



Høgskulen
på Vestlandet

BACHELOROPPGAVE

Digitale tvillinger i byggebransjen

Digital twins in the construction industry

**Andreas Skogvang, Hans-Christian Norveel
og Joar Jellestad**

Byggingeniør
HVL Bergen/Institutt for byggfag/BYG150
Anne Sofie Bjelland
25.05.2020

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 12-1.

Forord

Bacheloroppgaven er et avsluttende arbeid av utdanningen ingeniør – bygg ved institutt for byggfag ved Høgskulen på Vestlandet. Oppgaven er utført vårsemesteret 2020, utgjør 20 studiepoeng og inngår i studieretningen «Prosjekt- og byggeledelse» med profil «konstruksjonsteknikk». Ved fullført studie oppnås graden byggingeniør.

Temaet for oppgaven er digitale tvillinger. Vi har valgt temaet fordi vi har et fremtidsrettet fokus og interesserer oss for digitalisering og effektivisering av byggebransjen. Det unike med et klimatreningssanlegg, og tanken på at det aldri har vært laget før, har vært en motivasjonsfaktor i arbeidet med oppgaven.

Å jobbe med klimatreningsskammeret Kronstad Training Chamber, sammen med ingeniørstudentene fra energi og miljø, har vært en krevende og lærerik prosess. Vi tror dette er en erfaring vi vil komme til å ha god nytte i arbeidslivet. I slutten av arbeidet fikk vi vite at prosjektet vil bli finansiert av Statsbygg og HVL.

Vi ønsker å takke vår veileder Anne Sofie Handal Bjelland for stort engasjement, høy faglig kompetanse og gode råd på veien. Videre takker vi Richard J Grant som er initiativtaker av oppgaven. Han har vært en viktig pådriver for prosjektet. Vi takker intervjuobjektene Even Segbø, Øystein Vindenes og Ånond Viki som har tatt seg tid til å bidra under Korona-krisen.

Antall ord: 14 834

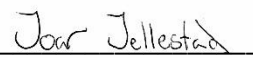
Bergen, mai 2020



Andreas Skogvang



Hans-Christian Norveel



Joar Jellestad

Sammendrag

Produktiviteten i byggebransjen er stadig diskutert, og søket etter forbedringer er utbredt. Det er dog en konservativ bransje som kan vegre seg for digitale endringer, og med det, digitale tvillinger. Digitale tvillinger er noe av det nyeste innen teknologi i byggebransjen, og kan bidra til forbedringer. Vi har derfor ønsket å se nærmere på hva digitale tvillinger er, hva de gjør for bransjen og har definert problemstillingen som følger:

«Hva er barrierene og driverne for digitale tvillinger i byggebransjen?»

For å besvare problemstillingen, har vi anvendt en kvalitativ orientert metode. Dette har vi gjort gjennom litteratursøk for å innhente eksisterende informasjon om temaet, intervjuer med fagpersoner fra byggebransjen med variert bakgrunn og utført en casestudie, hvor vi selv har utforsket hvordan det er å lage en digital tvilling. Det har videre vært nødvendig å definere hva digital tvilling er.

Intervjuer og litteraturen viste til et mangfold av drivere for digitale tvillinger, men samtidig eksisterer det uløste problemer og barrierer for at de skal fungere best mulig. Til å begynne med krever digitale tvillinger høy nøyaktighetsgrad når det kommer til geometri og de skal inneholde riktig informasjon om produkter og bygningsdeler som skal inkluderes i modellen. Samtidig skal bygningen kontinuerlig utveksle sanntidsdata med sin digitale tvilling, ved bruk av IoT-sensorer. Blant driverne for digitale tvillinger finner vi visualisering, simuleringer, kostnadsbesparelser, FDV-dokumentasjon, bedre samarbeid, mindre bygningsfeil, lett tilgjengelig informasjon og tilstandsbasert vedlikehold. På den andre siden finner vi barrierer som følger; tidkrevende prosjektering, høy brukerterskel og kompetanse, og utfordrende samspill mellom utførende og prosjekterende. I tillegg finnes det ingen plattform for å synliggjøre sensordata en innhenter fra bygget.

Oppgaven viser at det er flere drivere for den digitale tvillingen som kan bidra til å øke produktiviteten i byggebransjen. Samtidig finnes det barrierer knyttet til den digitale tvillingen, og for at den skal kunne lykkes, forutsetter det godt samspill mellom utførende og prosjekterende.

Abstract

Productivity in the construction industry is constantly debated and there is a huge search for improvements. However, it is a conservative industry that might be reluctant to digital change, and also to digital twins. Digital twins are some of the latest domestic technology in the construction industry and can lead to improvements within the industry. Therefore, we have decided to have a closer look at what digital twins are and how they can improve the industry. Based on this, our research question is as follows:

"What are the barriers and drivers for digital twins in the construction industry?"

In order to be able to answer the research question, we have used a qualitative oriented method. This is done through literature search to obtain information about the topic, interviews with professionals from the construction industry with varied backgrounds and through our own case study where we have explored what it is like to create a digital twin. Furthermore, it has been necessary to define what a digital twin is.

Interviews and literature were referred to a diversity of drivers for digital twins, while there at the same time also exists unresolved issues and barriers to make them function optimally. To begin with, digital twins require high accuracy when it comes to geometry and they should contain correct information about products and building elements that are to be included in models. At the same time, real-time data are to be continuously exchanged with its digital twin, using IoT sensors. Among the drivers of digital twins, we find visualization, simulations, cost savings, FDV documentation, better collaboration, minor building errors, available information, and ongoing maintenance. On the other hand, we find barriers as; time-consuming design, high user skills and expertise, and challenging interaction between constructors and planners. In addition, there is no platform to visualize sensor data one receives from the building.

The thesis shows that there are several drivers for the digital twin that can help increase productivity in the construction industry. At the same time, there are barriers to the digital twin, and in order for it to succeed, a good interaction between constructors and planners is a prerequisite.

Begrepsforklaring og forkortelser

Add-on	Et verktøy som utvider funksjonaliteten og endrer grensesnittet til én bestemt programvare
Asset	Ressurs
BAE	Bygg, anlegg og eiendom
BIM	Bygningsinformasjonsmodell / Bygningsinformasjonsmodellering
Bimobject	Bimobject.com, nettsted for BIM-innhold. Alt fra familier til materialer.
BREEAM	Verktøy for miljøsertifisering av bygninger
DAK/CAD	Dataassistert konstruksjon eller Computer-aided design
Digital tvilling	Virtuell fremstilling av en prosess, objekt eller tjeneste
FDV	Forvaltning, drift og vedlikehold
FDV-dokumentasjon	Dokumentasjon som er grunnlaget for forvaltning, drift og vedlikehold
Framing	Bindingsverk, innramming
GTIN	Global Trade Item Number. Nummer som gir produkter og tjenester unik identifikasjon, og er grunnlaget for strekkode.
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning
ID	Identifikasjon
IFC	Industry Foundation Classes
LOD	Level of development eller Level of detail. Utviklingsnivå eller detaljnivå
MMI	Modell Modenhets Indeks
Modulbygg	Bygget på forhånd og fraktes til byggeplass
NOBB-nummer	Varenummer i byggebransjens største varedatabase.
Plug-in	Et program som kan lastes inn i andre eksisterende programvarer.
Pre-cut	Kuttet før det fraktes til byggeplass, ut fra gitte mål.
SHA	Sikkerhet, helse og arbeidsmiljø

Shared parameter	Brukes som en beholder for å lagre informasjon i en familie eller prosjekt i Revit.
Sheet	Arbeidstegning i 2D
Skyen	Databehandlingstjenester som er tilgjengelig over det offentlige internettet
Som-bygget	En modell lik det fysiske bygget
URL	Lenke/adresse til en nettside
Varenummer	Unikt nummer en bedrift setter på sine produkter for å loggføre og vedlikeholde informasjon om produktet. Mellom seks til ti sifre.
VDC	Virtual Design Construction, en arbeidsmetodikk for effektivisering av byggeprosesser ved bruk av BIM
VR	Virtuell virkelighet. En illusjon. Skal gi brukeren en opplevelse av å befinne seg et oppdiktet eller virkelig sted.
VVS	Varme-, ventilasjons- og sanitærteknikk

Innholdsfortegnelse

Forord	II
Sammendrag	III
Abstract.....	IV
Begrepsforklaring og forkortelser.....	V
Figurliste.....	X
1. Innledning	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2. Problemstilling og forskningsspørsmål.....	2
1.3 Omfang og avgrensning	3
1.3.1 Omfang.....	3
1.3.2 Avgrensninger	4
1.4 Oppbygging av oppgaven.....	5
2. Metode.....	6
2.1 Kvalitativ og kvantitativ metode	6
2.2 Litteratursøk.....	6
2.3 Intervju.....	7
2.4 Casestudie.....	9
2.5 Oppgavens troverdighet	11
3. Teori.....	12
3.1 De ulike fasene i et byggeprosjekt.....	12
3.1.1 Prosjekteringsfasen	12
3.1.2 Utførelsesfasen	12
3.1.3 Driftsfasen	13
3.2 Bygningsinformasjonsmodeller (BIM)	13
3.2.1 Digitalisering av byggebransjen i Norge	14
3.3 IFC – Industry Foundation Classes.....	15

3.3.1 åpenBIM	15
3.4 MMI- Modell Modenhets Indeks.....	15
3.4.1 MMI 100	16
3.4.2 MMI 500	16
3.5 Digital tvilling.....	17
3.5.1 Hva er en digital tvilling?	17
3.5.2 Ulike oppfatninger av digitale tvillinger	18
3.5.3 Digital tvilling av bygg – hva består denne av?	19
3.5.4 Drivere med en digital tvilling.....	20
3.5.5 Barrierer for den digitale tvillingen med IoT-sensorer.....	21
3.5.6 Programvare for sensorer.....	22
3.6 Visualisering	23
3.7 Programvarer og ressurser	24
3.7.1 Autodesk Revit	24
3.7.2 Autodesk Insight	25
3.7.3 AGACAD Wood Framing	25
3.7.4 Cobuilder Collaborate (ProductXchange).....	25
3.7.5 Dalux Bim Viewer	25
3.7.6 BIMobject	26
3.7.7 MagiCAD	26
3.7.8 Dasher360.....	26
4. Resultat og diskusjon	27
4.1 Geometri i modellen.....	27
4.1.1 Modellering og detaljtegninger	27
4.1.2 Valg av objekter	30
4.1.3 AGACAD Wood Framing - Implementering av bindingsverk i modell	32
4.2 Informasjon i modellen.....	36
4.2.1 Grunnleggende informasjon.....	36

4.2.2 FDV-dokumentasjon.....	39
4.2.3 ID og produktvalg.....	41
4.2.4 Cobuilder Collaborate – Produktinformasjon fra leverandører.....	44
4.3 Visualisering.....	46
4.3.1 Møter og tverrfaglig samarbeid.....	46
4.3.2 Virtual Reality (VR).....	48
4.4 Programvarer og sensorer for testing og utnyttelse av en digital tvilling.....	49
4.4.1 Insight – Energisimuleringer.....	49
4.4.2 Dalux BIM-viewer – Bruk av digital tvilling i driftsfasen.....	51
4.4.3 Sensorløsninger.....	54
4.5 Forsknings spørsmål - Hva er en digital tvilling av et bygg?.....	57
5. Konklusjon.....	59
5.1 Videre arbeid.....	61
Referanser.....	62
Vedlegg.....	67
Vedlegg 1 - Intervju Even Segbø (Intervjuobjekt I), 02.04.2020.....	67
Vedlegg 2 – Intervjuer med Øystein Vindenes (Intervjuobjekt II).....	76
Vedlegg 2.1 «Samtaleintervju» med Øystein Vindenes, 15.04.2020.....	76
Vedlegg 2.2 «Standardisert intervju» med Øystein Vindenes, 01.05.2020.....	81
Vedlegg 3 – Intervju med Ånond Viki (Intervjuobjekt III), 10.05.2020.....	86

Figurliste

Figur 1 Illustrasjonsbilde av KTC, laget i Enscape	10
Figur 2 prosjekteringsaktivitetene som leder frem til MMI-verdier. ³³	16
Figur 3 Digital modell ³⁸	18
Figur 4 Digital skygge ³⁸	18
Figur 5 Digital tvilling ³⁸	18
Figur 6 Oppbygningen til en digital tvilling av et bygg ⁴¹	19
Figur 7 Eksempel på sensor ⁵²	22
Figur 8 Byggforsks eksempeltegning for passivhus ⁶⁷	28
Figur 9 Ønsket resultat, der materialer møtes og vegg føres videre. Laget i Revit.	28
Figur 10 Vegger i modellen tegnet med detaljer opp mot eksempeltegning. Laget i Revit.	28
Figur 11 Produkt som skal brukes ⁷⁰	30
Figur 12 Objekt brukt i Revit.....	30
Figur 13 Ulike elementer som inngår i oppbyggingen av familien. Laget i Revit.....	31
Figur 14 Oppbyggingen av vinduet inne i familien	31
Figur 15 Stenderverk beregnet i AGACAD Wood Framing	32
Figur 16 Linking av vegger i Revit til programvaren.....	33
Figur 17 Innstillinger for bindingsverket av vegger	33
Figur 18 Stenderverk stopper før tak.....	34
Figur 19 Feilmelding ved framing av tak.....	34
Figur 20 Parametere for krav til objektet i Revit.	36
Figur 21 Informasjon om produktet i «material» i Revit.....	37
Figur 22 Egenskaper for produktet lagt inn i «materials» (Revit)	37
Figur 23 Sammenheng mellom geometri og informasjon (Revit)	38
Figur 24 Opprettelse av «shared parameter» for produktlink i Revit.	39

