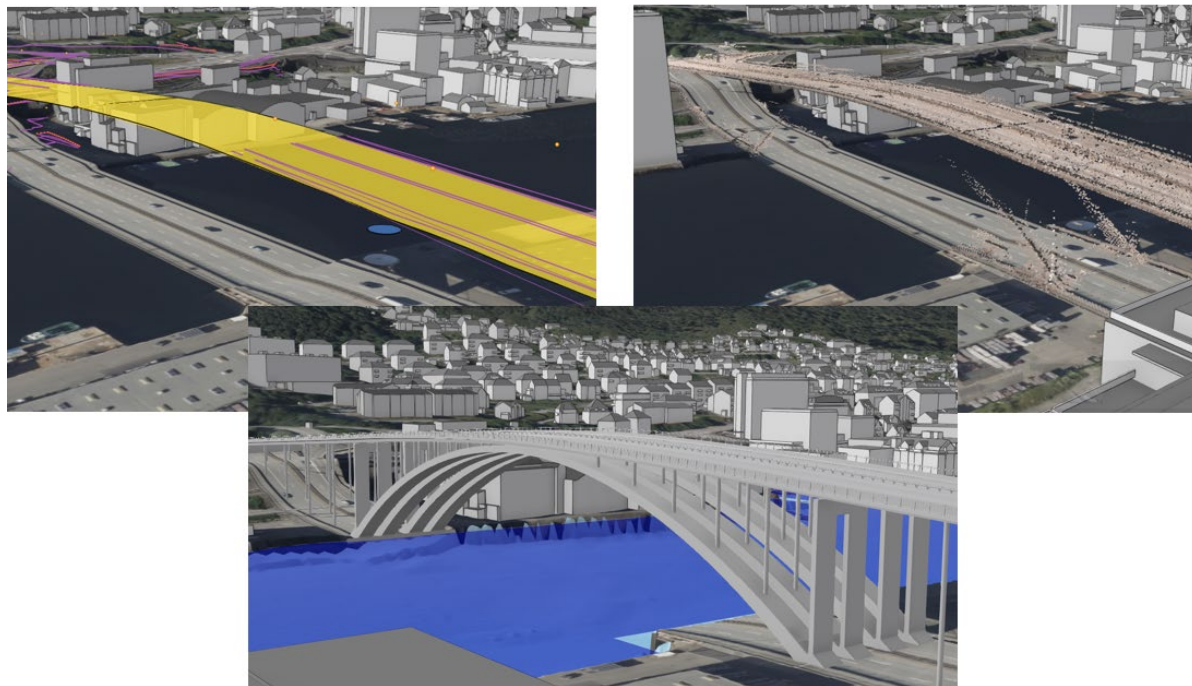


Figur 29. Johanneskirken i Bergen

Kompleks bebyggelse i særlig tettere byområder har ofte geometrifeil. Dette gjelder både eldre «påbygg»-bebyggelse, men også moderne arkitektur kan ha uvanlige former, som det virker som kan gi utfordringer i genereringen av volumgeometrien.

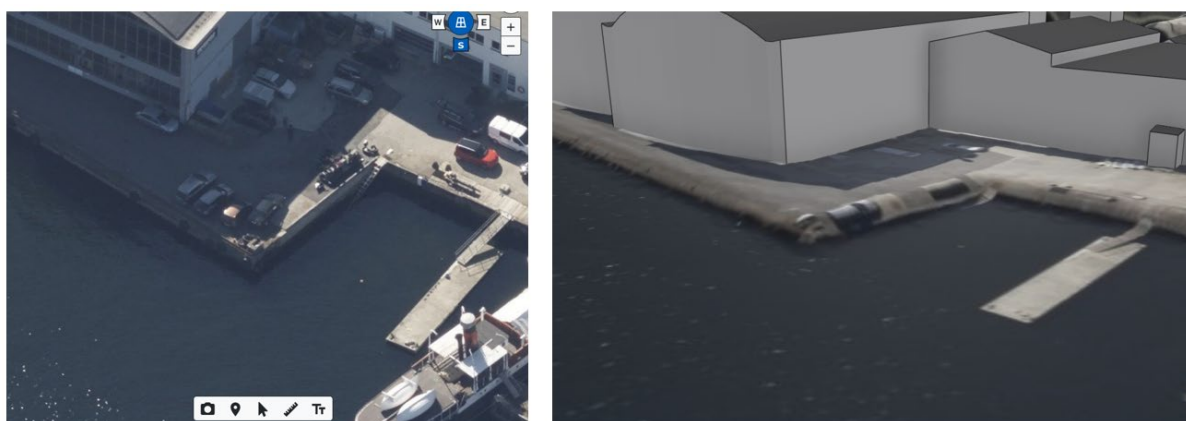
7.3.2.3 Andre typer objekt

Broer har ofte mangelfull volumgeometri i dag. Dette er store konstruksjoner, som vi burde hatt på plass i 3D-modellene våre. I dag har vi dem hovedsakelig som flater (broens topp) og som punktskyer. Vi skulle gjerne hatt dem som mer nøyaktig volumgeometri.



Figur 30. Ulike versjoner av Puddefjordsbroen i Bergen kommune.

Sjøfronten er et annet område det hadde vært interessant å se om det er potensiale til å bruke volumgeometri bedre enn i dag. Havneområder med kaikanter gjengis i dag i 3D-modellene våre som en del av terrengmodellen. Det er ikke optimalt å gjengi så skarpe kanter i høyderaster.



Figur 31. Kaikant i terrengmodellen gir en lite optimal gjengivelse av situasjonen i 3D.

7.4 Stavanger kommune

7.4.1 Bymodellen

Bymodellen er en digital tvilling av Stavanger kommune som brukes i byplanleggingen. Den er noe annerledes enn de fleste andre kommuners 3D-modell ved at vi har valgt å bruke spillmotor fremfor et tilpasset 3D-kart på nett. Dette er et aktivt valg for å ha mulighet til å vise frem en hel kommune med så mye data vi ønsker, vist sømløst i høy kvalitet ved hjelp av LOD fra spillmotoren.



Figur 32. Bymodellen gir et helhetlig bilde av byen.

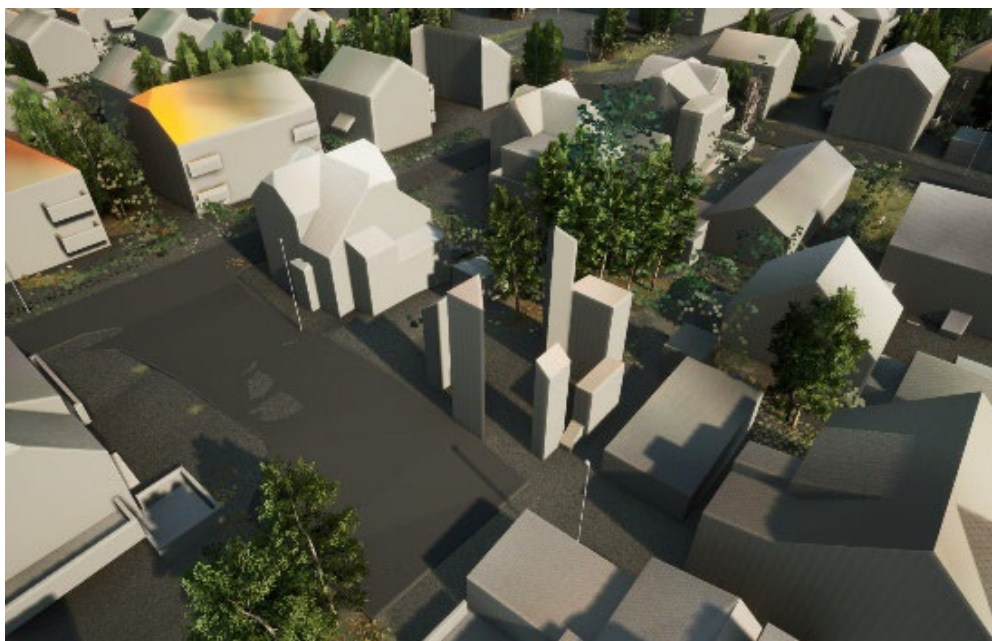
I modellen kan man fly høyt over byen og få et helhetlig overblikk, f.eks. av fjernvirkningen av et nytt høyt bygg, se på en støyanalyse eller se på siktlinjer. Når man har gjort det kan man fly helt ned på bakkenivå og se på hvordan skyggene fra en ny bebyggelse vil påvirke eksisterende bebyggelse, om det tar utsikten fra noen eller om det passer inn med det generelle uttrykket i byen.

Bymodellen blir utviklet i spillmotoren Unreal Engine og man kan anse den som en endestasjon for alle data vi har og mottar, enten det er 3D-modeller, punktskyer, sensordata, analyser eller andre typer data. Den gir så brukeren mulighet til å se på disse dataene på en unik måte som ikke er mulig f.eks. i et vanlig 2D-kart, et Excel-ark eller en tegning.

Det er også mulig å generere både flotte filmer og bilder av det man ser som så kan brukes ut mot innbyggerne og den er i dag motoren for generering av film til nye planer som skal til politisk behandling. Det jobbes også med en nettløsning for å komme på lik linje med andre kommuner når det gjelder å tilgjengeliggjøre modellen ut til innbyggere og andre interesser.

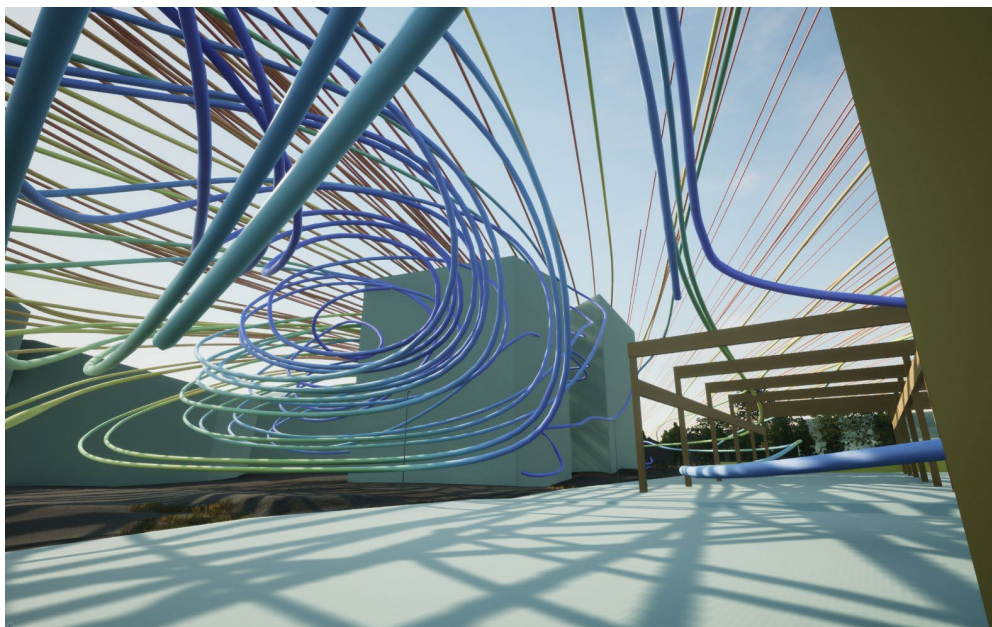
7.4.2 Problembygg

På lik linje med veldig mange andre, er de automatisk genererte byggene fra FKB-bygg til tider ganske så dårlige. Alle nye planer blir levert som IFC-filer, og er av høy kvalitet, men den generelle byggmassen i kommunen er fortsatt fremstilt fra FKB-bygg basen. Dette påvirker mye, men som vist i eksemplet under, vil det både påvirke det visuelle, men også f.eks. siktlinjer når det er relevant.



Figur 33. Automatisk generert bygg fra FKB-Bygg har ikke blitt tegnet korrekt.