Figur 25 Informasjonsflyten ved implementering av FDV i modellen	40
Figur 26 NOBB-nr og Varenr fra produsentens nettside.....	42
Figur 27 Parametere for produktID og produkttype i Revit.....	43
Figur 28 Shared parameter for produktnavn (Revit)	43
Figur 29 Viser hvordan programvaren legger inn produktinformasjon i objektene ⁸¹	44
Figur 30 1: teknisk rom, 2: treningskammer (Revit)	46
Figur 31 Ønsket produkt fra energistudentene ⁸⁴	47
Figur 32 Valgt objekt i modell fra programvaren MagiCAD Connect	47
Figur 33 Funksjon som gjør at energiberegningen tar hensyn til de modellerte objektene.....	49
Figur 34 Viser energikostnader ut i fra veggene i det modellerte bygget	50
Figur 35 Viser energikostnader ut i fra en smalere vegg	50
Figur 36 Mulighet for eksport av detaljtegninger (Dalux BIM-viewer).....	51
Figur 37 Produktinformasjon for parketten i modellen, sett i Dalux BIM-viewer.....	52
Figur 38 Fremgangsmåte for visning av FDV-informasjon via Dalux	53
Figur 39 Liste over sensorer som er lagt inn i bygget ⁸⁹	54
Figur 40 Variasjon av fuktighet fra en av sensorene ⁹⁰	55
Figur 41 Varmekart ⁹⁰	55
Figur 42 Oppbyggingen av en digital tvilling ⁹³	57

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Siden år 2000 har produktiviteten i den norske byggebransjen falt med 10 prosentpoeng. Sammenlignet med all markedsrettet virksomhet i fastlands-Norge, er dette hele 40 prosentpoeng i differanse.¹ Hva dette skyldes er et diskutert tema, men en av hovedårsakene er tekniske krav til bygninger, som har ført til større kompleksitet i byggeprosjektene.² Byggebransjen er konservativ og holder seg til tradisjonelle arbeidsmetodikker.³ Som initiativ for å snu den nedadgående utviklingen, har det blitt satset på digitalisering i byggebransjen. I dag satses det på papirløse byggeplasser, og det stilles krav om bygningsinformasjonsmodeller (BIM) fra byggherrene.⁴

Noe av det nyeste innen teknologi i byggebransjen kalles digitale tvillinger.⁵ Kort sagt er en digital tvilling en eksakt replika av et fysisk objekt, fremstilt i en virtuell modell. Videre er det ulike meninger om hvilke egenskaper og funksjoner denne modellen skal ha, for at den skal kalles en digital tvilling. Dette diskuterer vi senere i oppgaven. Digitale tvillinger er steget forbi vanlige bygningsinformasjonsmodeller. I tillegg til å fremstille hva bygningen skal inneholde ned til minste detalj, beskrives også hvert element nøye og har sensorer som gjør det mulig å innhente sanntidsdata fra modellen. På denne måten skal det være mulig å predikere når et element, for eksempel et ventilasjonsanlegg, trenger vedlikehold. Med teknologien skal digitale tvillinger bidra til effektivitet², lønnsomhet⁵, større sikkerhet⁶ og forutsigbarhet⁶ for et bygg. På denne måten kan teknologien bidra til å forbedre produktiviteten i bransjen.

I denne oppgaven skal vi utforske hvordan digitale tvillinger kan bidra til dette, ved å se på hvilke egenskaper som egner seg i ulike faser av byggeprosessen. Dette leder frem til problemstillingen.

¹ Statistisk Sentralbyrå, «Produktivitetsfall i bygg og anlegg»

² Haaland, «Effektiv bruk av BIM i byggebransjen», side III

³ Solberg, «Byggenæringen satser minst på forskning og utvikling»

⁴ Statsbygg, «BIM i Statsbygg»

⁵ Khajavi et.al. «Digital Twin: Vision, Benefits, Boundaries and Creation for Buildings», side 1

⁶ Aga, «Slik skal Statsbygg simulere seg bort fra alvorlige ulykker»

1.2. Problemstilling og forskningsspørsmål

Hva er barrierene og driverne for digitale tvillinger i byggebransjen?

Med barrierer menes utfordringer som setter stoppere for utvikling av modellene og anvendelse av dem. Vi definerer drivere som insentiver og fordeler de digitale tvillingene gir. Dette skal vi utforske med tanke på prosjekterings-, utførelses- og driftsfasen i byggeprosjekter.

For å kunne svare på denne problemstillingen har vi tatt for oss et forskningsspørsmål. Forskningsspørsmålet og problemstillingen skal besvares ved bruk av eksisterende teori, intervju av fagpersoner og egen caseløsning med Kronstad Training Chamber (KTC). Dette kommer vi til i metodedelen av oppgaven (kapittel 2. Metode).

Hva er en digital tvilling av et bygg?

For å kunne svare på problemstillingen er det nødvendig å definere hva en digital tvilling er i byggebransjen. Dette er det ulike definisjoner på, og vi skal prøve å finne den mest presise.

1.3 Omfang og avgrensning

I dette delkapittelet skal vi se nærmere på omfanget av oppgaven og avgrensningene som er gjort. Oppgavens omfang er delvis forklart ut fra problemstillingen og forskningsspørsmålet. Avgrensningene som er gjort, er som følge av tiden og ressursene vi har hatt til rådighet.

1.3.1 Omfang

Det skal undersøkes hva en digital tvilling er og hvilke barrierer og drivere det finnes for digitale tvillinger i byggebransjen. Dette skal gjøres ved å se på hvordan 3D-modeller anvendes i dag og ved å hente erfaringer fra bransjen. Det skal sees på barrierer og drivere i prosjekterings-, utførelses- og driftsfasen av byggeprosjekter. Av disse fasene vil **prosjekteringsfasen** bli vektlagt i størst grad. Dette fordi våre erfaringer og forskning gjennom casestudien, vil gi størst nedslagsfelt i denne fasen.

Digitale tvillinger er et nytt konsept som er under kontinuerlig utvikling. Gjennom vårt arbeid har vi stadig møtt på ny informasjon knyttet til temaet. Derfor har det vært vanskelig å definere og begrense oppgaven. Det finnes mange relevante programvarer knyttet til BIM og digitale tvillinger, og vi har derfor valgt å utelate noen programvarer som kunne vært interessante å se på. Hva disse programvarene kunne bidratt med vil komme frem i avgrensninger (se delkapittel 1.3.2). De programvarene vi har valgt, har vært relevante for å diskutere problemstillingen og har blitt brukt som verktøy for å modellere og teste modellen til KTC. Årsaken for at vi har brukt disse programvarene forklares i delkapittel «3.7 Programvarer og ressurser».

Det er også en forutsetning at modellen blir bygget slik vi har modellert den. For at vi skal ha muligheten til å kalle KTC en digital tvilling, må vi anta at komponenter fra andre fag blir lagt inn i modellen. Likevel må det nevnes at det har vært et tverrfaglig samarbeid med studenter fra Energi og Miljø. Derfor har vi beriket modellen med komponenter fra VVS-faget, i den grad det har latt seg gjøre.

I utformingen av modellen til KTC, har vi tatt utgangspunkt i et ambisjonsnivå om å tilrettelegge for en digital tvilling på best mulig måte. Med de forutsetningene vi har, forsøker vi å lage en MMI500 modell (se delkapittel 3.4), altså «som-bygget».

1.3.2 Avgrensninger

For å svare best mulig på problemstillingen, er det gjort avgrensninger. De er gjort som følge av tids- og ressursbegrensninger og begrenset tilgjengelighet til hovedsakelig programvarer. Avgrensningene kan oppsummeres med følgende punkter:

- Samhandlingsverktøy. Et nyttig konsept og et mye brukt verktøy når det kommer til BIM. Vi har valgt å ikke se på dette i stor grad, da vi ikke har hatt andre fag å koordinere med over en slik plattform.
- Analyser og simulering. I denne oppgaven har vi gjort én energisimulering, med programvaren Insight. Det er dog en rekke andre simuleringer som kan gjøres med en BIM eller digital tvilling. Det kan for eksempel gjøres simuleringer av inneklimate og sollys, krasjkontroller, livssyklusanalyser, og drift- og vedlikeholdsanalyser.
- Data Integration and Analytics er prosessen som setter sensordataene i system og gjør dem «smarte» og forståelige for brukeren. Dette temaet er knyttet til digitale tvillinger, men er utenfor det spekteret vi ønsker å utforske i denne oppgaven.
- Entreprisereform. Vi har valgt å ikke gå inn på entreprisereform. Det er tatt utgangspunkt i at prosjekterende og utførende ikke har samhandlet i tidligfasen (utførelsesentreprise).

1.4 Oppbygging av oppgaven

Her skal vi presentere hva de ulike kapitlene av oppgaven inneholder.

Innledning

I innledningen, det første kapitlet, presenterer vi bakgrunnen for prosjektet, forskningsspørsmålet, problemstillingen, og omfang og avgrensninger av oppgaven. Dette kapitlet tilrettelegger for det videre arbeidet.

Metode

I det andre kapitlet gjør vi rede for metoden som er valgt for å besvare problemstillingen. Vi ser på hvordan en kan gjøre intervjuer, litteratursøk og casestudie, og begrunner hvorfor vi har valgt denne metoden. Vi har også sett på oppgavens reliabilitet og validitet.

Teori

Det tredje kapitlet inneholder en redegjørelse av relevant eksisterende teori som er innhentet gjennom litteraturstudiet. I denne delen av oppgaven tar vi også frem ulike programvare som er brukt.

Resultat og diskusjon

Kapittel fire presenterer resultatene fra egen casestudie og intervjuobjekter. Resultatene drøftes opp mot teorien etter hvert som de blir lagt frem.

Konklusjon

I konklusjonen, det femte kapitlet, oppsummerer vi de viktigste punktene fra oppgaven og kommer med vårt svar på problemstillingen og forskningsspørsmålet. Her trekker vi også frem hva vi ville utforsket videre.

2. Metode

I denne delen av oppgaven presenteres den valgte metoden for å kunne besvare problemstillingen og forskningsspørsmålet. Først vil vi gå gjennom rammene for metode på generell basis og deretter gå inn på den valgte metoden for denne oppgaven. Dette skal gjøres ved bruk av tre ulike metoder; litteratursøk, intervju og casestudie. Hva disse metodene innebærer og hvorfor vi har valgt nettopp denne tilnærmingen skal besvares.

2.1 Kvalitativ og kvantitativ metode

I oppgaveskriving skiller en mellom kvalitativ og kvantitativ forskningsmetode. Kvalitative data finner vi som oftest i form av tekst som resultat av feltobservasjoner eller dybdeintervjuer.⁷ Kvantitative data er data som kan tallfestes som et resultat av en spørreundersøkelse eller eksperiment.⁸ De to forskningsmetodene skiller seg også fra hverandre i måten dataene analyseres, der kvalitative data må analyseres ved tolkning, og kvantitative data kommer oftest som statistikk.^{7,8}

Denne oppgaven er basert på en kvalitativ orientert metode. Vi vurderer dette som den beste måten å angripe et såpass nytt konsept som digitale tvillinger. I vår oppgave vet vi ikke sikkert hvilke resultater vi er på jakt etter. Derfor vil det være hensiktsmessig å se utover sin egen kunnskapshorisont ved å gå i litteratursøk og intervjuer, samt egen casestudie. Med litteratursøk og intervjuer vil vi kunne kartlegge den eksisterende informasjonen, samt innhente de ferskeste meningene rundt temaet. I casestudien vil vi kunne innhente førstehåndskunnskap om digitale tvillinger, som vil kunne bidra til selvstendige oppfattelser. Grunnen til at vi har valgt bort en kvantitativ metode er fordi det finnes lite informasjon og tallfestbare data om digitale tvillinger. Dette gjør at det er vanskelig å kvantifisere resultater fra for eksempel en spørreundersøkelse, for å deretter analysere resultatene som statistikk. Nå går vi dypere inn på hvordan de valgte metodene er utført.

2.2 Litteratursøk

For å komme frem til gode- og pålitelige kilder, har vi brukt ulike databaser hvor vi finner vitenskapelige artikler. Her har vi hovedsakelig brukt Oria og Google Scholar. **Oria** er en søketjeneste underlagt BIBSYS

⁷ Grønmo, «Kvalitativ metode»

⁸ Grønmo, «Kvantitativ metode»

som er en del av Unit - Direktoratet for IKT og fellestjenester i høyere utdanning og forskning. Søketjenesten sørger for enkel tilgang til trykte og elektroniske ressurser i form av bøker, e-bøker, artikler og tidsskrifter m.m. Oria gir en god oversikt over litteratur i bibliotekene til Høgskulen på Vestlandet.⁹ **Google Scholar** er Googles tjeneste for vitenskapelige artikler. Her finner en artikler fra hele verden.¹⁰ Dette gjør at det noen ganger kan være vanskelig å finne frem til relevante artikler, samtidig får man et bredt spekter å velge ut fra. Da temaet digitale tvillinger er relativt nytt og under stadig utvikling, har det vært vanskelig å finne relevante vitenskapelige artikler. Derfor er det også studert artikler fra vanlig google-søk.

For å finne de nyeste artiklene om digitale tvillinger har vi avgrenset søket til etter 2018. Vi har også brukt eldre artikler, for å komme frem til kilder som drøfter BIM og teknologiens utvikling. I hovedsak har vi benyttet følgende søkeord: digital tvilling, digitale tvillinger i byggebransjen, BIM teknologi, BIM effektivitet, sensorer i bygg, digital tvilling FDV og digitalisering i byggebransjen.

Litteraturstudiet har hjulpet med å danne en forståelse av temaet, samt utforskning av hvordan andre bransjer bruker digitale tvillinger. For å innhente informasjon om digitalisering og digitale tvillinger i byggebransjen, har vi intervjuet fagpersoner fra næringslivet med bakgrunn som er relevant for oppgavens tema.

2.3 Intervju

Intervju er en metode for innsamling av kvalitative data.¹¹ Det finnes ulike metoder å gjennomføre intervjuer på. Hovedsakelig har en tre intervjuformer;

- **Det uformelle, samtalende intervjuet.**

Denne intervjuformen karakteriseres ved at intervjuobjektet i utgangspunktet ikke vet at han/hun er i en intervjusituasjon. Spørsmålene er heller ikke planlagt i forkant. På denne måten skal besvarelsen bli mer fortrolig. Svakheten med denne intervjuformen, er at det er vanskelig å systematisere informasjonen en får ut av intervjuet.¹²

⁹ UNIT, «Oria søketjeneste»

¹⁰ Google, «Google Scholar»

¹¹ Grønmo, «Kvalitativ metode»

¹² Lotherton, *Intervju som metode*, (Tromsø: Forut, 1990), side 2-11

- **Intervju-guide-tilnærmingen**

I denne intervjuformen har intervjueren en liste over spørsmål som han ønsker å komme gjennom i løpet av intervjuet. Rekkefølgen på spørsmålene er ikke nødvendig å følge, og intervjueren kan komme med oppfølgingsspørsmål avhengig av hvordan intervjuobjektet responderer. Fordelen med intervju-guide tilnærmingen er at intervjueren enkelt kan holde seg til temaet, samtidig som han kan utforske temaet forbi sin egen kunnskapshorisont. En svakhet med denne formen, er at svarene kan bli lite sammenlignbare mellom intervjuobjektene.¹³

- **Standardisert "open-ended" intervju**

Denne intervjuformen baserer seg på at intervjueren skal ha en konkret liste med spørsmål som skal besvares i samme rekkefølge av alle intervjuobjektene. Fordelen med denne intervjuformen er at det vil bli enkelt å systematisere og analysere svarene fra intervjuene. Ulempen er at en ikke får muligheten til å komme med oppfølgingsspørsmål, som kan være interessante for å besvare sin problemstilling i mer utfyllende grad.¹³

I denne oppgaven vil intervjuene bli gjennomført med alle tilnærmingene nevnt ovenfor. Dette av ulike årsaker. Med Intervjuobjekt I, Even Segbø, ble «intervju-guide-tilnærming» benyttet. Da kunne vi stille spørsmål rettet til oppgaven, samtidig som intervjuobjektet kunne dele egne erfaringer knyttet til arbeid med digital tvilling. Med intervjuobjekt II, Øystein Vindenes, hadde vi et uformelt intervju. Dette fordi vi trengte veiledning og tips til utarbeidelsen av casestudien. Vi stilte også intervjuobjekt II og III (Øystein Vindenes og Ånond Viki) konkrete spørsmål med intervjuformen standardisert «open-ended» intervju. Dette ble gjort fordi vi ville ha relevante og presise svar rettet mot bacheloroppgavens problemstilling.

For å undersøke spørsmål om barrierene og driverne ved bruk av digital tvilling, har vi kontaktet representanter fra ulike deler av bransjen for å skape et helhetsinntrykk. Vi har valgt intervjuobjekter som jobber innenfor prosjekterings- og utførelsesfasen. Dette fordi en digital tvilling må kunne forstås gjennom de ulike fasene av et byggeprosjekt. Samtidig er det interessant å høre ulike synspunkter på hva som oppfattes som en digital tvilling, og hvordan de anvendes. Vi vil nå presentere intervjuobjektene og deres bakgrunn.

¹³ Lotherington, *Intervju som metode*, (Tromsø: Forut, 1990), side 2-11

Intervjuobjekt I - Even Segbø

Even Segbø er styremedlem i Erstad og Lekven Bergen AS og jobber i byggeledelsen på Barne- og ungdomssykehuset II (BUS II). Dette prosjektet er et digitalt og bærekraftig foregangsprosjekt der det er satt retningslinjer om digital byggeplass.

Intervjuobjekt II - Øystein Vindenes

Øystein Vindenes jobber som BIM-koordinator hos Norconsult Informasjonssystemer AS. Han er blant annet spesialist innen Revit og AutoCAD.

Intervjuobjekt III - Ånond Viki

Ånond Viki har god erfaring innen 3D-modellering og BIM. Han er foreleser på Høgskulen på Vestlandet, der han underviser om Revit og modelleringsprogramvarer i DAK/BIM.

2.4 Casestudie

Casestudie er en studie av én enkelt enhet. Selv om studiet retter seg mot én enhet, brukes metoden til å kaste lys på flere viktige fenomener ut fra en grundig og helhetlig beskrivelse av det enkelte tilfellet.¹⁴

I denne oppgaven bruker vi et tverrfaglig prosjekt, **Kronstad Training Chamber (KTC)**, som en casestudie. Oppgavens idéskaper kommer fra Fakultet for Idrett, ved Høgskulen på Vestlandet, der det ble oppdaget en etterspørsel etter et klimatreningsskammer. Ideen med et slikt kammer er blant annet at toppidrettsutøvere, militæret og funksjonshemmede skal kunne trene i ekstreme klimaer for å forbedre sine prestasjoner og fysiske helse. Temperaturen skal kunne veksles mellom 50 varmegrader og 20 kuldegrader, samtidig som luftfuktigheten også varierer. Disse utfordringene skal løses med et tverrfaglig samarbeid mellom Bygg-, og Energi- og Miljøstudenter ved Høgskulen på Vestlandet.

Målet med casestudien er å utvikle en digital tvilling og sette oss inn i ulike programvarer for å lage den. Dette vil gi oss førstehåndskunnskap når det kommer til hvilke programvarer som er enkle og

¹⁴ Wæhle et al., «case-studie»

intuitive med gode grensesnitt, og hvilke som ikke er det. Erfaringene vi høster gjennom denne casestudien vil gi grunnlag for resultater i oppgaven.

Navnet KTC, ble valgt da vi begynte med prosjektet og kommer til å bli kalt dette gjennom oppgaven. I senere tid har navnet blitt endret til Environmental Chamber ettersom det vil ha flere bruksområder enn kun trening.



Figur 1 Illustrasjonsbilde av KTC, laget i Enscape

For at dette bygget og konseptet skal gjennomføres, er det en rekke oppgaver som må løses. Casestudien handler om å utvikle en sofistikert modell som tilrettelegger for å lage en digital tvilling av bygget. For å lage modellen bruker vi i hovedsak Autodesk Revit (Revit). Videre anvender vi ulike «plug-in» og «add-in» programvarer i Revit, for å berike modellen med ytterligere informasjon. I delkapittel «3.7 Programvarer og ressurser», vil vi presentere de ulike programvarene vi har benyttet i casestudien.

Vi vil tilnærme oss casestudien med hovedfokus på konseptet om en digital tvilling. Hovedårsaken til denne fremgangsmåten, er at teknologien rundt digitale tvillinger utvikler seg raskt. Å sette seg inn i en egen modell blir derfor en grundig og effektiv metode for å komme frem til barrierer og drivere for digitale tvillinger.

2.5 Oppgavens troverdighet

Oppgavens troverdighet avgjøres av **reliabiliteten** og **validiteten** til den innsamlede informasjonen. Informasjonen brukes til å trekke konklusjoner og slutninger, og det er viktig at den har høy grad av pålitelighet og relevans.

Reliabilitet betyr pålitelighet, og sier noe om hvorvidt resultatene en utarbeider representerer virkeligheten, og om de kan etterprøves.¹⁵ Validitet handler om hvor gyldige og relevante resultatene i oppgaven er. Den skal måle om metoden faktisk svarer på det oppgaven spør om.¹⁶

En måte å øke reliabiliteten til en oppgave på, er å **triangulere**. Det innebærer å bruke ulike informasjonskilder, undersøkelser, teorier eller metoder.¹⁷ Ved å basere resultater på flere kilder, vil gyldigheten og troverdigheten styrkes.¹⁸

Bacheloroppgavens tema er relativt nytt. Det har derfor vært nødvendig å bruke den informasjonen som ligger tilgjengelig, og reliabiliteten til enkelte kilder som er brukt, kan anees som diskuterbar. Å definere begrepet «*digital tvilling*» presist, har vært vanskelig. Dette fordi det største kildegrunnlaget for hva digitale tvillinger er, ligger utenfor byggebransjen. Slike problemer har vi løst ved å bruke triangulering, samt egen kunnskap, for å øke påliteligheten i oppgaven. Videre har intervjuobjektene svart på spørsmål og kommet med egne erfaringer. Her må en vurdere om disse ønsker å fremme eget fagfelt eller prosjekt, ved å vri på virkeligheten. Dette er noe som kan antas å ha liten betydning for oppgavens pålitelighet.

Vi mener at oppgavens overordnede troverdighet ut fra tilgjengelig kildemateriale er tilfredsstillende.

¹⁵ Svartdal, «Reliabilitet»

¹⁶ Dahlum, «Validitet»

¹⁷ Yin, *Case Study Research: Design and Methods*, u.s.

¹⁸ Jacobsen, *Hvordan gjennomføre undersøkelser?*, u.s

3. Teori

I dette kapitlet skal vi se på eksisterende teori som skal hjelpe med å besvare problemstillingen. Vi starter med en introduksjon av de ulike fasene i et byggeprosjekt og BIM-konseptet. Deretter går vi inn på hva en digital tvilling er og hvordan disse kan anvendes. Senere vil vi bruke den teorien til å drøfte egne resultater fra intervjuer og casestudie.

3.1 De ulike fasene i et byggeprosjekt

I dette delkapitlet vil de ulike fasene i et byggeprosjekt, prosjekteringsfasen, utførelsesfasen og driftsfasen, og hva de inneholder, bli presentert. Hva en digital tvilling er i de ulike fasene, vil også bli lagt frem.

3.1.1 Prosjekteringsfasen

Prosjektering er et uttrykk som brukes spesielt innen bygg- og anleggsbransjen.¹⁹ En overordnet tolkning, er at prosjekteringen skal definere sluttresultatet i detalj, og beskrive hvordan prosjektet skal gjennomføres teknisk. Prosjekteringen skal innfri byggherren og brukernes krav og behov.²⁰

En digital tvilling er i prosjekteringsfasen et verktøy for visualisering med geometrisk fremstilling. Den skal samtidig bidra til tverrfaglig dialog og samhandling.²¹

3.1.2 Utførelsesfasen

I utførelsesfasen starter de fysiske arbeidene for å ferdigstille bygget som er prosjektert, før byggherre overtar bygget. Når byggeperioden begynner, skjer fremdriften raskt, og det er derfor viktig at aktørene har forstått hvilke krav og forutsetninger som gjelder i prosjektet, ut fra prosjekteringen.

¹⁹ Løvaas, «prosjektere»

²⁰ Entrepriserettsadvokater, «Hva må prosjekterende gjøre før arbeidene er ferdig prosjektert?»

²¹ Flyen, «Samhandling og BIM tidlig i byggeprosessen», side 18

Prosjekter som benytter BIM, bruker ofte det digitale verktøyet som grunnlag for samhandling i denne fasen. Her må modellen oppdateres jevnlig i samsvar med det som enes i samhandlingen og til slutt bygges.²²

3.1.3 Driftsfasen

Når en kommer til driftsfasen, har bygget blitt overlevert til byggherre, sammen med nødvendig dokumentasjon. Denne dokumentasjonen tar for seg de administrative og operative oppgavene som tilhører bygget.²³

I prosjekter hvor en har benyttet seg av en digital tvilling, vil modellen også overleveres i denne fasen, da dokumentasjon for driftsfasen ligger i modellen.²⁴ Som vi skal se i oppgaven, har den digitale tvillingen flere bruksområder i driftsfasen.