Disse byggene må også da bygges opp på ny for å få gode vindanalyser av området. En klage fra de som utfører vindanalyse er at bygg ikke alltid er «tette», nemlig at det er mye hull mellom tak og fasade, eller at bygg har falt helt sammen, som ble vist over. Det må da manuelt genereres enkle bokser inne byggene for å få vindanalysen til å bli korrekt. Vi i Stavanger kommune har også en presentasjon i 3D av slike vindanalyser, gjennom noe som kalles «ribbons», og det blir da veldig tydelig når, bygg ikke har de korrekte egenskapene for å gjennomføre en slik analyse korrekt.



Figur 34. Eksempel på visning av vindanalyse gjennom "ribbons" i bymodellen.

I tillegg brukes de automatisk genererte byggene også til analyse av sol/skygge. Her vil det være veldig stor forskjell på resultater når man ikke får generert opp geometrien korrekt. Oftest er dette mer komplekse bygg med overlappende takflater, gjerne på flere nivåer, men også ofte i manglende kobling og sammenstilling av Z-verdi på takflate.



Figur 35. Eksempel på sol/skygge analyse hvor et bygg ikke er korrekt i 3D.

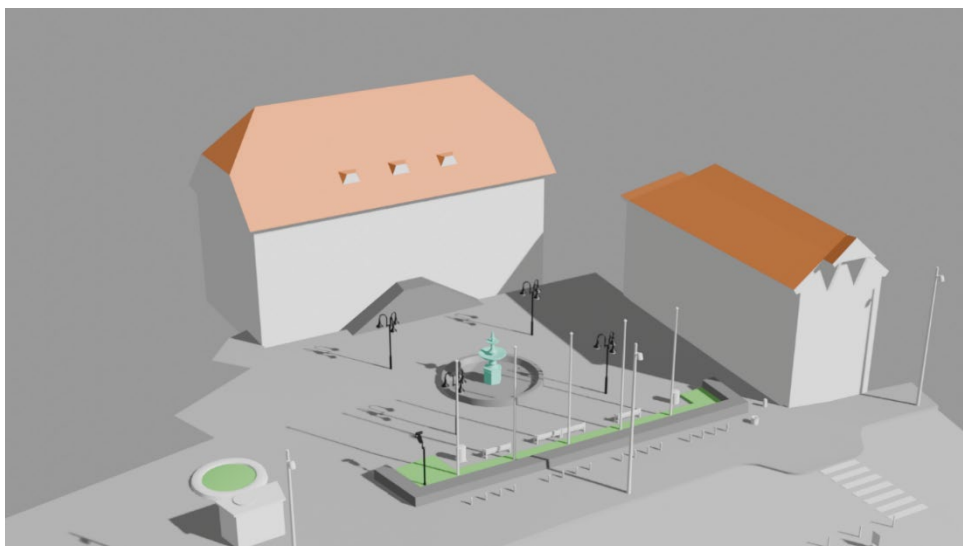
7.4.3 Fasadeliv

Et ønske fra Stavanger kommune, for å få et mer korrekt bilde av bygg er mer info om fasadeliv. Med lite endringer på standard slik den foreligger i dag kan vi greie inkludere informasjon om fasadelivet, særlig med skråfoto. Dette er enten informasjon som må ligge på fasadelivet eller at det ligger som en egenskap på takkant om hvor langt inn fasadelivet ligger på de forskjellige sidene. Med små justeringer blir byggene med en gang mer korrekt både visuelt, men også volumet til bygget som er enda viktigere. Under kan du se et eksempelbygg for slik det er i dag fra automatisk generering av 3D fra FKB-Bygg.



Figur 36. FKB-Bygg etter automatisk generering.

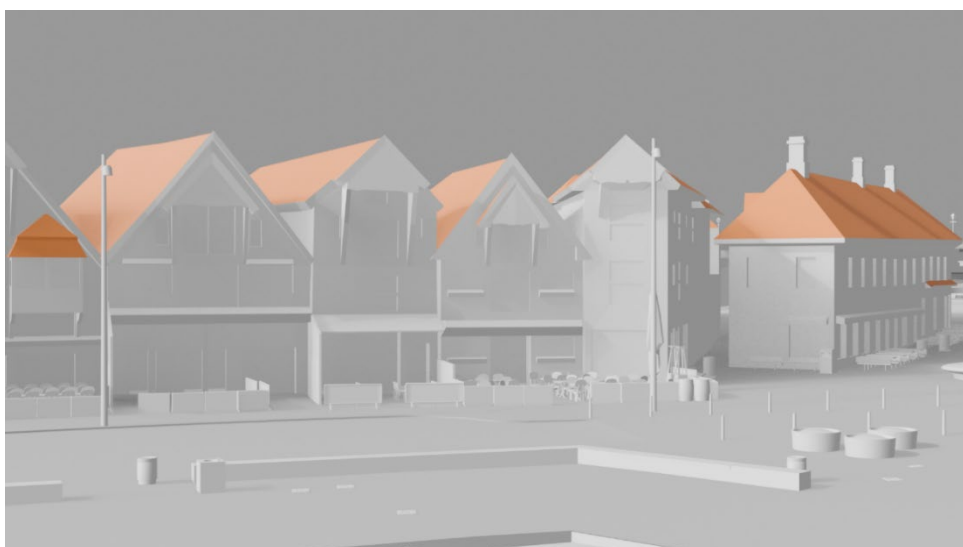
Metoden vi i hovedsak bruker for å justere på dette er i dag både manuell og tidkrevende, da vi bruker punktsky fra bakkeskanner til å sørge for at byggene blir korrekt. Her er det fasadelivet som blir trukket inn sammenlignet med tidligere, mens takkant forblir mye lik den er i dag, men kan inkludere litt mer informasjon om tykkelse og utforming. Det gir som sagt et mye mer nøyaktig bilde for eksempel analyser for vind og volum på bygg når fasadelivet er mer i tråd med virkeligheten.



Figur 37. Manuelt justert takkant og fasadeliv til bymodellen.

7.4.4 «Ønskebygg» og signalbygg

Et korrekt bygg består derimot av mye mer enn bare tak og vegger. Selv om det per i dag er noe utfordrende å alle detaljene inn gjennom ortofoto, har vi valgt å gå steget lengre i mange områder. Et såkalt «ønskebygg» for oss vil være et korrekt bygg med rett takflate og fasade, men også de andre detaljene inkludert, som vinduer, dører og pipe. Av disse er nok pipe det vi er nærmest, hvor man kan få det inn gjennom opsjon på kartlegging i dag. Denne tanken har vi trukket videre og jobber i dag med å få områder av høy interesse opp til ønsket standard, ved bruk av samme metode som tidligere nevnt, men også modellering ut fra bilder, som vist under.



Figur 38. "Ønskebygg" i Stavanger sentrum.

I tillegg har man også ganske mange «signalbygg» i en by, hvor det både er landemerker folk navigerer etter, men også ofte en viktig del av det visuelle uttrykket man må ta hensyn til i sammenheng med for eksempel en ny plan. Slik som Valbergårnet i sentrum, som nesten alltid kan synes fra alle planer og er av stor verdi for regionen på mange nivåer. Når den presenteres rett ut fra dagens metode for å generere bygg, så forsvinner mye konteksten rundt slike bygg, som vist under.



Figur 39. Valbergtårnet som vist etter automatisk generering.

Hvis man derimot legger litt tid og flid i slike signalbygg, så tar de mer plass i bybildet, slik de faktisk gjør i virkeligheten. Dette tror vi vil øke både forståelsen av nye planer, gjennom gjenkjennelsesverdi, bygget er mer korrekt i forhold til analyser og ikke minst at man tar vare på noe av det historiske preget til byen, selv i den digitale verden.

Dette er derimot ofte bygg som er veldig vanskelige å danne automatisk, som for eksempel kirker, men selv enkle signalbygg, som vist her, er faktisk mye mer komplekse enn det man får frem. Dette er derimot bygg som vi uansett regner som en manuell jobb, og de vil bli lagt til etter prioritering, uten at vi nødvendigvis tenker at en forbedring av geometri vil endre noe på måten vi laget disse byggene på i dag.



Figur 40. Valbergtårnet som opparbeidet signalbygg.

7.4.5 Fokus rundt bygg fremover

Fokuset fra vår side vil være på å videreutvikle bymodellen, særlig med modellering av viktige områder i byen, inkludert signalbygg, med detaljer som fasadeliv og piper. Håpet er at en felles standard kan hjelpe i dette arbeidet og at vi ikke trenger å lage så mye

manuelt eller egne automatiserte løyper med stor feilmargin. Siden vi er i en situasjon hvor mer detaljer ikke kommer på bekostning av området vi kan vise, så er det veldig viktig at dette er en økning av grunndataene og at vi til slutt kan få en bygg-base som er tilnærmet lik det vi faktisk ser ute i virkeligheten. Hvis vi får til det vil vi bevare byens visuelle uttrykk, forbedre forståelsen av nye planer og få langt mer nøyaktige analyser, samt gjøre det hele mer gjenkjennelig for folk flest.

7.5 Oslo kommune

7.5.1 Bruk av bygninger i 3D i Plan- og Bygningsetaten (PBE)

7.5.1.1 Bruksområder

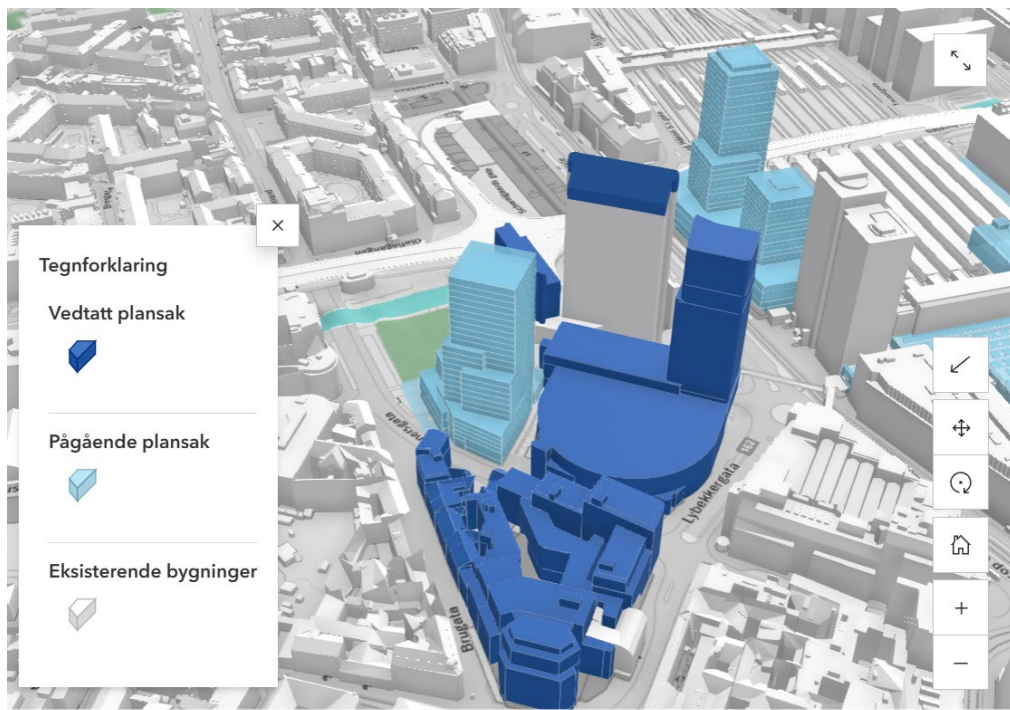
I PBE i Oslo kommune har vi brukt 3D-modeller av bygg til å lage en bymodell, lage fysiske og digitale bymodeller til planforslag, sol skygge analyser, og det siste året vindanalyser. Bruksområdene krever forskjellige egenskaper ved bygningsmodellene, men først og fremst at volumene er vanntette (for fysisk printing og vindanalyse), og at de er korrekte (til riktig visuell representasjon i plansaker og bymodell).

7.5.1.2 3D-modeller av planforslag

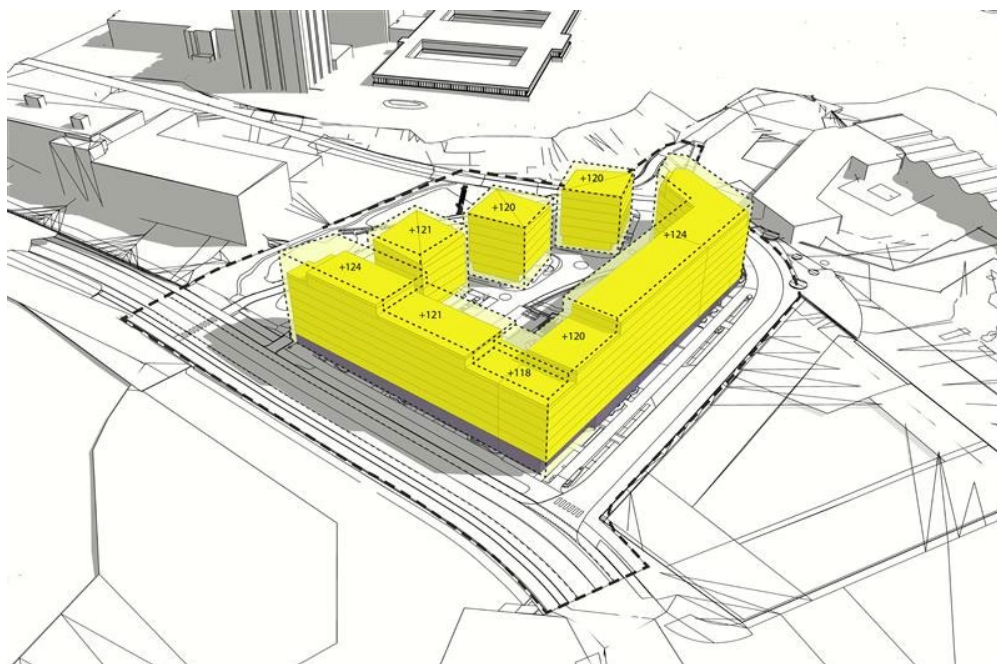
For planforslag produseres det 3D-modeller som tegnes av egne 3D/2D-illustratører og arkitekter i avdeling for planer, enten i saksbehandlingen av egne planer eller alternativer som PBE foreslår til innsendte planforslag (se eksempel i Figur 41 og Figur 42). Spesielt broer og andre kompliserte konstruksjoner har mangelfull geometri og må konstrueres på nytt. Mulighetsrom for planområdet belyses også sammen med slike 3D-modeller.

Både modeller som tegnes av PBE og mottas fra forslagsstiller lagres i forbindelse med de enkelte prosjektene. Det finnes ingen faste rutiner for lagring og forvaltning, og nye versjoner kan enten overskrive tidligere versjoner eller lagres som separate filer.

Avdeling planer produserer også tredimensjonale volumstudier og illustrasjoner av bl.a. fjern- og nærvirkningsperspektiver, som per nå ikke deles utad.



Figur 41. Eksempel på 3D-visualisering av planforslag. Kilde: Bo Peng



Figur 42. Eksempel på 3D-visualisering av planforslag. Kilde: Bo Peng

7.5.2 Data som produseres av aktører utenfor etaten

7.5.2.1 Detaljerte 3D-modeller til byggesak

BIM-modeller er 3D-modeller av bygg i høy detaljeringsgrad. PBE produserer ikke BIM-modeller i dag, men er lovpålagt å ta imot dem som dokumentasjon i byggesøknader jf. §5-5 av Byggesaksforskriften (SAK10) med veiledning som sier at

«BIM, bygningsinformasjonsmodell, kan helt eller delvis være et alternativ til tegningsmateriale. BIM-filen må være lagret i et åpent internasjonalt format og presentasjon av geometri og objektene må kunne gjøres i et fritt tilgjengelig program.»

Det er mulig å levere BIM-modeller av omsøkte tiltak til PBE i dagens løsninger, men omfanget er foreløpig lite. PBE har ingen rutine for å motta, dokumentere eller bruke disse i saksbehandling.

7.5.2.2 3D-modeller og BIM-modeller i innsendte planforslag og byggesak

Innsendte 3D-modeller som del av saksbehandlingen er ofte et uttrekk av forslagsstilleren sin BIM-modell. Disse BIM-modellene er forslagsstillernes egne detaljerte arbeidsmodeller, som inneholder all informasjon om byggets oppbygging, fra ventilasjonssystem til armeringsjern og brannørspesifikasjoner. Hvordan disse modellene mottas og lagres i PBE beskrives i lenger ned i dette kapitlet.

7.5.2.3 3D-bygninger i Geodata Online (Geodata AS)

Etaten bruker en tjeneste fra Geodata AS som leverer eksisterende 3D-bygninger. Tjenesten kommer fra et eksternt datavarehus (Geodata Online) som PBE, sammen med 15 andre etater og bydeler, abonnerer på. Kostnaden fordeles mellom medlemmene av denne gruppa. Kostnaden på tjenestene fra Geodata Online øker med bruken, i dag betaler vi det midterste av tre trinn. Det er planlagt anbudsprosess for disse tjenestene i 2025.

Det at det er en tjeneste, og ikke et statisk datasett, betyr at dataene oppdateres kort tid etter en endring er gjort i FKB. Det betyr også at alle kan jobbe med samme data, ikke en lokal og utdatert kopi. Dataene kan brukes i flere typer programvare. Andre fordeler med denne type tjenester er at produksjon, oppdatering, feilretting og lagring av data håndteres eksternt. PBE behøver ikke kjøpe verktøy for å konvertere grunnkartdata til 3D-volumer. PBE har heller ikke kostnader med oppdatering, lagring og «hosting» (være vertskap) av

tjenester. Slikt arbeid kan utgjøre et betydelig behov for ressurser. Bygninger fra nabokommunene er inkludert i tjenesten, som er viktig for visualisering.

7.5.3 Behov for volumgeometri for bygninger

7.5.3.1 Økt kvalitet i medvirkningsprosesser

Formidling av hva som er planlagt bygget i byen er enklere dersom man kan vise det som skal bygges i en 3D-modell, istedenfor i et plankart.

Dagens 3D-bygg er nyttig til å visualisere med etasjer og tilhørende boligformål, så det kommer tydelig frem hvilken del av bygget som er næring, bolig, skole, barnehage etc.

7.5.3.2 Redusere antall misforståelser i planlegging/saksbehandling

3D gir en realistisk visualisering av planer for utbygging. Tydeligere kommuniserte planer gir færre misforståelser og mindre arbeid på å rette opp i disse.

Det er søkt om midler til et pilotprosjekt gjennom SmartOslo sammen med Norkart, hvor man skal se på behovet for bruk av BIM i byggesøknad. Her er det planlagt å blant annet kartlegge kost-nytte av å ta imot 3D-modeller som en del av byggesøknad. Piloten skal undersøke om man kan gjøre automatisert validering av forslaget, utfylling av matrikkel og oppdatering av grunnkartet, gjennom bruk av BIM i byggesøknad.

For å kunne ha det beste situasjonsbildet i en sak er det viktig å få riktige data fra forslagsstillere. Mange av forslagsstillerne utarbeider sitt forslag som BIM-modeller før de sender forslaget til kommunen. Hvis kommunen klarer å bruke bygg som volumobjekter kan innsender slippe å redusere sin planleggingsmodell til 2D-kart. Mulighetsrommet for at feil gjøres i oversettelsen, eller at den som skal lese 2D-kartet gjør feil når det skal tolkes tilbake til en virkelighetsforståelse i 3D, vil bli mindre.

7.5.3.3 Forbedre BRA analyser basert på bygg

I dag kontrolleres BRA med FKB-bygg sin flategjengivning og eiendommens størrelse. Der bygget har takkant vil en slik kontroll avvike fra faktiske forhold ettersom bygningsomrisset blir laget ut fra takets utforming. En mer nøyaktig gjengivelse av bygningskroppen i 3D vil kunne gi høyere kvalitet på kontroll av BRA, siden den tar utgangspunkt i bygningskroppen.

8 Datainnsamling og forvaltning

8.1 Fotogrammetrisk datafangst for FKB-Bygning

Datafangst til FKB-Bygning finansieres og organiseres for de fleste kommuner gjennom Geovekst-samarbeidet (unntatt storkommunene Oslo, Bergen, Trondheim og Stavanger). Den dominerende datafangstmetoden er fotogrammetri med kartkonstruksjon basert på flybilder, der konstruksjonen utføres av private firmaer med underleverandører eller avdelinger i lavkostland.

Detaljer for fotogrammetrisk nykonstruksjon og ajourhold av FKB-Bygning er beskrevet i dokumentet «Registreringsinstruks: Fotogrammetrisk FKB-Bygning» [32].

I de fleste tilfeller utføres fotogrammetrisk ajourføring, som innebærer at firmaene får oversendt eksisterende data og kun kompletterer eller endrer på objekter som er endret i terrenget siden forrige kartlegging.

Ved mottak av data fra kartleggingsfirma utføres en kontroll av arbeidet som er utført før nye og endra data oppdateres inn i forvaltningsbasen. Her gjøres det en komplett maskinell teknisk kontroll av datakvaliteten og en manuell fullstendighetskontroll mot flybilder eller ortofoto. Det er også vanlig med stikkprøvekontroll på nøyaktighet og i noen tilfeller gjøres en mer komplett gjennomgang av utført kartkonstruksjon (grundig kartkontroll). Kontroll av hvordan de nye dataene lar seg bruke til å generere 3D-modeller er ikke en innarbeidet del av mottakskontrollen i dag.

8.2 3D-data fra byggesaksbehandling gjennom FKB-Tiltak

Det er godt etablerte systemer og rutiner for oppdatering av 2D bygningsomriss i FKB-Tiltak i forbindelse med byggesaksbehandlingen. Bygningsomrisset hentes (digitaliseres) her fra byggetegninger som leveres inn i byggesaken (se også kapittel 9).

FKB-Tiltak er i likhet med FKB-Bygning et 2.5D datasett og har begrensa muligheter for å uttrykke byggets form i 3D. Ved innføring av FKB-Tiltak 5.0 i 2023 ble det innført objekttype BygningKnekklinje (med assosiasjon fra BygningTiltak) med tanke på å gi mulighet til å beskrive takformen på nybygg. Disse mulighetene er ikke tatt i systematisk bruk.

Når bygningen får ferdigattest er etablert praksis i de fleste kommuner at bygningsomrisset overføres til FKB-Bygning (som 2D-geometri). Disse byggene ligger da uten høyde og med ukjent kvalitet i FKB-Bygning fram til neste periodiske kartlegging eller ajourføring.

DIBK har utviklet standarden ByggesaksBIM (se kapittel 9.2.1) som setter krav til hvilke elementer som skal inngå i en BIM-modell i forbindelse med byggesaksbehandling. Det har vært gjort mange testprosjekter/piloter på bruk av ByggesaksBIM, men fortsatt mangler det en systematisk dataflyt på BIM-modeller, inkludert en 3D-modell av bygningens skall som kan utnyttes til oppdatering av bygninger i 3D gjennom byggesaksbehandlingen.

Det ligger et stort potensial i å ta vare på 3D informasjon fra BIM-modeller gjennom byggesaksbehandlingen og inn i FKB-dataene. For å komme videre med dette trengs det:

- Klarere hjemmel for kommunene til å kreve at ByggesaksBIM leveres fra utbygger
- Bedre rutiner og kompetanse for utfylling av ByggesaksBIM fra utbygger/arkitekt. Spesielt er mangler i georeferering en vanlig utfordring. Kanskje bør også standarden revideres for å sette klarere krav?
- En datamodell for FKB-Tiltak som er bedre i stand til å ta vare på fullverdig 3D-informasjon fra ByggesaksBIM.