3.2 Bygningsinformasjonsmodeller (BIM)

En bygningsinformasjonsmodell er en digital 3D-modell av et bygg som kan brukes i alle faser av et byggeprosjekt, fra skisseforslag til bygget skal rives. Likeså en prosess som brukes til å designe, hente informasjon og visualisere de viktigste funksjonene og bygningsdelene til et bygg, i en virtuell modell. Barnes og Davies definerer BIM slik:

«At its most basic level, BIM is a process that is used to design, understand and demonstrate the key physical and functional characteristics of a building on a 'virtual' computerised model basis. BIM therefore provides the opportunity to concurrently design and visualise the building in 3D.»²⁵

En komplett BIM inneholder informasjon for hver unike bygningsdel fra alle fag som er med i byggeprosjektet, og danner grunnlaget for å senere kunne lage en digital tvilling.²⁵

²² Anskaffelser, «Utførelse av et bygg- eller anleggsprosjekt»

²³ Sander, «Driftsfasen til selskapet»

²⁴ 2017, Oppbevaring av dokumentasjon for driftsfasen, §4-2, https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/4/4-2/?fbclid=IwAR0myReVYsEtrY1pJsdR7Exw8tdxShghrEcQF4YbBptEHE_OsmKg9P1E9Yw

²⁵ Barnes & Davies, *BIM in Principle and Practice*, (London: ICE Publishing) 2015, side 5-17

3.2.1 Digitalisering av byggebransjen i Norge

Som en reaksjon på nedgangen i byggebransjens produktivitet, satses det på digitalisering.²⁶ Statsbygg, som er en stor aktør i norsk byggebransje, har i de siste tiårene stilt flere krav til digitaliserte byggeprosesser.²⁸ Dette i form av krav om BIM og papirløse byggeplasser. I 2019 opprettet de en egen avdeling for digitalisering og utvikling for å effektivisere byggeprosjekter. Med dette ønsker de å bruke ny teknologi gjennom hele byggeprosessen fra prosjekteringsfasen til driftsfasen.²⁷ Dette betyr at det nå settes høyere krav til BIM-kompetanse blant aktørene som deltar i prosjektene til Statsbygg.

I januar 2020, kom det nye krav fra Statsbygg kalt SIMBA 1.3. Kravene «illustrerer» hvor dagsaktuelt BIM og digitale tvillinger er.²⁸ I det nye kravsettet kom det seks generelle «SKAL-krav» som skal følges i alle Statsbyggs prosjekter. To av disse kravene handler om temaer som vi i casestudien har jobbet med; produktdokumentasjon gjennom GTIN-nummer og leveranse av modell «som-bygget». Kravene blir beskrevet slik:

Krav til GTIN: «Det skal i det enkelte prosjekt bestemmes omfang av bruk av GTIN som en del av produktdokumentasjon i BIM.»²⁸

Krav til leveranse av modell som-bygget: «Det skal i alle prosjekter leveres modell som-bygget. Modellen skal være korrigert for alle faktiske endringer etter ferdig godkjent detaljprosjekt og fram til ferdigstilling av bygget.»²⁸

Dette er krav Statsbygg setter for å effektivisere oppfølgingen av prosjekter for byggherre og prosjekterende, samt gjøre det enklere å sjekke at modellene er i henhold til kravene i kontrakten.²⁸

I dag brukes BIM aktivt i byggebransjen. Et eksempel på dette er det pågående foregangsprosjektet i forbindelse med utvidelsen av Haukeland Universitetssykehus, kalt BUS II. På dette prosjektet praktiserer de «papirløs byggeplass». Dette er mulig, blant annet ved hjelp det åpne standardiserte filformatet IFC.²⁹

²⁶ Statistisk Sentralbyrå, «Produktivitetsfall i bygg og anlegg»

²⁷ Statsbygg, «Statsbygg i 2019»

²⁸ Statsbygg, «SIMBA – STATSBYGGGS BIM-KRAV 1.3», side 3-7

²⁹ Personlig kommunikasjon, intervju med Even Segbø, 02.04.2020

3.3 IFC – Industry Foundation Classes

IFC er en internasjonal standard for utveksling av informasjon i komplekse bygningsmodeller og informasjonssystemer. Det skal forenkle overføringen av informasjon mellom fagene og programvarene i byggebransjen, og sikre at den nødvendige informasjonen kommer med i overføringsfasen. Fordi det er et åpent filformat, er det ikke knyttet til én bestemt programvare. De programvarene som støtter filformatet, kan benytte seg av det.³⁰

En IFC-fil kan sammenlignes med en PDF-fil, i den forstand at det lages en «frossen kopi» av informasjonen i BIMen, som gjør at informasjonen ikke kan endres. Kopien kan brukes til blant annet visualisering, måling, kollisjonstester, kostnadsanalyser og simuleringer.³⁰

3.3.1 åpenBIM

ÅpenBIM handler om å samle informasjon fra alle aktørene i et byggeprosjekt på et sted, for å fremme effektivt og feilfritt arbeid. Denne informasjonen samles i BIM-modellen, ved å bruke filformatet IFC.³¹

Aktørene kan altså benytte de programvarene som er best egnet til deres oppgaver, uten å være redd for at informasjonen og geometrien forsvinner, når de sender arbeidet sitt videre. For at samarbeidet mellom aktørene skal gå problemfritt, er det viktig at alle har en felles forståelse for hva en BIM-modell skal inneholde i de ulike fasene. Derfor er det laget en indeks som sier hvor detaljert modellen skal være til enhver tid. Dette kalles MMI – Modell Modenhets Indeks.³²

3.4 MMI- Modell Modenhets Indeks

Ved utforskning av digitale tvillinger er det relevant å dra frem modenhetsgraden av 3D-modeller. MMI (Modell Modenhets Indeks) er et verktøy som skal beskrive en BIM-modells modenhet i ulike faser av prosjekteringsforløpet. MMI har som hensikt å gjøre det lettere for de involverte aktørene å kommunisere ferdiggraden av modellen på en entydig måte. Ved å fastsette et tidspunkt for når en

³⁰ BIMconnect, «What is IFC (Industry Foundation Classes)?»

³¹ GS1 Norway, «Hva er åpenBIM?»

³² Fløisbonn et al., «MMI – Modell Modenhets Indeks», side 1-8

modell skal ha en gitt MMI-verdi (Figur 2), vil det gi muligheter for å styre prosjekteringsforløpet på en bedre måte.³³

Modell Modenhets Indeks er en videreutvikling av LOD, «Level of Development» eller «Level of detail» for å «... demme opp mot den rådende usikkerheten omkring forkortelsen LOD».³³ Ifølge Nøklebye betyr MMI og LOD i stor grad det samme, men MMI er en prosess for prosjekteringen, mer enn det geometriske.³⁴



Figur 2 prosjekteringsaktivitetene som leder frem til MMI-verdier.³³

Figur 2 beskriver i hvilke faser av prosjekteringen en har ulike MMI-verdier. Disse er delt opp i to kategorier: Geometri og informasjon.

3.4.1 MMI 100

Geometri: Objektene i modellen er bare skisser i denne fasen.³³

Informasjon: Ingen krav til informasjon på dette stadiet.³³

3.4.2 MMI 500

Geometri: Modellen skal være lik det fysiske bygget og samsvare med kravene som er satt i prosjektet. De modellerte komponentene skal være lik dem som er plassert og bygget i den fysiske konstruksjonen. Her skal størrelse, form, plassering og orienteringen stemme.³³

Informasjon: Alt av informasjon skal også være gitt i modellen, deriblant FDV-informasjon om objektene i modellen. Dette kan være lagt frem som informasjon i objektet, eller som lenke til dokumentasjon, og inneholde produsent og leverandør av objektet. Objektene skal være beskrevet korrekt, blant annet med tanke på materialet.³³

Som vi ser er MMI500 «som-bygget», dette er ønskelig med tanke på å utvikle digitale tvillinger.

³³ Fløisbonn et al., «MMI – Modell Modenhets Indeks», side 1-8

³⁴ Nøklebye, «Enabling Lean Design with Management of Model Maturity», Side 26-28

3.5 Digital tvilling

I dette delkapittelet skal vi se på hva en digital tvilling er generelt, i andre bransjer og i byggebransjen. Videre skal vi se på hva teorien sier om barrierene og driverne med digitale tvillinger.

3.5.1 Hva er en digital tvilling?

En digital tvilling er en virtuell fremstilling av en prosess, tjeneste eller et objekt, for eksempel en bygning. Formålet med å kunne gjenspeile noe fysisk i en digital modell, er å kunne forutse utfordringer, skader som kan oppstå og å utvikle effektive løsninger for objektet, allerede før det er laget.³⁵ I byggebransjen har utviklingen innen BIM-teknologi og 3D-modellering åpnet for å lage digitale tvillinger av bygg.

Konseptet rundt digitale tvillinger kom frem allerede i 2002, da NASA forsøkte å utvikle en digital tvilling av deres romskip. Først mot slutten av 2010-tallet har disse modellene ført til effektivitet. Hovedårsaken til dette er innovasjon innen det vi kaller «Internet of Things» eller IoT-enheter. IoT-enheter er fysiske produkter og sensorer som samler data og sender dem til en sky der de prosesseres og settes i system.³⁶ Slike sensorer kan for eksempel ta for seg variasjoner i temperatur eller CO₂-nivå i en bygning.³⁷ Det er en oppfatning, at disse enhetene nå gjør det mulig å skape en digital tvilling, en reell representasjon av et bygg, i en digital modell.³⁶

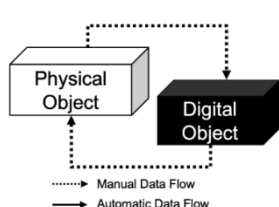
³⁵ IBM Watson IoT, «Digital twin: simple but detailed»

³⁶ Fuller et al., «Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research», side 2-5

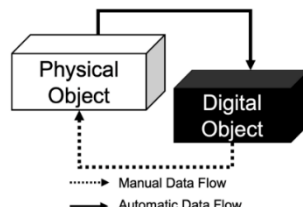
³⁷ Disruptive Technologies, «Products»

3.5.2 Ulike oppfatninger av digitale tvillinger

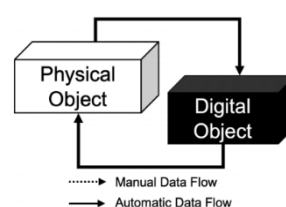
Det er ulike oppfatninger av hva en digital tvilling er, og hva som skiller den fra digitale modeller slik som en ordinær BIM. I det neste avsnittet skal vi belyse dette og forklare forskjellen. For å forklare forskjellen mellom en digital tvilling og en digital modell kan vi bruke disse illustrasjonene.



Figur 3 Digital modell³⁸



Figur 4 Digital skygge³⁸



Figur 5 Digital tvilling³⁸

I Fuller et al. sin artikkel forklares forskjellen mellom modellene ut fra hvordan informasjon og data deles mellom det fysiske objektet, og den digitale modellen. Det er tre forskjellige steg i denne forklaringen. Forskjellen kommer frem i figur 3, 4 og 5. Det første steget er en digital modell. Her er skjer det ingen automatisk utveksling av data mellom objektet og modellen (Figur 3). Det andre er digital skygge. Her utveksler det fysiske objektet data med den digitale modellen, men ikke motsatt (Figur 4). Det tredje steget forklarer en digital tvilling. Ifølge Fuller et al. skal en digital tvilling automatisk utveksle data mellom objektet og den digitale modellen (Figur 5). Ikke før dette kan det kalles en digital tvilling. Automatisk datautveksling fra både modellen og objektet gir uante muligheter. Blant annet kan modellen agere aktivt, for å justere temperatur og fuktighetsnivå. Dette er den mest tekniske og «strenge» definisjonen vi har kommet over. En annen definisjon finner vi i olje- og energibransjen.