8.3 Utfordringer med FKB-Bygning som grunnlag for volumgeometri

8.3.1 Konseptuelle utfordringer

Selve konseptet med generering av volumobjekter basert på dagens 2.5D FKB-Bygning medfører noen utfordringer:

1) Begrensninger i hva slags volumobjekter som kan genereres

Logikken i datamodellen for FKB-Bygning er basert på at dataene sees fra lufta. Toppen av objektene registreres, og volumer genereres ved å projisere data ned på terrenget. Denne logikken gir en del begrensninger i hva slags volum-objekter som kan lages, og gjør det vanskelig (umulig) å:

- Lage volumer som inneholder overhengende bygningsdeler (karnapper ol.)
- Lage volumer i flere lag/nivåer, typisk boliger på toppen av kjøpesentre ol.
- Lage detaljerte 3D-modeller med elementer som dører/vinduer på vertikale flater (vegger).

2) Vanskelig å kontrollere at dataene gir gode 3D-modeller

Til tross for strenge kvalitetskrav i registreringsinstruksen kan det forekomme feilregistrering og avvik på nøyaktighet eller detaljering. Dette kan ha liten praktisk betydning for 2D-presentasjon, men gir en feil og mangler i volumgeometriene.

I og med at datafangsten av FKB-data – og kontrollen av denne datainnsamlingen - er basert på 2.5D er det vanskelig å oppdage feil i dataene som skaper problemer for senere bruk for å lage volumgeometrier. Verktøy og rutiner for kontroll av at dataene er egna for bruk i 3D kan forbedres, men så lenge det er 2.5D data som samles inn og forvaltes ligger det en grunnleggende utfordring i dette konseptet.

8.3.2 Praktiske utfordringer

Gitt dagens konsept er det flere utfordringer knyttet til å lage best mulige volumgeometrier. Det er mulig å i noen grad ytterligere forbedre denne produksjonsløypa ved å:

- Presisere eller justere produktspesifikasjon og registreringsinstrukser for hva som skal registreres i FKB-Bygning fotogrammetrisk.
- Forbedre nøyaktighet ved registrering - og rutiner for kontroll - av FKB-data.
- Ytterligere forbedre programvaren for generering av 3D fra FKB-Bygning.
- Benytte andre typer data (punktskyer fra LIDAR etc.) til støtte i prosessen med å generere 3D.

Punktene under peker på en del konkrete utfordringer i dagens prosess.

1) Nøsting av delflater som danner bygningsvolum

Bygningsflater fra FKB-Bygning har først og fremst som formål å angi utstrekning i 2D. For annet enn helt enkle bygninger, er det ikke nødvendigvis mulig å bruke bygningsflatene direkte som grunnlag for 3D-visning. De avgrensende kurvene er blant annet ikke garantert å danne en flate uten vertikale sprang, og for store bygninger vil takflaten gjerne inneholde komplekse delkonstruksjoner. I mange tilfeller må 3D-representasjonen bygges fra bunn, der det tas hensyn til objekter innenfor flateavgrensningen som mønelinjer og bygningslinjer, med den originale flategeometrien kun som kontroll for utstrekning i 2D.

En framgangsmåte for visning av FKB-Bygning i 3D er basert på ekstrudering av takflater ned mot bakkenivå. I denne sammenhengen kan det være hensiktsmessig med en oppdeling av en bygningens takflate i mest mulig plane delflater, der avgrensningskurvene er uten høydesprang i konnekterte endepunkter. Det kreves en del logikk og geometriske operasjoner og søk for å kalkulere delflater, og resultatet avhenger av datasettets

nøyaktighet og kompletthet. En bygning med et enkelt saltak og mønelinje vil eksempelvis kunne modelleres med to delflater separert av mønelinja. Beregning av delflater og bygningsvolum krever kjennskap til den geometriske relasjonen mellom objekttyper.

Ved beregning av delflater for en bygning er det enklest å forholde seg til avgrensningskurvenes endepunkter, noe som igjen fordrer at kurver ikke strekker seg forbi "naturlige" knutepunkt i datasettet. Det vil for eksempel si at en takkants forløp helst ikke strekker seg forbi endepunkt på tilstøtende mønelinjer.

Manglende kurver i datasettet, kurver som ikke kan konnekteres til andre (løse ender), eller kurver som ligger med feil høyde, kan føre til at delflater ikke kan nøstes og at bygningsvolum ikke kan beregnes korrekt. Unøyaktige koordinatverdier medfører at det er opp til utviklere å sette en erfaringsbasert toleranseverdi for å bestemme like koordinater (snapping). En konsekvens av dette er at ulike implementasjoner kan gi ulike resultat og kvalitet på 3D-modell, avhengig av valgt snappeverdi eller strategi for å håndtere manglende objekter.

Karnapper og utstikkende/nedsenkede takelementer som danner hull i andre takflater gir ekstra utfordringer, spesielt der det ikke er angitt med kurver/koordinater hvor slike konstruksjoner skjærer under- eller overliggende takflate. Mer konsekvent bruk av objekttypene TakSprangBunn og TakPlatåTopp i FKB-dataene vil kunne hjelpe på denne problemstillingen.

Fra og med FKB-Bygning 5.1 innføres assosiasjoner fra objekttypen Bygning til alle beskrivende bygningslinjer. Assosiasjoner kan/vil gi en pekepinn på hvilke kurver som skal inngå i volumberegning, i og med at bygningsobjektet kjenner sine bestanddeler. Dette reduserer behovet for geografiske søk og forhindrer at det feilaktig brukes kurver fra tilgrensende bygninger. Assosiasjoner løser foreløpig ikke hvordan geometri skal nøstes for å danne delflater etc.

2) Beregne hvor bygget treffer bakken

For å gi en brukbar 3D-representasjon av en bygning eller andre volumobjekter som ligger på bakkeplan er det nødvendig å bestemme en høydeverdi for hvor disse treffer bakken. Beregning av denne høydeverdien kan gjøres på ulike måter, for eksempel som gjennomsnitt, høyde i senterpunkt, laveste eller kombinasjon av laveste og høyeste høyde. Visuelt sett er det viktig å trekke denne verdien langt nok ned for å unngå svevende volumobjekter i skrått terreng, men det er som regel ikke ønskelig å trekke dem for langt under bakkenivå. Denne høydeverdien kan gi store utslag ved eventuell beregning av volum av bygninger, spesielt for bygninger med stort areal.

Beregning av hvor bygg treffer bakken medfører en del kompleksitet for produksjonsløypene som genererer volumobjekter. Det forutsetter at disse løypene inneholder en terrengmodell av tilstrekkelig kvalitet/nøyaktighet for å gi et fornuftig resultat.

8.4 Refleksjoner fra datainnsamlere

Field har deltatt aktivt i diskusjoner i forprosjektet, men har ikke hatt ledig kapasitet til å skrive egne refleksjoner. Hexagon, som det andre selskapet som skulle deltatt i prosjektet, måtte dessverre trekke seg av personlige årsaker på et tidlig tidspunkt. Dette kapittelet oppsummerer Field sine innspill fra diskusjoner i møtene i forprosjektet.

Field opererer i flere land og ser at Norge er i en særstilling i Europa med landsdekkende detaljerte vektordata etter en felles spesifisering. I andre nasjoner er det mye enkeltbyer som har detaljerte vektordata som kan brukes for volumrepresentasjon. Det er få, om noen, som har den muligheten Norge har for å avlede volumrepresentasjon fra 2,5D vektordata.

Allerede i det første 3D-utvalget i regi av Kartverket på starten av 2000-tallet var det fokusert mye på hvordan man skulle registrere ulike linjetyper slik at de kunne brukes til best mulig 3D-representasjon. Imidlertid viser erfaringer at uansett hvor detaljert man

gjør en FKB-innsamlingsinstruks vil det alltid være noen problemstillinger som ikke dekkes for å etablere volumgeometri. Dagens avledede volumrepresentasjoner er likevel gode nok for de fleste formål. Enkle bygg blir stort sett riktige, mens kompliserte bygg vil ha noe feil. For visualisering er det ofte viktigere at bygningene ser korrekte ut enn at de faktisk er helt korrekt.

Det er produsert mye data i henhold til dagens spesifikasjoner, og en eventuell omlegging til direkte konstruksjon av 3D-modeller vil være krevende og kostbart. Dette kan igjen føre til mindre kartlegging på grunn av høyere kostnader pr arealenhet. Field er derfor opptatt av at kravene til datainnsamling ikke må bli for strenge, og at man heller supplerer med andre kilder og tilleggsbestillinger for mindre områder for å forbedre 3D-representasjoner. Dagens spesifikasjoner er i stor grad dekkende for å samle data for generering av de fleste volumobjekter.

Av kjente utfordringer ser man at takflater ikke er trivielt i bygårder, der det er mange ulike flater som skal henge sammen. Delt geometri er også en utfordring. Av typiske feil som oppstår er manglende snapping mellom linjer trukket fram, der man som et eksempel har funnet flere tusen feil i Bærum kommune. Problemstillingen med små avvik mellom punkter langs takflater er også godt kjent, og ulike løsninger har vært diskutert. En mulighet er å låse høyden for første punkt, men det er mange tilfeller der heller ikke det er riktig.

Ved tilleggsbestillinger for utvalgte områder kan det gjennomføres mer detaljert datainnsamling og utvidet kontroll for perfektionering av 3D-modeller. Dette kan, for eksempel, omfatte lukking av takflater på bygårder og kompliserte bygg, større grad av kobling mellom linjer og bygg, tydeliggjøring av 3D-nivå for bygningslinjer og utvidet feilsøk etter manglende snapping og løse linjer. Dette vil da gjøres i en separat jobb etter den vanlige konstruksjonen, og det må være et målbart antall feil slik at tilbydere kan vurdere pris på rettinger.

Et eksempel på en forbedret modell for visualisering er Tallinn i Estland, der de har lagt på tekstur med høy detaljeringsgrad inne i gamlebyen. Dette er representasjoner som krever gatebilder eller mer generiske teksturer ut fra bygningstype. Skråfoto blir gjerne ikke godt nok.

Videre er det viktig at slike forbedrede 3D-modeller tas vare på framfor å regenereres massivt. Field mener også at det må velges et internasjonalt format for volumrepresentasjon, og da helst CityGML.

Field foreslår avslutningsvis at det kan gjennomføres et mindre testprosjekt med fokus på retting av typiske feil og mulige tilleggsregistreringer som er identifisert gjennom forprosjektet.

9 Data fra BIM og byggesøknader

9.1 Integrasjon mellom GIS og BIM

9.1.1 IFC og CityGML

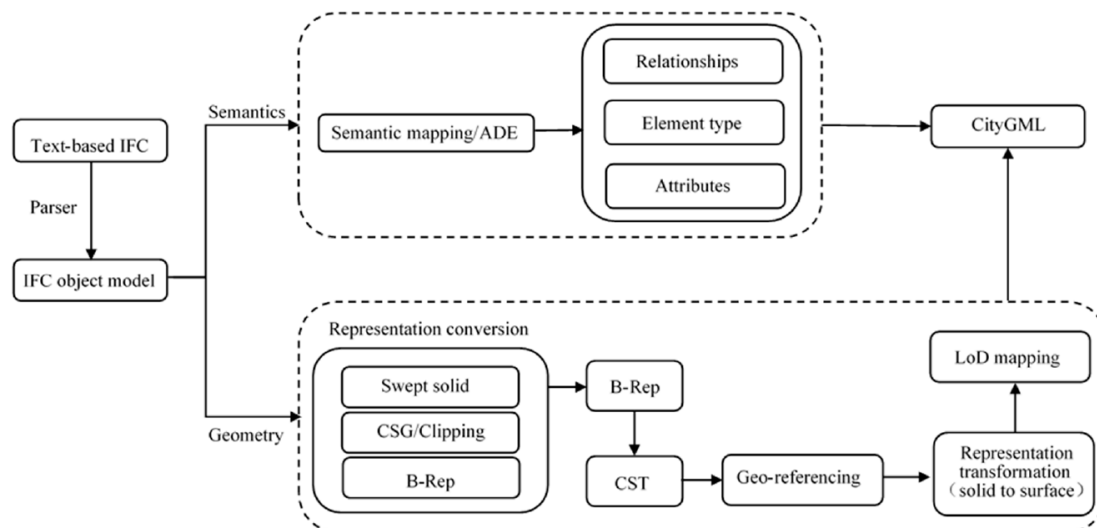
BIM brukes i dag for prosjektering og bygging av de fleste større byggverk. Dette omfatter både store bygninger som næringsbygg, leilighetsbygg, skoler og lignende, og større infrastrukturprosjekter. Byggverkene designes da digitalt i BIM-applikasjoner før de blir bygd. Data fra BIM-modeller er dermed en svært aktuell kilde for å etablere nye og endrede byggverk i geodatabaser, i stedet for å samle inn data på nytt gjennom egne prosesser.

De fleste BIM-applikasjoner bruker gjerne en intern proprietær modell, men modellene struktureres normalt i henhold til IFC og kan eksporteres til IFC-format. Samtidig er, som allerede omtalt, CityGML den dominerende spesifikasjonen for byggverk på GIS-siden. Dette betyr da at en overføring av digitale byggverk fra BIM til GIS i praksis betyr integrasjon mellom IFC og CityGML.

Det har vært stor aktivitet internasjonalt i mange år på å forbedre integrasjon mellom IFC og CityGML, i form av applikasjonsutvikling, forskningsprosjekter, samarbeid mellom interessenter og standardiseringsprosjekter. Spesialapplikasjoner som FME har integrert lesing og skriving av både IFC- og CityGML-formater, og har tilpassede løyper for å konvertere mellom strukturene. Tilsvarende har systemleverandører på både BIM- og GIS-siden implementert lesing av de to spesifikasjonenes implementasjonsformater for bruk i sine applikasjoner.

9.1.2 Utfordringer og muligheter

Utfordringer og muligheter knyttet til integrasjon mellom GIS og BIM har vært studert i en rekke forskningsprosjekter, med fokus på CityGML og IFC. En lang rekke artikler og avhandlinger har vært publisert, og mange peker på de samme utfordringene og mulighetene. En av de nyere artiklene som oppsummerer utfordringer og muligheter er Tan et al. fra 2023 [33]. De har illustrert konvertering mellom IFC og CityGML i Figur 43.



Figur 43. Konvertering fra IFC til CityGML. Fra [33].

Som det framgår av Figur 43 skiller man mellom konvertering av geometri (representasjonskonvertering) og konvertering av semantikk. Geometrikonverteringen omfatter konvertering av parametriske geometrier med fylte volum (swept solid og constructive solid) som typisk brukes for implisitte geometrier i IFC, til B-Rep-geometrier

(boundary representation) med overflaterepresentasjon, som benyttes i CityGML og andre GIS-baserte modeller.

Utover den rene geometrikonverteringen er også konvertering av LOD-nivå en sentral del av representasjonskonverteringen. IFC brukes for å designe og styre bygging av objekter, og beskriver normalt et byggverk langt mer detaljert enn tilfellet er i CityGML og andre GIS-spesifikasjoner. Mens et datasett basert på CityGML i grove trekk beskriver skallet til et byggverk, beskriver et IFC-datasett de enkelte konstruksjonselementene som bjelker, søyler og veggelementer som egne objekter med geometri, mens selve bygningsobjektet gjerne ikke har egen geometri. En konvertering av geometrier fra IFC til CityGML innebærer derfor en aggregering fra de detaljerte elementene til en overflategeometri på det valgte LOD-nivået.

Den semantiske konverteringen relaterer seg også til LOD-konverteringen, ved at det må tolkes hva de enkelte elementene i en IFC-modell tilsvarer i CityGML, og hvilke egenskaper som kan konverteres. På dette området er spesielt utvidelser av IFC i form av PropertySetDefinitions relevant. Disse kan benyttes for å knytte egenskaper til objektene, for senere overføring til FKB eller NVDB. Statens vegvesen har tilrettelagt filer for dette formålet for NVDB-objekter³¹.

9.1.3 Internasjonal standardisering på GIS og BIM

De to store aktørene OGC og buildingSMART International har gjennom en felles arbeidsgruppe utarbeidet en rapport om integrasjon mellom IFC, CityGML og OGC LandInfra [34]. Der peker de blant annet på utfordringene med ulike tilnærminger til hvordan virkeligheten modelleres, hvordan geometri representeres og hvilke begreper som brukes (semantiske utfordringer).

Videre er det etablert en felles arbeidsgruppe (JWG 14) mellom ISO/TC 59/SC 13³², som formaliserer IFC som ISO-standard, og ISO/TC 211³³, som utvikler standarder for geografisk informasjon. OGC og buildingSMART er også involvert i denne gruppen. JWG 14 tilstreber å utvikle standardiserte løsninger på utfordringene som har vært påvist gjennom forskningen og gjennom rapporten fra OGC og buildingSMART.

JWG 14 har flere fullførte eller pågående prosjekter som skal bedre integrasjonen mellom BIM og GIS:

- Den tekniske rapporten *ISO/TR 23262 - GIS (geospatial) / BIM interoperability* [35] identifiserer utfordringer og muligheter for bedre interoperabilitet mellom GIS og BIM, og anbefaler videre standardiseringsarbeid.
- *ISO/TR 16214 - Geospatial and BIM review of vocabularies* [36] sammenligner vokabularer og identifiserer likheter og ulikheter i de to fagområdene.
- *ISO/AWI 23143 Information exchange between BIM and GIS* er foreløpig startet med fire deler:
 - o *Part 1: Core principles and specifications* skal etablere generelle prinsipper for informasjonsutveksling mellom fagområdene.
 - o *Part 2: Facilitating data exchange through metadata* skal etablere prinsipper for å tilrettelegge informasjonsutveksling basert påmetadata.
 - o *Part 3: Linking abstract concepts in BIM and GIS standards* skal definere hvordan abstrakte konsepter fra standarder innen de to fagområdene kan kobles sammen for å støtte informasjonsutveksling. I første rekke vil dette omfatte abstrakte konsepter fra kjernedelen i IFC og fra flere ISO/TC 211-standarder.

³¹ <https://github.com/vegvesen/NVDB-Datakatalogen/tree/master/IFC-PSD>

³² <https://www.iso.org/committee/49180.html>

³³ <https://www.iso.org/committee/54904.html>

- *Part 4: Aligning geometric representations* skal definere sammenhenger mellom geometrityper fra standarder innen de to fagområdene. I første rekke vil dette omfatte geometrityper fra IFC og ISO 19107 (Spatial Schema).

9.1.4 SN/K 380-veileder for GIS og BIM

Standard Norge sin komite 380 (SN/K 380 – BIM-objekter for byggverk)³⁴ har etablert et prosjekt som skal resultere i en veileder for GIS og BIM. Kartverket er gitt ansvar for oppgaven, og en arbeidsgruppe med representanter fra byggherrer, rådgivende ingeniører, systemleverandører og andre har startet arbeidet. Veilederen skal blant annet hjelpe de som arbeider med BIM med å:

- Forstå prinsipper for stedfesting på jordoverflaten
- Stedfeste informasjon i BIM i samsvar med referanserammer brukt i GIS
- Kunne sette sammen data fra GIS korrekt i BIM
- Kunne levere data til GIS – i første rekke FKB, NVDB og Matrikkelen

Veilederen vil kunne bli et sentralt grunnlag for å sikre BIM-datasett som kan utnyttes for overføring av geometri og egenskaper for nye og endrede byggverk til geodatabaser.

9.1.5 Krav til georeferering i Norsk Standard NS 8360-1:2023

Standarden NS 8360-1:2023 (BIM-objekter for byggverk — Del 1: Modellpraksis, navngivning, typekoding og egenskaper) [37] stiller krav til hvordan objekter skal modelleres i BIM for bedret samhandling mellom aktører.

Enkelte av kravene er spesielt relevante for samhandling mellom GIS og BIM. I første rekke gjelder dette georeferering av byggverkene, der kapittel 6.1.3 stiller krav om at modeller skal georefereres. Informasjon om gjeldende koordinatreferansesystem i grunnriss og høyde, og plassering av modellens origo i dette systemet skal angis, og modellene skal være orientert i samsvar med koordinatreferansesystemet. Standarden beskriver hvordan georeferering skal utføres i henholdsvis IFC versjon 2x3 og 4, med eksempler.

9.2 Digitale byggesøknader

9.2.1 Krav og veileder for BIM i byggesak

Direktoratet for byggkvalitet (DIBK) utarbeidet for noen år siden et sett med krav (P13 [38]) med tilhørende veiledning og en validator for bruk av BIM som dokumentasjon i byggesaker³⁵. Den eksisterende versjonen av kravene er ganske enkel, og DIBK er nå i gang med å revidere materialet. Spesielt er det mangler angående krav til georeferering, noe som er avgjørende for effektiv utnyttelse av dataene for vedlikehold av geodatabaser. En ny versjon er forventet klar for høring høsten 2025, med endelig publisering forespeilet ved årsskiftet 2025/26. Den nye versjonen skal skrives som et maskinlesbart kravdokument som definerer hvordan IFC skal brukes, i henhold til buildingSMART International sin spesifikasjon Information Delivery Specification (IDS)³⁶.

Målsetningen på sikt er at BIM skal erstatte alle tegninger i byggesaker. Dette vil kunne gjøre det enklere for kommunene å visualisere byggene og å utføre maskinell kvalitetssikring opp mot krav i reguleringsplaner. Flere av systemleverandørene i forprosjektet har implementert lesing av BIM i løsninger tilrettelagt for kommunene. Imidlertid er tilbakemeldingen fra kommunene og systemleverandørene at det leveres svært lite BIM i byggesaker. Så lenge det ikke er krav om det, eller det er åpenbare gevinster for søker, er søkerne lite villige til å legge ned ekstra innsats i å modellere i

³⁴ <https://standard.no/standardisering/komiteer/komiteoversikt/snk-380/>

³⁵ <https://www.dibk.no/soknad-og-skjema/vil-du-bruke-bim-i-byggesoknaden>

³⁶ <https://technical.buildingsmart.org/projects/information-delivery-specification-ids/>

henhold til veilederen og utveksle BIM-modeller. Dette samsvarer også med funnene i en bacheloroppgave fra NTNU i 2022 [39].

En satsning fra DIBK sin side er derfor å finne ut hvordan de skal få fart på å få data inn. Et eksempel på mer aktiv bruk av BIM er Trondheim kommune, som har en tett dialog med Statsbygg og NTNU for utveksling av BIM i forbindelse med utbyggingen av campusområdet på Gløshaugen.

9.2.2 Europeiske prosjekter

Det EU Horizon-finansierte prosjektet «Change toolkit for digital building permit project» (CHEK)³⁷ har som mål å utvikle et sett med verktøy for digitalisering av byggesøknader med automatiserte kontroller. Gjennom prosjektet er det blant annet utviklet programvare for konvertering fra kompleks IFC-geometri til enhetlig representasjon av hele bygningen (dvs skallet) i henhold til CityGML (IFC to CityGML³⁸), og for hjelp med georeferering av IFC-filer (IFC Georeferencing³⁹).

Tilsvarende skal søsterprosjektet ACCORD⁴⁰ tilrettelegge for BIM-baserte digitale søknader og kontroller basert på semantisk web-teknologi. Også der er det utviklet programvare, med fokus på regelsjekk.