3.5.2.1 Digital tvilling i andre bransjer

Guro Knapstad som jobber i Kongsberg Digital, beskriver en digital tvilling som følger: «En digital tvilling er en eksakt digital replika av en fysisk asset, for eksempel en olje- og gassplattform eller en vindpark». I olje- og energibransjen utvikler de digitale tvillinger og har noen av de samme bruksområdene som i byggebransjen. Knapstad forteller om tre ulike egenskaper en digital tvilling skal ha.³⁹

1. «Gi en faktisk tilstand av den fysiske asseten»
2. «Modellert tilstand av asseten»
3. «Predikert tilstand av asseten»

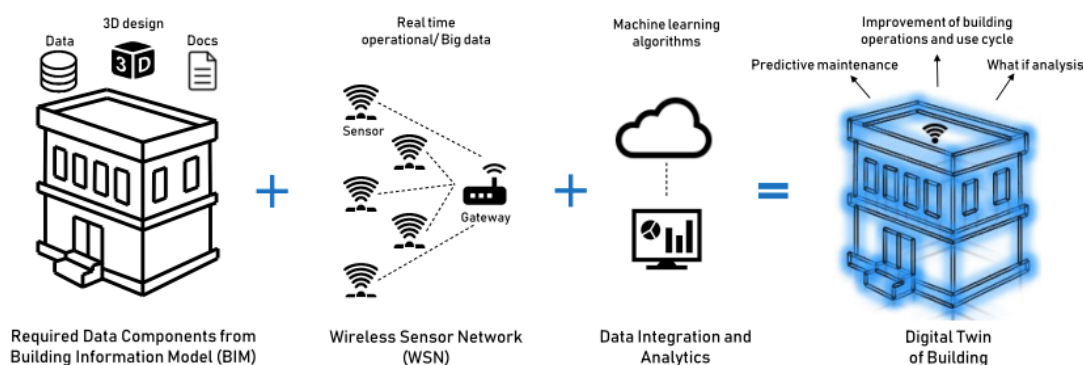
³⁸ Fuller et al., «Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research», side 2-5

³⁹ Seres, «125: EnergyTech: Guro Knapstad: Digitale tvillinger for olje- og gass»

Knapstad nevner at predikert tilstand er noe av det som gjør det verdt å lage digitale tvillinger. Med dette menes at man kan simulere seg frem i tid med den digitale tvillingen og forutse feil og situasjoner som kan oppstå. Dette gjør nemlig at en kan utføre tilstandsbasert vedlikehold, og ikke datobasert vedlikehold. En digital tvilling åpner også for at de som skal gjøre vedlikeholdsarbeid, kan gå inn i modellen ved hjelp av VR-teknologi og gjøre seg kjent med arbeidene i en virtuell modell, før de gjør det i virkeligheten. Dette skal virke kostnadsbesparende, samtidig som det er et godt HMS-tiltak. Slike bruksområder har også en digital tvilling for bygg.

3.5.3 Digital tvilling av bygg – hva består denne av?

Figur 6 viser tydelig hva som er stegene mot å lage en digital tvilling. Til å begynne med har man en bygningsinformasjonsmodell. Denne må være utfyllende med detaljert informasjon om alle objekter, til et MMI500-nivå, «som-bygget». Når bygget står ferdig, må en knytte sanntidsinformasjon fra bygget til modellen.⁴⁰ Dette gjøres ved bruk av IoT-sensorer, her er dette forklart med WSN, Wireless Sensor Network. Deretter settes dataene i system ved hjelp av Data Integration and Analytics. Samlet gir dette en digital tvilling, en eksakt replika av et bygg fremstilt i en digital modell.⁴¹



Figur 6 Oppbyggingen til en digital tvilling av et bygg⁴¹

Definisjonen av hva som er en digital tvilling varierer.⁴² Andre mener at man har en digital tvilling dersom man har en skybasert virtuell modell med relevant geometri for FDV-dokumentasjon, strukturert ned til den enkelte bygningsdel. FDV skal vi se nærmere på senere i delkapittelet. Samtidig

⁴⁰ Statsbygg, «Digital grunnmur på plass for Statsbygg»

⁴¹ Khajavi et al., «Digital Twin: Vision, Benefits, Boundaries, and Creation for Buildings», side 1-4

⁴² Bygg21, «Digitale tvillinger gjør gråstein til gull»

skal den enkelte bygningsdel være knyttet opp til produktinformasjon, slik at en kan utføre oppgaver knyttet til drift og vedlikehold i hele byggets levetid.⁴³ Enkelt forklart skal driftsansvarlig kunne bruke modellen til å se når en dør er ødelagt, eller trenger vedlikehold, finne produktinformasjon om døren, og kunne bestille nøyaktig den samme døren ved hjelp av den digitale tvillingen.

3.5.4 Drivere med en digital tvilling

En digital tvilling skal ha mulighet til å påvirke tre ting gjennom et bygg sin livssyklus; prosjektering-, utførelse- og drift av bygget. I prosjekteringsfasen skal en ha muligheten til å gjøre endringer som effektiviserer bygget på best mulig måte. Dette kan ha med klima og energi å gjøre, men også utnyttelse av rom. I utførelsesfasen handler det i stor grad om fremgangsmåten som vil være mest mulig effektiv og sikker. I driftsfasen skal informasjon om bygget sammen med sanntidsdata, samlet av IoT-sensorer, anvendes. Bruk av sanntidsdata skal gjøre det mulig å styre byggets innelima optimalt, samtidig som det skal effektivisere og gjøre vedlikehold mer forutsigbart.⁴⁴

I byggebransjen brukes teknologien til ulike formål. Et byggs digitale tvilling kan gjøre livssyklusanalyser slik at en kan forutse når det trengs vedlikehold eller utbytting av ventilasjonsanlegg. Med en digital tvilling kan en også gjøre energisimuleringer og enkelt utføre energistyring ved hjelp av IoT-sensorer. På denne måten gir teknologien et mulighetsrom til å kutte store energikostnader. Et eksempel på dette, er i Miris sitt prosjekt på Bølgen Kulturhus i Larvik, der brukte de energistyring ved bruk av IoT-enheter. Dette viste seg å redusere strømgregningen fra 1,1 million til 750 000 kroner.⁴⁵ Dette sier litt om hvilket potensial denne teknologien har for å kutte store kostnader, samtidig som det gir gode fordeler med tanke på bærekraft i bransjen.

I tillegg til styring av energisystemer og vedlikeholdsfordelene, kan teknologien gi forbedret HMS og SHA. I Statsbygg sitt pilotprosjekt med Digibygge på Gol, må alle arbeider på byggeplassen gjennom en virtuell HMS-simulering før de kan tre ut på byggeplassen. Det er åpenbart at dersom arbeidere har tilgang til å se alle detaljer ved bygget før de trer ut på byggeplassen, vil dette gi muligheter for å senke antall uønskede hendelser. Samtidig vil det være enklere å legge til rette for god SHA på byggeplassen ved at planleggerne har innsikt der det skjer ting. Simuleringer som dette sletter språkbarrieren som

⁴³ Nti, «Ny programvare sikrer enkel drift og vedlikehold gjennom bruk av åpenBIM»

⁴⁴ IBM Watson IoT, «Digital twin: simple but detailed»

⁴⁵ BIMverdi, «Energistyring med potensial til å krympe elektrisitetsforbruket med 40 prosent»

ofte er et tema på byggeplass. I stedetfor å formulere HMS-tiltak gjennom ord, kan de enkelt visualiseres i den digitale modellen.⁴⁶

3.5.4.1 FDV i digital tvilling

FDV-informasjon i digitale tvillinger åpner for flere muligheter. Eksempelvis bedre arealforvaltning, gjenbruk av data fra begynnelsen av produksjon til bygget skal driftes, og bedre visuell fremstilling. FDV i digitale tvillinger gjør at en driftsansvarlig kan planlegge vedlikeholdsarbeid ut fra modellen, og slippe unødvendige, tidkrevende operasjoner for å kartlegge problemer før de håndteres. Problemene kartlegges i den digitale tvillingen. Forutsatt at modellen er beriket med informasjon, er disse gevinstene mulig å uthente.⁴⁷

I den Amerikanske rapporten «Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry» (NIST GCR 04-867), utført av «The U.S. National Institute of Standards and Technology» (NIST), kommer det frem at de aktørene som bruker åpenBIM som basis for sitt FDV-arbeid, kan gjøre store kostnadsbesparelser. Ved å legge til rette for det praktiske FDV-arbeidet, ved å bruke en digital tvilling, skal en formodentlig spare 14 kroner per kvadratmeter i året. Et bygg på 20 000 m² sett i et 30-års perspektiv vil da kunne spare 8,5 millioner på praktiske FDV-kostnader. Arbeidskostnader knyttet til, sjekk av faktiske forhold før reparasjon og vedlikehold, oppsporing av FDV-data, fremskaffelse av dokumentasjon på byggets bærende bindingsverk, energiberegning på grunn av manglende data og reparasjoner i forbindelse med garanti, utgjør størstedelen av besparelsene i rapporten.⁴⁸

3.6.5 Barrierer for den digitale tvillingen med IoT-sensorer

Å registrere innsamlingsdata fra sensorer er en forholdsvis grei prosess, men å sette alle dataene i en sammenheng, er vanskeligere. De største utfordringene er IT-infrastruktur, sammensetting av data og datasikkerhet.⁴⁹

3.5.5.1 Datasikkerhet

Hvor ender all dataen som samles opp av IoT-sensorene? Dette er et spørsmål verdt å stille seg før en installerer sensorer i bygg. Informasjonene sensorene gir, kan infiltreres og gi tilgang til det sensorene

⁴⁶ Aga, «Slik skal Statsbygg simulere seg bort fra alvorlige ulykker»

⁴⁷ Tahir & Wong, «Integrert FDV-BIM utvikling gjennom byggeprosessen», side 20-21

⁴⁸ BuildingSMART Norge, «ÅpenBIM for FDV sparer deg for millioner»

⁴⁹ Fuller et al., «Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research», side 2-5

registrer. Dette er selvfølgelig ikke ønskelig. Selskapene som produserer sensorene, har gjerne større fokus på profitt enn sikkerhet. I tillegg er sensorene vanskelige å oppdatere, eller ikke mulig å oppdatere i det hele tatt. Resultatet er utdatert programvare med «sikkerhetshull» som gjør at uønskede kan innhente denne informasjonen. Derfor er det ekstremt viktig å ha kontinuerlig oppdatert datasikkerhet når det kommer til IoT-sensorer.⁵⁰

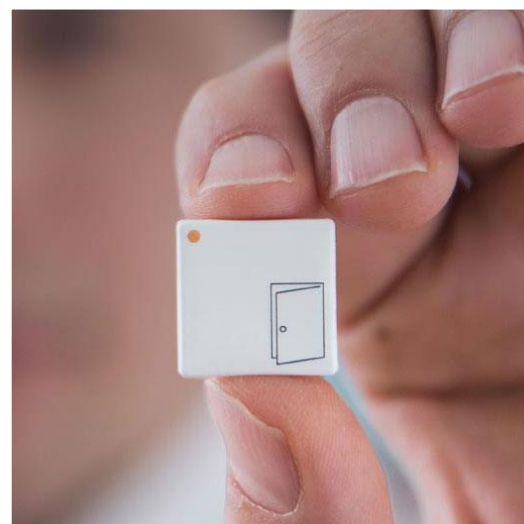
3.5.5.2 IT-infrastruktur

Det krever god IT-infrastruktur når flere hundre sensorer skal sende inn data til en felles sky. Disse dataene skal organiseres og tilrettelegges for driftsansvarlige. IT-infrastruktur er sammensetningen mellom maskinvare, programvare, internettressurser og tjenester som kreves for å opprettholde og styre et IT-miljø.⁵¹ Dette er med andre ord et relativt komplekst begrep. For å forenkle det kan en kort si at IT-infrastruktur er nødvendig for å opprettholde en god og stabil informasjonsflyt mellom sensorene og skyen.

3.5.6 Programvare for sensorer

For å sette sensordata i system, er det utviklet ulike programvarer for å sette dem i best mulig kontekst. Det finnes en rekke produsenter som tilbyr IoT-løsninger. Blant disse har vi norske Disruptive Technologies som tilbyr en rekke trådløse IoT-sensorer for bygg med 15 års batterilevetid, se figur 7.⁵²

Sensorene skal blant annet kunne måle temperatur, luftfuktighet, CO2-nivåer, spore energiforbruk og oppdage vannlekkasjer. Utfordringen er at disse innsamlingsdataene skal settes i en kontekst som gjør det forståelig for operatørene som skal bruke informasjonen. For å legge til rette for dette på enklest mulig måte, forsøker produsenter å lage en plattform, der en kan se den digitale modellen og deretter kunne klikke seg inn på en valgt sensor og lese av dataen den gir. I dag finnes det ikke fullstendige programvarer for en slik løsning, men Autodesk har publisert en demoversjon som vil kunne utfylle denne etterspørselen, et program kalt Dasher360. Dette ser vi nærmere på i kapittel «4. Resultater og diskusjon»



Figur 7 Eksempel på sensor⁵²

⁵⁰ Nettvett, «Tingenes internett»

⁵¹ Techlopedia, «IT Infrastructure»

⁵² Disruptive Technologies, «Products»

3.6 Visualisering

Visualisering viser et visuelt element i 3D (BIM-modell) som inneholder geometrisk objektinformasjon av det prosjekterte bygget. Det skal gi et bedre helhetsinntrykk av virkeligheten. BIMen har muligheten til å illustrere informasjon i modellen i sanntid. Denne informasjonen kan være kostnader, CO2-avtrykk og andre nyttige analyser. BIMen som brukes til visualisering er en digital tvilling av det som skal bygges, og oppdateres etter hvert som bygget utvikler seg.⁵³

I byggebransjen brukes digitale verktøy aktivt, til blant annet visualisering. Rådgivningsselskapet Sweco skriver at «*Visualiseringer bidrar til god informasjonsflyt i tidlige planfaser*».⁵⁴

Flere norske aktører har utviklet en metode for gjennomføring av samferdselsprosjekter, kalt Samtidig Prosjektering. Metoden skal sørge for raskere prosjektgjennomføring, mindre omkamper, bedre samarbeid og riktigere løsninger. Samarbeidspartnerne skriver følgende om visualisering:

«Det unike med visualisering som verktøy i en sesjon er at det involverer de ulike fagene i større grad. Ved å samles typisk foran en «Touch-skjerm», så deltar alle i prosessen. Istedenfor å vente på sin tur, deltar fagene i drøftingen fra starten av. Alle beslutningstakerne blir presentert for oppgaven visuelt og grafisk. Dette sparer tid, involverer flere og gir bedre løsninger!».⁵⁵

De mener videre at visualisering er viktig for at folk skal forstå problemstillingen, og at det gir et grunnlag for gode beslutninger. BIM tilbyr muligheten til å presentere og informere om funksjonelle, tekniske og estetiske løsninger i bygg.⁵⁵ Modellen kan presenteres på ulike skjermflater, VR-briller og AR-løsninger. Kvaliteten derimot, er aldri bedre enn de dataene som legges inn i modellen. Med en digital tvilling vil denne kvaliteten bli så god som mulig.⁵⁶

⁵³ BuildingSMART Norge, «Koordineringsmodell og byggeplanlegging», side 1-3

⁵⁴ Sweco, «Visualisering og modellering»

⁵⁵ Samtidigprosjektering, «Visualisering»

⁵⁶ Fremtidens bygg, «Hva skal BIM-en hete?»