9.3 Data fra byggetegninger

Det er fremdeles en langt større mengde av byggetegninger som kommer inn i forbindelse med byggesaker enn det er BIM-modeller. De siste årene har det blitt jobbet med innovasjonsprosjekter knyttet til KI-basert uthenting av kart og matrikkeldata fra byggetegninger, blant annet gjennom en bacheloroppgave [40] tilknyttet KartAI-prosjektene⁴¹. Situasjonsplanen (kart med inntegnet tiltak) er en åpenbar gjenstand for digitalisering. Til tross for at situasjonsplanen i all hovedsak oppstår i presise digitale kartverktøy på søkersiden blir tiltaksgeometrien i stor grad redigitalisert ved godkjent byggesak og lagt inn i FKB-Tiltak. Bedre tilrettelagt dataflyt av digitale geometridata vil utløse effektivisering og raskere oppdatering av FKB-tiltak. Data fra situasjonsplan, fasadetegninger og snitt-tegninger er i tillegg gjenstand for å konstruere 3D-geometrier. Delprosjekter gjennom KartAI-prosjektene har utforsket og utviklet KI-teknologi og modeller som:

- a) Kategoriserer tegningstype
- b) Identifiserer og segmenterer ("tegner og måler") objekter i tegninger
- c) Ekstraherer informasjon fra byggetegninger

KartAI-prosjektene er fokusert primært på byggesaksbehandlingen. Dermed er uthenting av informasjonen rettet mot matrikkelmodellen og validering i ebyggesak. Spesielt segmenteringsmodellene kan ha en nyttig anvendelse for å konstruere flategeometri i 2D og 3D. Modellene er trent (fine-tuned) på plantegninger, men bør ha videre anvendelser på snitt/fasade. En utfordring vil være korrekt georeferering av objektene og sammenslåing av 2D-segmenterte flater til sammenhengende 3D-objekter. Samtidig er utviklingen av AI-teknologien svært lovende når det kommer til 3D-gjenskaping fra overlappende 2D-bilder. Teknologien og erfaringene fra KartAi-prosjektet er åpent tilgjengelig og vil være mulig å bygge videre på i eksperimenter knyttet til geometri/objekt-segmentering.

Figur 44 viser prosessen for tolkning av byggetegninger for å finne informasjon om arealer, type rom mm. Prosessen starter med segmentering av elementene, går videre med å hente

³⁷ <https://chekdbp.eu/>

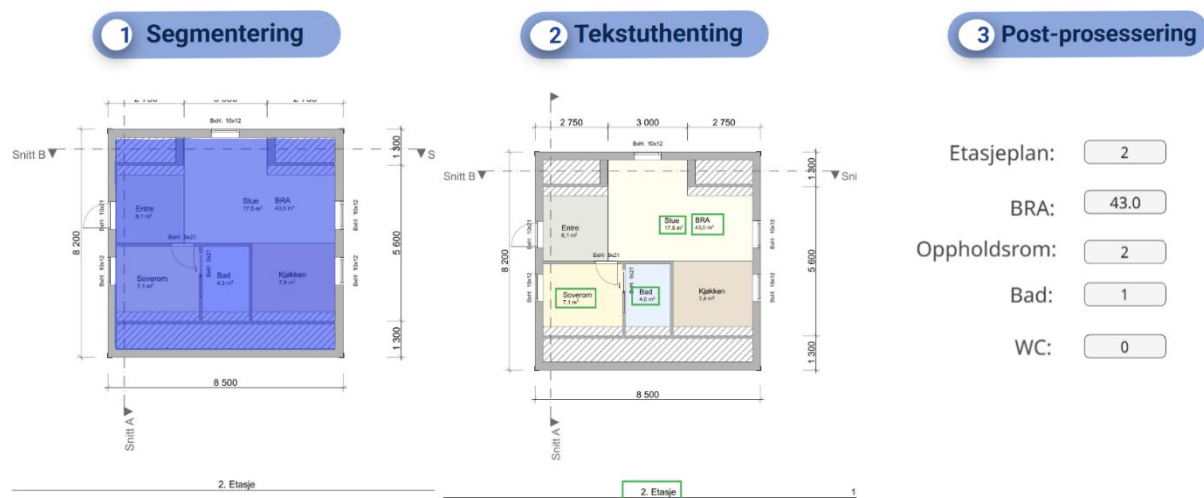
³⁸ https://github.com/jaspervdv/IFC_BuildingEnvExtractor

³⁹ <https://github.com/tudelft3d/ifcgreg>

⁴⁰ <https://accordproject.eu/>

⁴¹ <https://kartai.no/>

ut tekst, og avsluttes med en post-prosessering for kobling av resultatene til de endelige attributtene.



Figur 44. Prosessen for tolkning av byggetegninger.

10 Diskusjon

10.1 Bruksområder, behov og utfordringer

Gjennom forprosjektet er det samlet erfaringer fra kommunene og systemleverandørene om bruksområder, behov og utfordringer knyttet til datasett med volumgeometrier. Det hadde vært ønskelig å ha med flere brukere – og potensielle brukere – for å etablere et større kunnskapsgrunnlag, men på den andre siden er kommunene sannsynligvis representative for bruksområder og behov også for andre offentlige og private aktører, siden de har et bredt spekter av ansvar på lokalt nivå, der denne typen datasett er mest relevante.

Rapportene fra de involverte kommunene viser at de bruker både egenproduserte og kommersielle datasett. Datasettene er i all hovedsak generert fra FKB, men i noen tilfeller har kommunene supplert med ekstra datainnsamling og lagt ned ekstra innsats for å få bedre representasjon av bygningsdetaljer og fasadeliv.

Kommunene bruker datasettene aktivt både for (1) visualisering i saksbehandling og for (2) mer avanserte analyser på sol og skygge, sikt, vindforhold, overflatevann mm, samt 3D-printing. For begge disse gruppene av bruksområder fungerer dagens datasett relativt godt for flertallet av bygninger, mens det er noe utfordringer med representasjon av spesielle bygninger med mer kompleks geometri, slik som kirker og andre signalbygg.

For visualisering i 3D er det behov for mest mulig virkelighetstro representasjoner av bygninger. Her er de komplekse bygningsgeometriene spesielt utfordrende. Både de kommersielle leverandørene og kommunene selv har lagt ned mye tid i perfektionering av produksjonsløyper for slike bygg, og rapporterer om stadige forbedringer.

For bygninger generelt er det vist til flere mindre utfordringer for den visuelle bruken av generert volumgeometri:

- Takflater blir i noen tilfeller ikke helt flate, på grunn av mindre avvik i koordinater langs takkanter. Avvikene er innenfor toleransen for FKB, og blir først synlige ved 3D-representasjon.
- Detaljer på tak som ikke fanges opp i volumrepresentasjon på grunn av manglende knekklinjer eller takdeler. Dataene er oftest etablert i henhold til krav i FKB, men disse fanger ikke godt nok opp slike detaljer.
- Bygningene representeres generelt uten fasadeliv. I stedet går vegger rett ned fra takkant som en følge av data basert på standard FKB-kartlegging (LOD 2.2). Dette gir en mindre virkelighetstro gjengivelse av bygningene enn man kunne oppnådd med fasadeliv (LOD 2.3, ref. Figur 8).

For mer avanserte analyser på vindforhold og overflatevann er det avgjørende at volumgeometriene er tette. Her har flere erfart utfordringer med volumgeometrier som slipper inn vind eller vann i analysene. Dette gjelder både vanlige bygninger og de mer komplekse. Årsaken er manglende grunnlag for etablering av flater som basis for tette volumobjekter.

De nevnte utfordringene er viktige å ta med i betraktning for videre arbeid med etablering av datasett med volumgeometri.

10.2 Etablering av volumgeometrier

De norske datasettene med volumgeometri for bygninger (både fra offentlige og kommersielle aktører) er i hovedsak generert med basis i 2.5D vektordata fra FKB. Samtidig viser studiene av andre nasjoners arbeid med volumgeometrier at den mest brukte tilnærmingen for etablering av volumgeometri for bygninger er generering ut fra punktskyer, med støtte i fotavtrykk for identifisering og avgrensning.

Generering av volumgeometrier med gode resultater fra 2.5D FKB-data er mulig som følge av den svært detaljerte representasjon av bygningslinjer i FKB-Bygning. På dette området

står Norge i en særstilling sammenlignet med de andre nasjonene som har vært studert, der man i hovedsak har vektordata for enten fotavtrykk av fasade eller tak, og i liten grad detaljering av takets og fasadens utforming. De andre nasjonene har derfor ikke mulighet til å generere så detaljert geometri basert kun på vektordata. Tilsvarende er det mindre å hente ved å generere fra punktskyer i Norge, ettersom vektordataene allerede er etablert med svært god detaljering.

Likevel viser utfordringene som er nevnt i kapittel 10.1 at resultatene ikke blir gode nok for alle bygninger. Noen av utfordringene knyttet til representasjon av komplekse detaljer og feil eller manglende flater ville muligens kunne løses i noen grad ved generering med basis i punktskyer, men dette må i så fall testes mer. De begrensede testene som er gjort og inspeksjon av komplekse detaljer i andre nasjoners datasett viser at det er krevende å få optimale resultater ut fra punktskyer også.

Erfaringene fra andre nasjoner viser videre at de genererer volumgeometrier i stedet for å etablere dem som en del av vektordatasettene ved konstruksjon. På dette området er det også klare signaler fra aktørene i forprosjektet, som mener det vil være lite kostnadseffektivt å konstruere volumgeometrier som en del av datainnsamlingen for FKB. Det framstår derfor mest realistisk med periodisk genererte datasett med volumgeometrier, uavhengig av om de etableres fra vektordata eller punktsky.

Samtidig er det viktig å sikre at objekter som har forbedret geometrirepresentasjon fra manuell justering, direkte konstruksjon eller data fra andre kilder kan identifiseres og beholdes ved generering av nye datasett. Her vil objektorientert dataforvaltning med unik og persistent identifisering av objekter kunne spille en viktig rolle.

10.3 Offentlige eller kommersielle datasett

De øvrige nasjonene som har vært studert i forprosjektet har enten etablert eller ønsker å etablere offentlige datasett med volumgeometrier for bygninger. Flere av nasjonene har komplette datasett allerede, andre er i gang med etablering, mens noen avventer finansiering for å komme i gang.

I Norge genererer i dag de tre kommersielle leverandørene Geodata, Norkart og Norconsult hver sine datasett med volumgeometri for bygninger med utgangspunkt i FKB, og tilbyr til sine kunder. For Geovekstpartene og storkommunene sin del betyr dette at de kjøper tilgang til et produkt generert fra deres egne data, og samtidig gjør de seg avhengige av leverandørene for å få tilgang til datasettene de innarbeider i sine rutiner i kommunal saksbehandling og analyser. Men den ekstra kostnaden er også en investering i et datasett som har fått større verdi ved at det er etablert volumgeometrier slik at de faktisk kan brukes til visualisering og analyser. De kommersielt produserte datasettene ser ut til å fungere godt for de kommunene som har investert i tilgang til løsningene.

Samtidig har Norge et unikt offentlig og nasjonalt datasett gjennom FKB, og ideelt sett burde det også finnes offentlige datasett med volumgeometrier, finansiert gjennom Kartverket eller Geovekstpartene og storkommunene sine midler. Et offentlig datasett med et minimum av kvalitet ville gjøre det mulig for dataeiere å ta i bruk modellene i fri programvare uten større investeringer, noe som særlig ville være en fordel for småkommuner med begrensede budsjetter. Også andre aktører som studenter og apputviklere ville kunne ha nytte av en slik løsning, uten å være avhengig av tilgang gjennom bestemte systemleverandører.

En interessant tilnærming som benyttes i Danmark er at det offentlige (Klimadatastyrelsen) etablerer og forvalter et rent maskinelt generert datasett uten ekstra kvalitetsheving, men der kommunene kan velge å heve kvaliteten i sine kommuner – for enkeltbygg eller større områder. Dette sikrer et enkelt offentlig datasett som fungerer til noen bruksområder, samtidig som det gir kommunene muligheten for å sikre et kvalitetshevet datasett for detaljert visualisering og analyser, og i tillegg gir det de kommersielle aktørene mulighet til å selge tjenester til kommunene for kvalitetsheving. En slik løsning forutsetter en unik og persistent identifisering av hvert objekt, for å holde

kontroll på hvilke objekter som er manuelt forbedret og ikke skal genereres på nytt maskinelt.