3.7 Programvarer og ressurser

Det finnes mange forskjellige programvarer og ressurser knyttet til BIM- og digital-tvilling-teknologi. I dette delkapittelet skal vi se på hvilke programvarer og ressurser som er benyttet i casestudien, og hvorfor vi har brukt dem. Disse gjør det mulig å modellere, simulere og studere digitale tvillinger.

3.7.1 Autodesk Revit

Årsak for bruk: For å modellere klimatreningssanlegget og danne et grunnlag for bruk av de andre programvarene. Programvaren ble også valgt på grunnlag av tidligere kunnskap om programvaren, mulighetene programvaren åpner for og at programvaren er aktuelt og i bruk i byggebransjen.

Autodesk Revit er en programvare for bygningsinformasjonsmodellering for arkitekter, bygg- og anleggs- og konstruksjonsingeniører, elektro- og VVS-ingeniører, designere og entreprenører. Programvaren kan eksportere og importere filer i det åpne filformatet IFC for samarbeid med andre programvarer.⁵⁷ Den gjør det mulig å lage og endre flerdimensjonale objekter til å forme rom, installasjoner og bygninger. Ved å tildele objektene egenskaper og informasjon, samtidig som de har en parametrisk relasjon imellom seg, får man det en kaller «intelligente» objekter.⁵⁷ Programvaren lar brukeren lage, laste inn eller manipulere egne 3D objekter, kalt «familier» i Revit. Dette kan være alt fra stikkontakter til vinduer. På denne måten kan en sette inn eksakt geometri lik det fysiske objektet inn i modellen.⁵⁸

Det er tre typer familier:

- **Systemfamilier.** Disse familiene er forhåndsdefinerte og finnes innebygd i Revit-prosjektet.⁵⁸
- **Innlastbare familier.** Brukerdefinerte familier som er laget i en separat Revit-familiefil, og senere lastet inn i prosjektet.⁵⁸
- **På stedet familier.** Unike familier som lages utelukkende for prosjektet de lages i. Kan ikke lagres eller eksporteres ut av prosjektet.⁵⁸

⁵⁷ Autodesk, «Revit»

⁵⁸ Knittle, «Content in Revit - Families», side 3

3.7.2 Autodesk Insight

Årsak for bruk: utforske hvordan en digital tvilling kan utnyttes ved bruk av simuleringer.

Autodesk Insight er en «plug-in» programvare i Autodesk Revit som bruker avanserte simuleringssmotorer til å analysere bygningens ytelse. Programvaren gir informasjon om energieffektivitet i bygningen, samt miljømessige forhold som dagslysanalyser og eksponering for sollys.⁵⁹

3.7.3 AGACAD Wood Framing

Årsak for bruk: utforske hvordan bygningsmessige detaljer kan inngå i en digital tvilling og gjøre den «som-bygget».

AGACAD har utviklet en rekke applikasjoner for å gi bedre arbeidsflyt i Revit, ved hjelp av «add-ons». En av mulighetene programvaren tilbyr, er å sette inn bindingsverk i BIM-modellen, kalt AGACAD Wood Framing. Denne «add-on-funksjonen», automatiserer framing-prosessen av bindingsverk i Revit. Dette gjelder vegger, tak, gulv og sperrer (bærende ledd skråstilt i takkonstruksjonen).⁶⁰

3.7.4 Cobuilder Collaborate (ProductXchange)

Årsak for bruk: se hvordan informasjon kan legges inn i den digitale tvillingen, i utførelsesfasen.

Cobuilder Collaborate, erstatningen til ProductXchange, er et samhandlingssystem for byggherrer, entreprenører og håndverkere. Programvaren er en «add-on» i Revit og tilbyr automatisk innhenting av «som-bygget»-produktinformasjon, direkte fra produsent. Systemet sjekker automatisk produktinformasjonen opp mot europeiske- og nasjonale lovkrav, samt andre markedskrav. Dette skal sørge for at en har full kontroll på alle produkter og materialer som brukes på byggeplassen.⁶¹

3.7.5 Dalux Bim Viewer

Årsak for bruk: utforske hvordan informasjonen kan innhentes og visualiseres i driftsfasen av bygget.

Det danske firmaet Dalux, som jobber for kvalitetssikring ved hjelp av digitale midler, har utviklet Dalux Field, Dalux Box, Dalux FM og Dalux BIM Viewer. Dette er programvarer som støtter ulike faser i et byggeprosjekt. Dalux BIM Viewer er en programvare hvor en har tilgang til prosjektets BIM-modell via

⁵⁹ Autodesk Insight, «Insight»

⁶⁰ Autodesk, «AGACAD»

⁶¹ Cobuilder, «Cobuilder Collaborate»

en sky. Dette kan være 2D-tegninger og 3D-modeller med tilhørende FDV-informasjon. Programvaren er gratis og kan lastes ned på både mobiltelefon og nettbrett som en applikasjon. Dalux BIM Viewer kan hente modellen ved hjelp av «plug-in» i Revit eller IFC-import.⁶²

3.7.6 BIMobject

Årsak for bruk: hente objekter som kan berike den digitale tvillingen.

Nettstedet BIMobject knytter arkitekter og byggevareindustrien med teknologien rundt CAD og BIM. Produsenter og leverandører legger ut sine produkter tilgjengelig for nedlastning, der geometri og informasjon om produktet kan ligge tilgjengelig i objektet. Disse objektene kan brukes aktivt i dagens modeller.⁶³

3.7.7 MagiCAD

Årsak for bruk: hente objekter som kan berike den digitale tvillingen, fra VVS-faget.

MagiCAD Group spesialiserer seg på programvare og tjenester for byggebransjen. BIM-programvaren, MagiCAD, inneholder VVS-designfunksjoner og integrerte ingeniørberegninger for Revit.⁶⁴

MagiCAD Connect, som er brukt i vår casestudie, er en «add-on» for Revit og Autocad, brukes for å hente objekter tilgjengelige fra MagiCAD cloud. Produktene kan da bli satt inn direkte i prosjektet som BIM-objekter, med korrekt informasjon fra produsent.⁶⁴

3.7.8 Dasher360

Årsak for bruk: visualisering av sensordata i en digital tvilling.

Dasher360 er et pilotprosjekt som skal gjøre det mulig å sette sensordata i sammenheng med en 3D-modell. Dasher gjør det mulig å få en fullstendig oversikt over sensordata i et bygg. I programvaren skal driftsoperatører kunne innhente sanntidsdata for et gitt bygg. Dette er det første programvaren som muliggjør samling av data på en slik oversiktlig måte.⁶⁵

⁶² Dalux, «Dalux BIM-viewer»

⁶³ Bimobject, «Dream bigger»

⁶⁴ MagiCAD, «MagiCAD Connect for Revit»

⁶⁵ Dasher360.com

4. Resultat og diskusjon

I dette kapitlet skal vi se på funn i casestudien, relevant fagstoff og løfte frem egne erfaringer knyttet til prosessen med å lage en digital tvilling.

Teorien presenterer ulike oppfatninger, synspunkter og meninger om hva en digital tvilling er. Likevel er det få som beskriver hvordan man faktisk utvikler en. Det er dette vi har forsøkt å finne ut med casestudien. I vår fremgangsmåte har vi brukt egen kompetanse og forslag fra intervjuobjekter for å utforme modellen. I resultatdelen går vi inn på overordnede temaer som geometri, informasjon, visualisering, bruk av programvarer og sensorer. Funnene blir diskutert fortløpende for å fremme hvordan disse kan påvirke de ulike fasene i et byggeprosjekt. Rekkefølgen på emnene har utgangspunkt i hvordan den digitale tvillingen har utviklet seg gjennom casestudien. Intervjuobjektene innspeil vil også bli lagt frem og drøftet her.

4.1 Geometri i modellen

Geometrien i modellen er vesentlig- og danner rammene for en digital tvilling. Videre skal vi presentere hvordan vi har arbeidet med 3D-objektene i modellen, samt dimensjonene på disse og hvordan de plasseres i forhold til hverandre. Noen av valgene som har blitt gjort på dette stadiet vil ha betydning for informasjonen i modellen, og danner grunnlaget for videre føringer og arbeid.

4.1.1 Modellering og detaljtegninger

4.1.1.1 Resultat

Til å begynne med, skal vi se på hvordan en setter sammen ulike bygningselementer i en 3D-modell. Alle detaljer i en slik sammensetning er forenklet, fordi det er tidkrevende å modellere. Samtidig forteller intervjuobjekt II, at en digital tvilling skal modelleres slik det skal bygges.⁶⁶ Et eksempel på dette, som vi møtte på under casestudien, er hvordan en vegg skal møte etasjeskiller. Denne

⁶⁶ Personlig kommunikasjon i E-post med Øystein Vindenes, 01.05.2020

Intervjuobjekt II forteller at detaljtegninger kan vises til på en enklere måte. Denne metoden innebærer å linke detaljtegninger direkte til kilden, i dette tilfellet Byggforsks eksempeltegning for passivhus (BEP) (Figur 8). På denne måten slipper en å tegne opp veggen detaljert (Figur 10), da informasjonen allerede ligger tilgjengelig et annet sted.⁶⁹

4.1.1.2 Diskusjon

Detaljtegninger er noe byggebransjen er avhengig av, da *alt* som skal bygges ikke blir modellert. Ved prosjektering kan detaljtegninger være et godt verktøy for kompliserte elementer og virke tidsbesparende, da detaljen kun skal illustreres i et 2D-plan.

Prosessen ved utarbeidelse av detaljtegninger er krevende. Dette kan virke unødvendig og ineffektivt når detaljtegningen baserer seg på noe som allerede er tegnet. Intervjuobjekt II hadde en løsning for dette. Ulempen med denne løsningen er at ikke alle bygg blir utformet på grunnlag av for eksempel BEP, og et minste avvik fra dette vil resultere i misvisende informasjon. Dette løser heller ikke utfordringen med å ha informasjon to forskjellige steder, altså modell og detaljtegning i «vedlegg».

I utførelsesfasen vil detaljtegningene føre til at all informasjon ikke er samlet, noe som er et problem, spesielt hvis det skal bygges etter modellen. Som følge av dette, kan detaljer bli glemt og ulike fagfelt kan komme i konflikt i byggeprosessen. Eksempelvis at en viktig stender kuttet av en teknisk installasjon. Slike problemer kan spores tilbake til prosjekteringsfasen, der ulike fag samhandler gjennom åpenBIM, men ikke har alt av informasjon tilgjengelig fordi den ligger i egne detaljtegninger. Med andre ord er ikke alt modellert, slik som det skal være i en digital tvilling. Ved å modellere «som-bygget», kan en unngå detaljtegninger. Dette kan oppfattes som en driver for digitale tvillinger i byggebransjen.

⁶⁹ Personlig kommunikasjon, intervju med Øystein Vindenes, 15.04.2020

4.1.2 Valg av objekter

4.1.2.1 Resultat

Valg av objekter har vært krevende, da vi har prøvd å finne disse via nettsider som tilbyr Revit-familier. Som nevnt er Revit bygget opp av familier. Et vindu er en familie og for at dette skal ha riktig geometri opp mot et produkt, må det enten lages selv eller lastes ned som en Revit-familie. Det finnes også systemfamilier, altså standardiserte familier som lastes ned fra biblioteket til programvaren. Disse kan brukes for å gjenskape geometrien til det tenkte produktet. Dette er noe vi har valgt å bruke i enkelte tilfeller, da flere produsenter ikke har geometri tilgjengelig for sine produkter.

Erfaringsmessig er vinduer ikke standardiserte, da objektet ofte må spesialiseres for det enkelte tilfellet. I KTC har vi løst dette ved å ta i bruk vinduer som har tilnærmet lik geometri som produktet vi ønsker å bruke. På denne måten får vi dimensjonene til å stemme, slik at elementer knyttet til vinduet ikke kolliderer når det skal bygges.



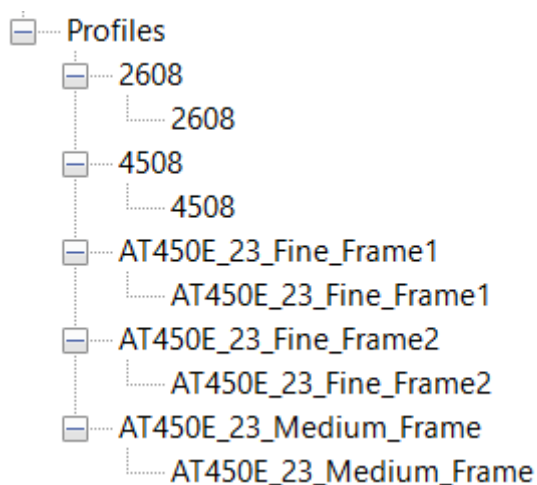
Figur 11 Produkt som skal brukes⁷⁰



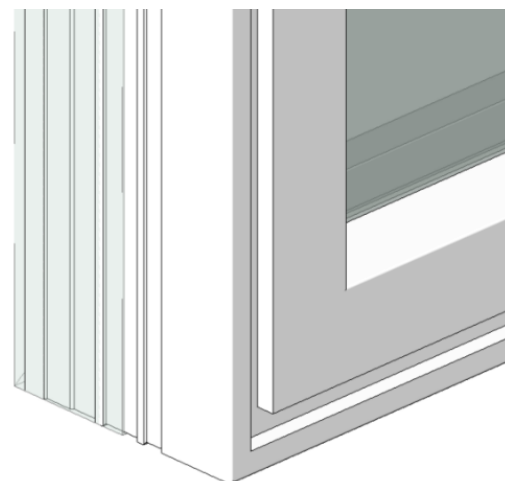
Figur 12 Objekt brukt i Revit.

⁷⁰ Gilje, «Fast eXtra alu»

Figur 11 viser produktet som skal brukes i bygningen og figur 12 viser objektet som er satt inn i modellen. Vi har altså prøvd å finne et objekt som representerer produktet i form av geometri, slik at det tilsvarer objektets respektive komponent i det fysiske bygget, som er ett av kravene for et MMI 500-nivå.⁷¹



Figur 14 Ulike elementer som inngår i oppbyggingen av familien.



Figur 13 Oppbyggingen av vinduet inne i familien.

I en digital tvilling er det ønskelig å bruke den eksakte geometrien til objektet. Et alternativ for å oppnå dette, er å ta i bruk verktøyene i programvaren og lage en innlastbar familie. Alt av dimensjoner på hver minste detalj må være tilgjengelig og det er en krevende prosess i Revit, som vist i figur 13 og 14. Her oppleves brukergrensesnittet som krevende, og det tar lang tid å gjennomføre en slik prosess for hvert element i modellen.

4.1.2.2 Diskusjon

For at en skal lage en digital tvilling, er det vesentlig at objektene er lik, både i modellen og i det fysiske bygget. Å ta i bruk systemfamilier eller produkter som ligner på det fysiske objektet, er en barriere i veien mot den digitale tvillingen. Dette fordi det fysiske objektet ikke blir modellert eksakt likt når en bruker systemfamilier, og en har da ikke en digital tvilling per definisjon. Dette skjer på grunn av tilgjengelighetsgraden av de digitale objektene som tilsvarer de fysiske produktene. Det er begrenset med leverandører og produsenter som utvikler BIM-objekter av sine produkter. Dette kan anses å være

⁷¹ Fløisbonn et al., «MMI – Modell Modenhest Indeks», side 1-8

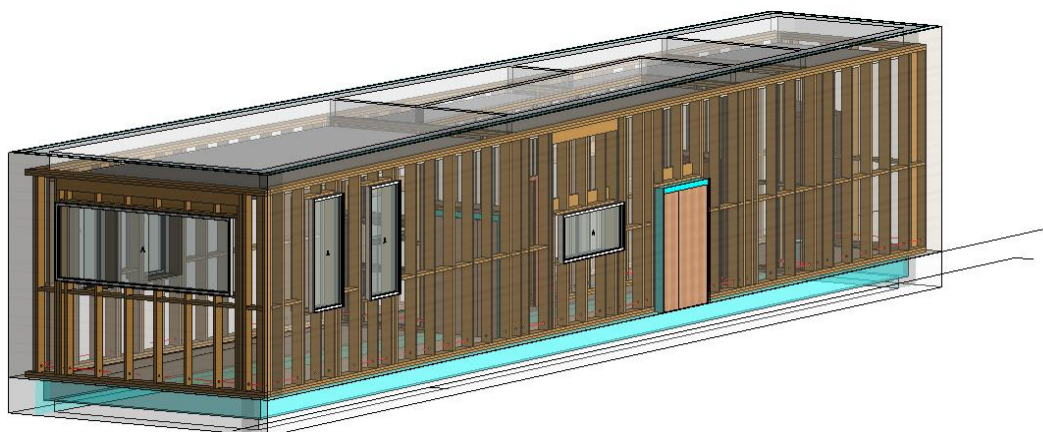
grunnlaget for barrieren. Verktøyene for å utvikle BIM-objektene er til stede. Dermed finnes det muligheter for å skape en modell som tilfredsstillende MMI500-nivå, men det krever at produsentene og leverandørene investerer tid og penger. Interessen for å få dette konkurransefortrinnet, må derfor være der.

Denne typen modellering er noe som ikke egner seg for de vanligste byggeprosessene vi har i dag, der prosjekterende og utførende er to separate aktører. For selv om prosjekterende plasserer et objekt med gitte dimensjoner, vil utførende finne noe som ligner på objektet i modellen, oftest til billigst mulig pris. Intervjuobjekt III forteller at utførende ikke bruker modellen som en løsning, men et verktøy for å tolke hva som skal bygges.⁷² Prosjekterende har da ikke mulighet til å påvirke modellen med tanke på geometrien til det valgte produktet. Dette må da endres fortløpende i utførelsesfasen. Intervjuobjekt I forteller at viktige komponenter som har stor betydning for geometrien endres, men ikke alle.⁷³ Med dette kan en si at systemfamilier skaper et spillerom for hvordan geometrien ender opp og dermed forenkler prosjekteringen. På den andre siden kan det sette stoppere for den digitale tvillingen.

4.1.3 AGACAD Wood Framing - Implementering av bindingsverk i modell

4.1.3.1 Resultat

For at den digitale tvillingen av KTC skal bli komplett, må bindingsverk inngå i modellen. Intervjuobjekt I og II forteller at bindingsverk er noe som går seg til på en byggeplass, og at dette ikke er vanlig å bestemme i prosjekteringsfasen.⁷⁴ Til tross for dette har vi likevel satt inn bindingsverket i modellen



Figur 15 Stenderverk beregnet i AGACAD Wood Framing.

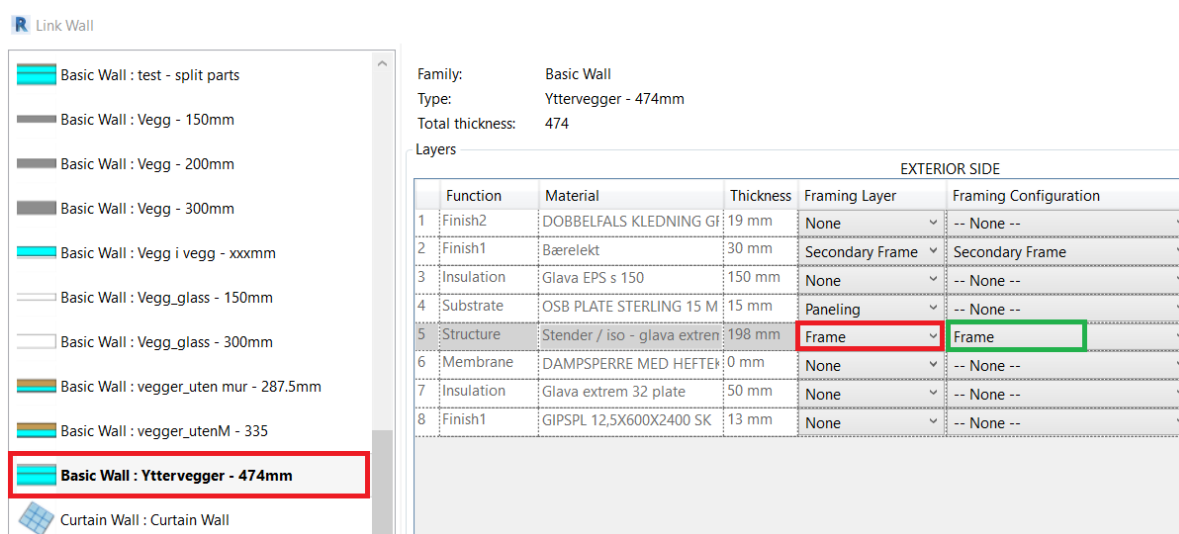
⁷² Personlig kommunikasjon i E-post med Ånond Viki, 10.05.2020

⁷³ Personlig kommunikasjon, intervju med Even Segbø, 02.04.2020

⁷⁴ Personlig kommunikasjon, intervju med Even Segbø og Øystein Vindenes, 02.04.2020, 15.04.2020

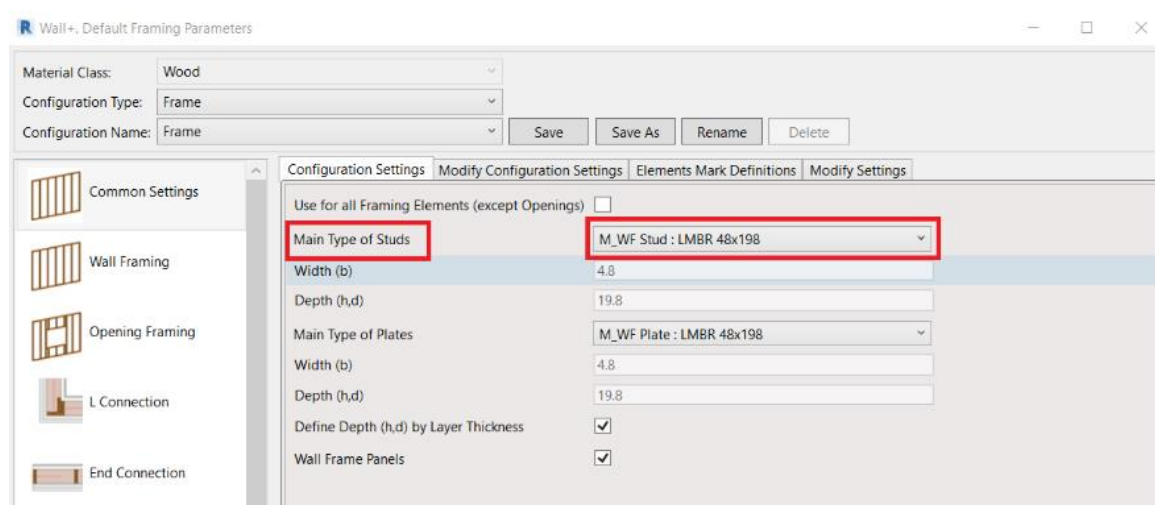
KTC (Figur 15), ved bruk av programvaren AGACAD Wood Framing, for å se på mulighetene en digital tvilling gir.

AGACAD Wood Framing er relativt enkelt å ta i bruk. Det er noen viktige punkter som må innarbeides før resultatene kommer frem. Elementene som skal frames, må knyttes til programvaren. Dette gjøres ved bruk av «Link»-funksjonen fra Revit til AGACAD, som vist på Figur 16.



Figur 16 Linking av vegger i Revit til programvaren

Programvaren leser veggene og modellerer bindingsverket ut fra standardinnstillinger, som vist på figur 17. Brukeren kan selv endre disse, om nødvendig. I KTC, er tykkelsen på stenderverk 198mm, dette må da legges inn.



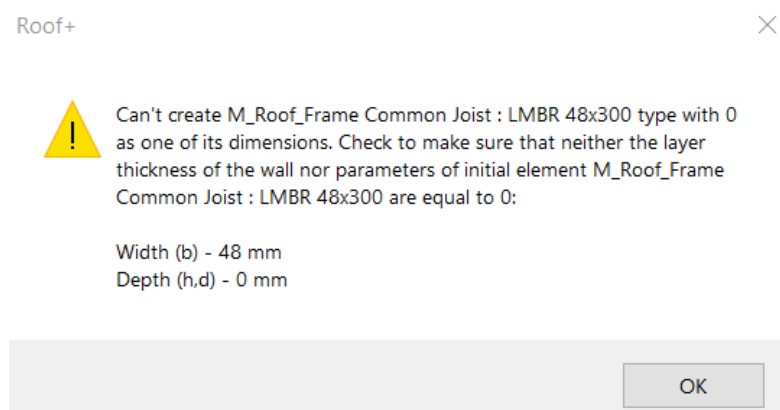
Figur 17 Innstillinger for bindingsverket av vegger.