I diskusjoner i prosjektet har dagens leverandører av volumdatasett stilt seg positive til et offentlig datasett som de kan gjøre ytterligere verdøkning på. Det forutsetter imidlertid at datasettet er på et nivå tilnærmet de datasettene de produserer i dag, ellers vil det være like enkelt for dem å fortsatt produsere etter dagens produksjonsløyper. Det har også vært poengtert at de har lagt ned mye arbeid i utvikling av dagens løyper, og at en offentlig produksjonsløype ville kreve tilsvarende utvikling.

Prosjektet har ikke hatt rammer for å gå inn i analyser av finansiering, kostnader og nytteverdier. Slike analyser vil være sentrale for vurdering av om man skal arbeide mot en etablering av offentlige datasett med volumgeometrier.

10.4 Datamodell for volumdatasett

Alle de tre kommersielle produsentene av datasett har basert seg på CityGML som struktur for bygninger med volumgeometri. Det samme gjelder så godt som alle de andre nasjonene som har kommet i gang med volumgeometrier. De har enten basert seg direkte på CityGML, laget en utvidelse i form av en ADE, eller laget sin egen modell med elementer fra CityGML. Også INSPIRE Buildings har en nær knytning til CityGML, med en spesifisert konverteringstabell. En fordel flere har framhevet med å basere seg på CityGML er at det er en internasjonal spesifisering, og at det er mye ferdig funksjonalitet tilgjengelig i applikasjoner for både tilrettelegging, lagring og bruk av data.

CityGML er imidlertid en stor og omfattende modell med mange muligheter. Det er derfor grunn til å anta at det kan være noe forskjeller mellom hvordan de enkelte leverandørene har brukt modellen. Det har ikke vært rom for å gå nærmere inn i analyser rundt dette i forprosjektet. For å sikre at brukerne av datasettene ikke er bundet til spesifikke leverandører kan det være behov for en norsk profil eller veileder for CityGML som alle kan følge. Dersom et offentlig datasett med volumgeometrier skal etableres vil det være spesielt viktig med en entydig bruk av CityGML med tanke på utveksling med de ulike systemene som skal bruke datasettet. Det kan også være aktuelt med en norsk ADE for å legge på egenskaper fra FKB på objektene.

Det har vært diskutert om FKB-modellen kan utvides til å omfatte volumrepresentasjon av bygninger. Dette vil være en aktuell tilnærming dersom volumgeometrier skal forvaltes sammen med FKB. Det vil imidlertid uansett være en fordel å basere en slik utvidelse på CityGML, med tanke på tilgang til funksjonalitet for bruk og vedlikehold av dataene.

10.5 Videreutvikling av FKB

Utfordringene med volumgeometrier generert fra FKB kan knyttes til flere aspekter ved selve konseptet med FKB-data. FKB var fra starten av et datasett for framstilling på 2D-kart, og har etter hvert utviklet seg til 2.5D som et grunnlag for generering av 3D. Likefult er fortsatt logikken i FKB-spesifikasjonene knyttet til massivinnsamling av data fra fly. Hva som registreres er basert på hva som kan sees fra lufta. Dette begrenser dermed muligheten for å registrere veggliv og annet som er under takets ytterkant, samt å registrere horisontale inndelinger. For å kunne samle slike data kreves enten skrå eller horisontal datainnsamling som supplerer, med det ekstra arbeidsomfanget og kostnadene det ville innebære.

Videre har utfordringen med volumer som ikke blir vind- og vanntette blitt omtalt flere ganger, og det samme gjelder flater som ikke blir plane på grunn av små variasjoner i punkter inne på en avgrensningslinje. For slike situasjoner er det ikke registreringsmetoden som er utfordringen, men heller i konseptet med at dataene samles inn for 2D-representasjon, mens 3D er et biprodukt. Dersom disse utfordringene skal løses må FKB-spesifikasjonen og registreringsinstruksen endres for å fokusere mer på 3D allerede ved dataetablering, noe som vil innebære registrering av flere detaljer, strengere toleransekrav for relativ posisjonsnøyaktighet og krav om etablering av delflater i

forbindelse med dataetablering. Også dette ville da medføre større arbeidsomfang og ekstra kostnader.

Flere av kommunene som har vært med i forprosjektet har på eget initiativ gjort tiltak for å forbedre datasettene gjennom supplerende dataregistrering. For å sikre at data fra slike initiativ ivaretas på en standardisert måte kan det være behov for å utvide FKB-spesifikasjonen for å sikre at alle aktuelle objekttyper er beskrevet, og da i første rekke detaljer som ikke er beskrevet i dag, samt nødvendige vertikale, horisontale og skrå flater. Så vil det være opp til aktørene som finansierer datainnsamling i det enkelte området hvorvidt de supplerende dataene skal etableres.

10.6 Data fra BIM og byggesøknader

Mens FKB-data tradisjonelt har vært samlet inn fra flyfotografering, og fortsatt har det som hovedkilde, er det andre muligheter for etablering av nye data for det bygde miljøet. BIM benyttes i økende grad ved bygging av infrastruktur og store bygg, og det ligger et stort potensial i å hente data fra BIM for etablering og vedlikehold av bygde objekter også i FKB og andre geodatabaser. Byggherrer og bestillere av infrastrukturprosjekter har lagt inn krav i sine kontrakter om leveranse av data som representerer det ferdige byggverket (som bygget-data).

For bygninger ligger det teoretisk sett store muligheter i å hente data fra BIM og byggesøknader for å få inn volumgeometri for nye og endrede bygg. Imidlertid viser både norske og internasjonale erfaringer at det foreløpig er et fåtall byggesøknader som leveres med BIM-modeller.

Tilsvarende er forskningen knyttet til automatisk tolkning av byggetegninger lovende for å hente inn geometri for bygninger uten BIM, men heller ikke denne framstår som moden enda. Det kan også stilles spørsmålstegn ved om tolkning av bildegjengivelser av allerede digitale tegninger er den ideelle framgangsmåten framfor å hente informasjon fra originaldataene.

Til tross for disse utfordringene er det viktig å jobbe videre med å stille krav og oppnå en bedre dataflyt mellom digitale byggesøknader og bygningsdatabaser. DIBK sin forespeilte reviderte veileder vil spille en sentral rolle her sammen med standarder som NS 8360-1, og det er også behov for å avklare kommunene sin hjemmel for å stille krav. I tillegg vil det være sentralt med videre arbeid med tilpassede egenskapssett i IFC (PSD-er) for å sikre at egenskaper som skal følge bygningene inn i FKB og Matrikkel registreres og kan overføres, på samme måte som man har gjort for NVDB for andre objekttyper.

Forskning på integrasjon mellom GIS og BIM framhever konvertering fra den detaljerte BIM-geometrien til den noe mer forenklede GIS-geometrien som en viktig utfordring. Samtidig er det også viktig å ivareta relasjonen mellom den fysiske bygningen (objektet) sin representasjon i geodatabaser og i BIM-modeller for drift og vedlikehold. På dette området vil videre arbeid med objektorientert dataforvaltning med unik og persistent identifisering av fysiske objekter være sentralt.

På samme måte som for FKB generelt kan det også være behov for videreutvikling av spesifikasjonen for FKB-Tiltak, som kommunene benytter for å legge inn nye bygg i FKB. Spesifikasjonen bør kunne ivareta de objekttyper og geometrier som kreves for å ta vare på geometrien fra en digital byggesøknad.

10.7 Andre datasett hvor volumgeometri er relevant

Diskusjonene i forprosjektet har primært vært fokusert på volumrepresentasjon av bygninger. Dette er naturlig, ettersom bygninger utgjør den mest dominerende delen av objekter som har en utstrekning over bakkenivå. Samtidig er det også andre objekttyper som bør framstilles med volumgeometri for å gi gode visualiseringer og analyser i tre dimensjoner.

I første rekke kommer andre objekttyper fra det bygde miljøet, i det som kalles bygningsmessige anlegg under FKB. Dette inkluderer, for eksempel markante objekttyper som:

- Bru, Kulvert, Tunnelportal, Pipe, Tank, Trapp, Tårn, Tribune, KaiBrygge, Demning, Molo

Men også mindre markante objekttyper kan være relevante for findetaljering av 3D-modeller fra både Bygningsmessige anlegg og Vegsituasjon, for eksempel:

- Skjerm, MurFrittstående, Vegrekkverk

I tillegg har flere andre nasjoner også eksperimentert med volumrepresentasjon av vegetasjon (trær og busker).

I denne sammenheng må det også nevnes at CityGML inneholder objekttyper for volumrepresentasjon av en rekke fysiske og abstrakte objekttyper, inkludert konstruksjoner og vegetasjon.

11 Anbefalinger

Ut fra diskusjoner og utredninger i forprosjektet og samlet vurdering i diskusjonsdelen av rapporten konkluderer forprosjektets deltakere med følgende anbefalinger:

Anbefaling 1: Volumgeometrier bør fortsatt etableres som avledet representasjon

Erfaringene fra forprosjektet er tydelige på at volumgeometri som avledet representasjon fra 2,5D vektordata og andre data er å foretrekke framfor direkte konstruksjon. Det framstår ikke å være kostnadseffektivt å legge om datainnsamling til å inkludere konstruksjon av volumgeometri. Unntaket her er data som kommer direkte fra byggeprosjekter (bygninger og infrastruktur), der volumgeometri kan høstes fra BIM.

Anbefaling 2: Gjennomfør et testprosjekt med fokus på retting av typiske feil og mulige tilleggsregistreringer

Forprosjektet har påvist en rekke svakheter med dagens FKB som grunnlag for generering av volumgeometrier, i form av både feil og mulige tilleggsregistreringer. Effekter og arbeidsomfang ved strengere kvalitetskontroller samt innsamling og etablering av et større datagrunnlag kan utredes gjennom et testprosjekt i et mindre område, inkludert testgenerering av volumrepresentasjoner. Dette vil danne grunnlag for videre arbeid med FKB og CityGML, inkludert vurdering av kostnader, nytteverdier og kapasitet. Det anbefales at Geovekst-forum setter i gang videre utredninger for innhold og omfang i et slikt prosjekt.

Anbefaling 3: FKB bør videreutvikles med fokus på data som kreves for å avlede volumgeometri

Erfaringene fra et testprosjekt (anbefaling 2) bør danne grunnlag for videreutvikling av FKB for å sikre et best mulig datagrunnlag for å kunne avlede volumgeometrier. En slik videreutvikling vil inkludere nye objekttyper som skal registreres, nye avledede objekttyper som skal konstrueres, strengere kvalitetskrav mm.

Anbefaling 4: En entydig bruk av CityGML bør være basis for datasett med volumgeometri

Erfaringene fra forprosjektet er tydelige på at CityGML er den foretrukne modellen for denne type data. CityGML er imidlertid en stor og kompleks spesifisering, og for å sikre en entydig bruk bør det utarbeides en norsk veileder og muligens også en norsk profil basert på erfaringer fra dagens bruk og fra testprosjektet (anbefaling 2). Dette vil sikre interoperabilitet mellom dagens leverandører, og spesielt mellom et framtidig offentlig datasett og ulike applikasjoner.

Anbefaling 5: Det bør utredes muligheter for et offentlig maskingenerert datasett med volumgeometrier

Dagens løsning med datasett produsert av ulike leverandører fungerer tilsynelatende godt, men medfører en ekstra kostnad for dataeiere og andre som ønsker tilgang til slike datasett. Et offentlig datasett ville kunne gi tilgang for eiere av grunnlagsdataene uten ekstra kostnad, samtidig som leverandører og dataeiere fortsatt kan utføre verdikjende tjenester for de som ønsker høyere kvalitet.

Offentlig finansiering har sikret etableringen av volumdatasett i andre nasjoner i Europa og i verden ellers. Det bør derfor være en målsetning også i Norge å etablere et godt, offentlig datasett. Imidlertid vil et offentlig datasett medføre kostnader og behov for kapasitet. Det er derfor behov for videre utredninger av kostnader, nytteverdier, finansieringsmuligheter og krav til kapasitet.

Anbefaling 6: Det bør arbeides mot overgang til objektbasert forvaltning av geodata
--

Objektbasert forvaltning med unik og persistent identifisering av objekter vil være sentralt for å identifisere objekter som ikke skal maskingenereres på grunn av at de er manuelt etablert, og for å sikre kobling mellom ulike representasjoner av samme objekt i for eksempel geodatabaser og BIM-prosjekter. Håndtering av volumgeometrier er derfor ett av flere argumenter for å gå over til objektbasert forvaltning av geodata.

12 Figurliste

Figur 1. Eksempel på 2D-geometri. Fra [1].	2
Figur 2. Eksempel på 2.5D-geometri. Fra [1].	2
Figur 3. Eksempel på 3D-geometri. Fra [1].	2
Figur 4. Eksempel på registrering av objekttyper i FKB-Bygning i 2.5D og generert 3D-objekt. Fra [9].	8
Figur 5. Moduler i CityGML. Fra [3].	9
Figur 6. LOD-nivåer i CityGML 3.0. Fra [3].	9
Figur 7. Forholdet mellom objekttyper og geometri. Fra [3].	10
Figur 8. Detaljering av LOD. Fra [15].	10
Figur 9. Den overordnede strukturen for INSPIRE Buildings. Fra [1].	12
Figur 10. Eksempler på høydeposisjoner. Fra [1].	12
Figur 11. Geometrirepresentasjon for INSPIRE 3D-bygninger. Fra [1].	13
Figur 12. Modulene i IFC.	14
Figur 13. Ny informasjonsmodell for bruksenhet. Fra [19].	15
Figur 14. Mesh, med FKB-Bygning drapert	25
Figur 15. Rettifisert ortofoto på DOM (bildemat. Leica Geosystems, DOM: ArcGIS Reality)	25
Figur 16. Prosessen med å lage mulighetsrom fra plandata i versjon 4.5. Fra venstre: Areal av byggegrense med kotehøyde. Midten: Lage volum av arealet. Til høyre: Sette inn forslag til nye bygninger.	29
Figur 17. Eksempel på kombinasjon av bygninger generert fra FKB (Geodata 3-bygg-teneste), BIM-modell fra utbygger (lys brun) og sol/skyggevisning i 3d-klient.	30
Figur 18. Eksempler på utfordringer med tolkning av unormale bygg	30
Figur 19. Faktisk situasjon fra Google StreetView	30
Figur 20. Eksempelvisning fra Trondheim kommune	31
Figur 21. Eksempel på modell i Trondheim kommune	31
Figur 22. Eksempler på manglende flater	32
Figur 23. Eksempler på andre volumobjekter enn bygning	33
Figur 24. Registrering av fasadeliv	33
Figur 25. 3D-objekt med fasadeliv	34
Figur 26. Fargelegging av 3Dbygg basert på arealbruk pr etasje. F.eks. Gult er boligetasjer og blått er næringsetasjer.	35
Figur 27. Måling av byggehøyder, og vurdering av solskygger	35
Figur 28. Matrikkelinformasjon i "GeosceneBygning".	36
Figur 29. Johanneskirken i Bergen	36
Figur 30. Ulike versjoner av Puddefjordsbroen i Bergen kommune.	37
Figur 31. Kaikant i terrengmodellen gir en lite optimal gjengivelse av situasjonen i 3D.	37
Figur 32. Bymodellen gir et helhetlig bilde av byen.	38
Figur 33. Automatisk generert bygg fra FKB-Bygg har ikke blitt tegnet korrekt.	39
Figur 34. Eksempel på visning av vindanalyse gjennom "ribbons" i bymodellen.	39
Figur 35. Eksempel på sol/skygge analyse hvor et bygg ikke er korrekt i 3D.	40
Figur 36. FKB-Bygg etter automatisk generering.	40
Figur 37. Manuelt justert takkant og fasadeliv til bymodellen.	41
Figur 38. "Ønskebygg" i Stavanger sentrum.	41
Figur 39. Valbergtårnet som vist etter automatisk generering.	42
Figur 40. Valbergtårnet som opparbeidet signalbygg.	42
Figur 41. Eksempel på 3D-visualisering av planforslag. Kilde: Bo Peng	43
Figur 42. Eksempel på 3D-visualisering av planforslag. Kilde: Bo Peng	44
Figur 43. Konvertering fra IFC til CityGML. Fra [33].	50
Figur 44. Prosessen for tolkning av byggetegninger.	54

13 Referanser

1. INSPIRE Temporary MIWP 2021-2024 sub-group 2.3.1, D2.8.III.2 Data Specification on Buildings – Technical Guidelines. **2024**. https://inspire-mif.github.io/technical-guidelines/data/bu/dataspecification_bu.pdf
2. ISO/TC 211, ISO 19107:2019 Geographic information — Spatial schema. **2019**, ISO: Geneva, Switzerland. <https://www.iso.org/standard/66175.html>
3. Open Geospatial Consortium, OGC City Geography Markup Language (CityGML) Part 1: Conceptual Model Standard. **2021**. <https://docs.ogc.org/is/20-010/20-010.html>
4. ISO/TC 59/SC 13, ISO 19650-1:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) - Information management using building information modelling - Part 1: Concepts and principles. **2018**, ISO: Geneva, Switzerland. <https://www.iso.org/standard/68078.html>
5. Geovekst, SOSI-standardisert produktspesifikasjon: FKB generell del 5.1. **2025**, Kartverket. https://sosi.geonorge.no/standarder/FKB_generell_del/5.1/
6. ISO/TC 211, ISO 19136-1:2020 Geographic information — Geography Markup Language (GML) — Part 1: Fundamentals. **2020**, ISO: Geneva, Switzerland. <https://www.iso.org/standard/75676.html>
7. ISO/TC 59/SC 13, ISO 16739-1:2024 Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — Part 1: Data schema. **2024**, ISO: Geneva, Switzerland. <https://www.iso.org/standard/84123.html>
8. European Parliament and the Council of the European Union, Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of the European Union of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). **2007**, EUR-LEX Official Journal of the European Union.
9. Geovekst, SOSI-standardisert produktspesifikasjon: FKB-Bygning 5.1.1. **2025**, Kartverket. <https://register.geonorge.no/produktspesifikasjoner/fkb-bygning>
10. Oslo kommune, 3D-strategi: 2024-2027. **2024**.
11. Kartverket, Spørreundersøkelse: Revisjon av FKB-standarden. **2020**. <https://www.kartverket.no/globalassets/geodataarbeid/sporreundersokelse-revisjon-av-fkb.pdf>
12. Kommunal- og moderniseringsdepartementet, Alt skjer et sted - Nasjonal geodatastrategi fram mot 2025. **2018**. https://www.regjeringen.no/contentassets/6e470654c95d411e8b1925849ec4918d/km_d_alt_skjer_et_sted_geodatastrategi.pdf
13. Open Geospatial Consortium, OGC City Geography Markup Language (CityGML) 3.0 Conceptual Model Users Guide. **2021**. <https://docs.ogc.org/guides/20-066.html>
14. Kutzner, T., Chaturvedi, K., Kolbe, T.H., CityGML 3.0: New Functions Open Up New Applications. *PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science* **2020**, 88(1), p. 43-61, DOI: 10.1007/s41064-020-00095-z.
15. Biljecki, F., Ledoux, H., Stoter, J., An improved LOD specification for 3D building models. *Computers, environment and urban systems* **2016**, 59, p. 25-37.
16. Biljecki, F., Kumar, K., Nagel, C., CityGML Application Domain Extension (ADE): overview of developments. *Open Geospatial Data, Software and Standards* **2018**, 3(1), DOI: 10.1186/s40965-018-0055-6.
17. Kutzner, T., Kolbe, T.H., CityGML 3.0 and its usability at national scale. **2021**.
18. KMD, Lov om infrastruktur for geografisk informasjon (geodataloven). **2010**.
19. Kartverket, Informasjonsmodell bygningsdel av matrikkel. **2021**.
20. KS, Kartverket, GeoIntegrasjon Matrikkel - Brukerbehov og teknologivalg - Sluttrapport. **2021**. <https://www.ks.no/contentassets/6b32afdb3afd47c29388935f81ddba31/GeoIntegrasjon-Matrikkel-Brukerbehov-og-teknologivalg-endelig-rapport-2021-04-22.pdf>

21. Shahidinejad, J., Kalantari, M., Rajabifard, A., 3D Cadastral Database Systems—A Systematic Literature Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information* **2024**, 13(1), p. 30, DOI: 10.3390/ijgi13010030.
22. Gkeli, M., Automated urban modeling and crowdsourcing techniques for 3D Cadastre. PhD, National Technical University of Athens, **2023**
23. Knudsen, M., Eriksson, H., Lithen, T., Hiltunen, T., Mesterton, N., Kuus, H., et al., Maintaining and productions 3D buildings. **2024**.
24. Billen, R., Jeddoub, I., Macq, H., Digital Twin Hype: Threat or Opportunity for PMAs? **2023**.
25. Estonian Land Board, Information Technology Centre of the Ministry of the Environment, Estonia Geo3D business analysis summary. **2023**.
26. SDFI, Gevinstanalyse af en national 3D-model: "Danmark i 3D". **2019**.
27. SDFI, GEVINSTREALISERINGSRAPPORT FOR DANMARKS DIGITALE TVILLING. **2024**.
28. SDFI, Uploadspecification for 'Danmark in 3D'.
29. West-Nielson, P., Ridley, P., Denmark in 3D: scaling 3D data production to the national scale, 1spatial, Editor. **2023**: Smarter data, smarter world 2023.
<https://1spatial.com/news-events/on-demand-webinar/2024/sdsw23-denmark-in-3d/>
30. Radford, L., 3DBAG: automatically generated 3D models of 10 million buildings, in *GIM International*. **2024**. <https://www.gim-international.com/content/article/3dbag-automatically-generated-3d-models-of-10-million-buildings>
31. Soon, K.H., Khoo, V.H.S., CITYGML MODELLING FOR SINGAPORE 3D NATIONAL MAPPING. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **2017**, XLII-4/W7, p. 37-42, DOI: 10.5194/isprs-archives-xlii-4-w7-37-2017.
32. Geovekst, Registreringsinstruks: Fotogrammetrisk FKB-Bygning. **2023**.
https://sosi.geonorge.no/registreringsinstrukser/FKB-Bygning/5.0/Fotogrammetrisk_2024-01-01/
33. Tan, Y., Liang, Y., Zhu, J., CityGML in the Integration of BIM and the GIS: Challenges and Opportunities. *Buildings* **2023**, 13(7), p. 1758.
34. Gilbert, T., Rösndorf, C., Plume, J., Simmons, S., Nisbet, N., Gruler, H.-C., et al., Built environment data standards and their integration: an analysis of IFC, CityGML and LandInfra. **2020**, Open Geospatial Consortium: Wayland, MA, USA, buildingSMART International: London, UK,,: [opengeospatial.org. https://www.ogc.org/docs/discussion-papers](https://www.ogc.org/docs/discussion-papers)
35. ISO/TC 59/SC 13, ISO TR 23262:2021 GIS (Geospatial) / BIM interoperability. **2021**, ISO: Geneva, Switzerland. <https://www.iso.org/standard/75105.html>
36. ISO/TC 59/SC 13, ISO/TR 16214 Geospatial and BIM review of vocabularies. **2025**.
<https://www.iso.org/standard/84517.html>
37. Standard Norge, NS 8360-1:2023 BIM-objekter for byggverk — Del 1: Modellpraksis, navngivning, typekoding og egenskaper. **2023**. <https://online.standard.no/nb/ns-8360-1-2023>
38. Direktoratet for byggkvalitet, P13 eByggesak - Exchange requirement (ER) for rammesøknad, ett-trinnssøknad og igangsettingssøknad. <https://test-bimvalbygg.dibk.no/Home/PdfActionResult>
39. Markussen, A., Østerlie, P., Berget, S., BIM i byggesak – Hvordan kan BIM forbedre dagens byggesaksprosess? NTNU, **2022**
40. Austeid, I.B., Jørstad, J., Thorjussen, C.C., CADAid: Validation of Architectural Drawings Powered by Machine Learning. University of Agder, **2024**