En utfordring med programvaren er den fagmessige bygningskompetansen som kreves, for å vite om det modellerte bindingsverket er riktig. Vi har derfor modellert ved bruk av standardinnstillinger, uten å ta i bruk de ulike verktøyene tilgjengelig i programvaren. Stenderverket har ikke blitt fullstendig fordi taket er uforståelig for programvaren, som vist på figur 18.



Figur 18 Stenderverk stopper før tak

AGACAD Wood Framing vil heller ikke sette inn bindingsverk i ekstraordinære objekter, slik som det buete taket i KTC (Figur 19).



Figur 19 Feilmelding ved framing av tak

4.1.3.2 Diskusjon

Proessen ved bruk av programvaren AGACAD Wood Framing er forholdsvis enkel, men det var utfordringer knyttet til framing av ekstraordinære komponenter, som taket i KTC. Dette forteller oss at slike programvarer vil ha vanskeligheter med å løse problemet, hvor alt ikke blir modellert i den digitale tvillingen. Det kan også være utfordrende for personen som står ansvarlig for modelleringen, da det krever god forståelse for tømmerfaget. En metode for å løse dette er samarbeid med tømmer i prosjekteringsfasen, som vet hvordan bindingsverket skal være og hvordan de ønsker å utføre det. I utførelsesfasen krever det at tømmerne bygger nøyaktig ut fra modellen slik at en videre i driftsfasen kan stole på at modellen er lik det fysiske bygget.

En driver for å ta i bruk slike programvarer er pre-cut eller modulbygg. Ved å vite informasjon om lengde, tykkelse og antall bjelker, kan en forhåndskutte («pre-cutte») materialet før det fraktes til byggeplass. Dette kan gi miljømessige gevinster, da det forekommer mindre svinn, noe som er aktuelt i forhold til miljøsertifisering, BREEAM, av bygg. Samtidig ligger den korrekte informasjonen inne i modellen, dette kan utnyttes i driftsfasen, og spesielt ved rivning av bygg.

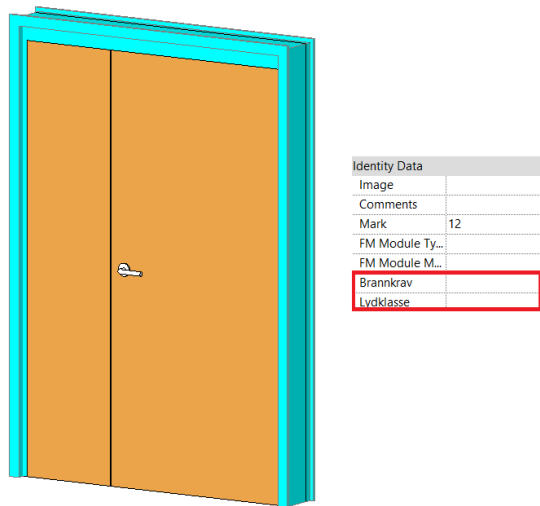
4.2 Informasjon i modellen

Vi ser nå på hvilke metoder vi har brukt for å berike den digitale tvillingen med informasjon utover det geometriske. Som nevnt tidligere i oppgaven, er informasjonen svært sentral for å skape en digital tvilling. I tillegg er informasjonen essensiell med tanke på samhandling i åpenBIM, og delinger i IFC-formatet. Den påvirker alle fasene av byggets livssyklus.

4.2.1 Grunnleggende informasjon

4.2.1.1 Resultat

Vi har valgt å legge til spesifikke produkter i modellen, i stedet for standardiserte objekter. Dette er slik at vi får vist til de samme produktene senere i oppgaven. Et produkt kan for eksempel være en dør eller et vindu. Erfaringsmessig er metodikken i prosjekteringsfasen å legge til prosjektkrav for de forskjellige objektene. Dette slik at utførende kan basere sine innkjøp på sammenhengen mellom geometri og krav. Krav legges da til som parametere ved objektet, eksempelvis lydkrav og brannkrav, som vist på figur 20.



Figur 20 Parametere for krav til objektet i Revit.

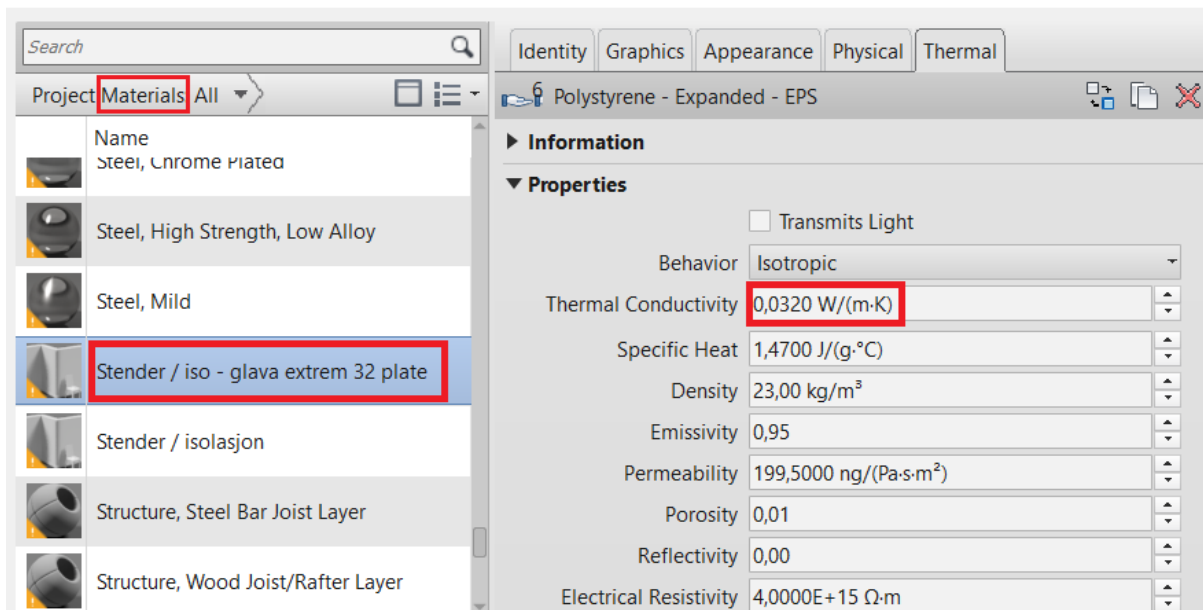
Ved å velge produkter i prosjekteringsfasen har vi kunnet vise til dette via modellen. I stedet for å bare skrive «isolasjon», legger vi til hvilken type i form av et produkt med tilhørende informasjon. Denne informasjonen legges da ved objektet.

Layers					
EXTERIOR SIDE					
	Function	Material	Thickness	Wraps	Structural Material
1	Finish 2 [5]	DOBBELFALS KLEDNING GRAN 1	19.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Finish 1 [4]	Bærelekt	30.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Thermal/Air Layer [3]	Glava EPS s 150	150.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Substrate [2]	OSB PLATE STERLING 15 MM TG2	15.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Core Boundary	Layers Above Wrap	0.0		
6	Structure [1]	Stender / iso - glava extrem 32 pl	198.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Core Boundary	Layers Below Wrap	0.0		
8	Membrane Layer	DAMPSPERRE MED HEFTEKANT	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	Thermal/Air Layer [3]	Glava extrem 32 plate	50.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	Finish 1 [4]	GIPSPL 12,5X600X2400 SK	12.5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
INTERIOR SIDE					

Figur 21 Informasjon om produktet i «material» i Revit.

Som vist på Figur 21, får den strukturelle delen av veggen, altså den bærende, lagt ved informasjon om hvilke materialer som er brukt. Laget skal inneholde stender og isolasjon. Produktnavn trenger ikke å fremgå her, da dette vises ved en annen parameter, som vist senere i oppgaven. I «material» ligger det også informasjonen om produktet, Glava extreme 32 plate, i kombinasjon med stenderverk (Figur 22).

Material Browser - Stender / iso - glava extrem 32 plate



Search

Project Materials All

Name
Steel, Chrome plated

Steel, High Strength, Low Alloy

Steel, Mild

Stender / iso - glava extrem 32 plate

Stender / isolasjon

Structure, Steel Bar Joist Layer

Structure, Wood Joist/Rafter Layer

Identity Graphics Appearance Physical Thermal

Polystyrene - Expanded - EPS

Information

Properties

Transmits Light

Behavior Isotropic

Thermal Conductivity 0,0320 W/(m·K)

Specific Heat 1,4700 J/(g·°C)

Density 23,00 kg/m³

Emissivity 0,95

Permeability 199,5000 ng/(Pa·s·m²)

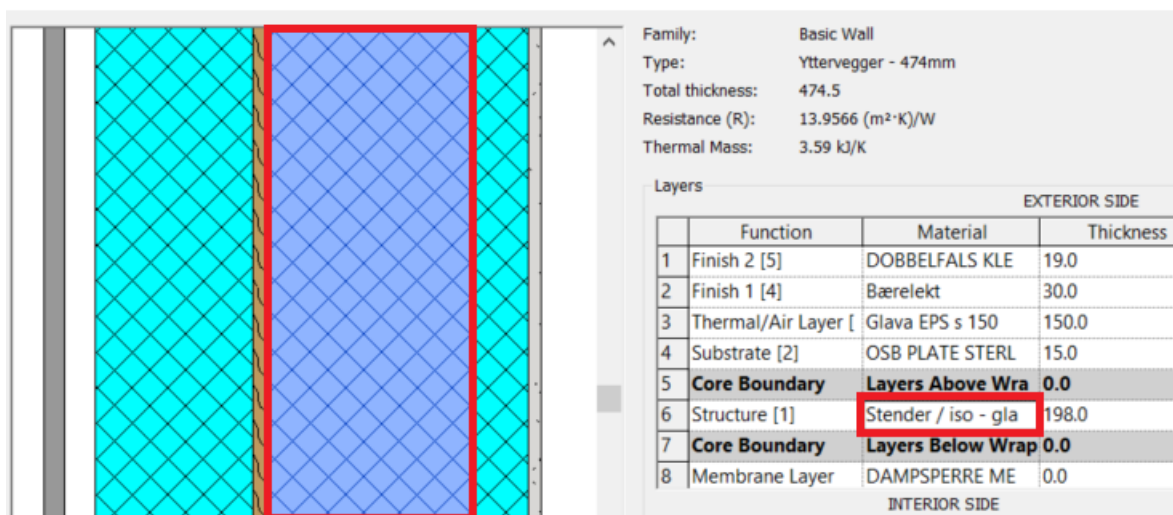
Porosity 0,01

Reflectivity 0,00

Electrical Resistivity 4,0000E+15 Ω·m

Figur 22 Egenskaper for produktet lagt inn i «materials» (Revit).

Isolasjonen ligger inne som et eget lag, og kan vises ved geometri i modellen (Figur 23). Det ligger nå inne hvilket materiale som er tenkt og hvilket produkt i form av tekst. I utgangspunktet ligger ikke stenderen inne i modellen, som vi har vist til tidligere, derfor må det komme frem her. Dette leser også andre programvarer ved bruk av IFC-formatet, slik at andre aktører via åpenBIM vet hva den bærende delen av veggen inneholder.



Figur 23 Sammenheng mellom geometri og informasjon (Revit).

4.2.1.2 Diskusjon

Ved konstruksjon og berikelse av en digital tvilling er forhold som både kan virke fremmende og begrensende på utviklingen av denne, også referert til som barrierer og drivere. I KTC har vi programmert grunnleggende data ved å sette inn informasjon om enkelte spesifikke produkter. Ved bruk av denne metoden, ligger det korrekt informasjon inne i modellen.

Det kan diskuteres hvor detaljert informasjonen skal være. Intervjuobjekt II forklarer at prosjekterende ofte ikke får bestemme produktene. Derfor er det mulig å legge til krav for objektene.⁷⁵ På denne måten kan for eksempel et vindu ha et bestemt krav for u-verdi, lyd og brann. Da vil vinduet utførende velger, alltid være godt nok, målt opp mot informasjonen som allerede ligger i modellen. I prosjekteringsfasen setter dette en del begrensninger for modellen, dersom det skal være en digital tvilling. Hvis den nye informasjonen, valgt av utførende, skal inn i modellen, må den hentes inn i utførelsesfasen av bygget. Intervjuobjekt II forteller at dette kan være krevende for de prosjekterende der «ansvarlige for dokumentasjon» hos de utførende, kan ha gått videre til et nytt prosjekt eller lignende⁶³. Denne samhandlingsprosessen er i dagens byggebransje utfordrende. Intervjuobjekt III forteller at bransjen har en høy gjennomsnittsalder, med liten interesse for digitale endringer. Dette kan sees på som barrierer for den digitale tvillingen.⁷⁶

⁷⁵ Personlig kommunikasjon, intervju med Øystein Vindenes, 15.04.2020

⁷⁶ Personlig kommunikasjon i E-post med Ånond Viki, 10.05.2020

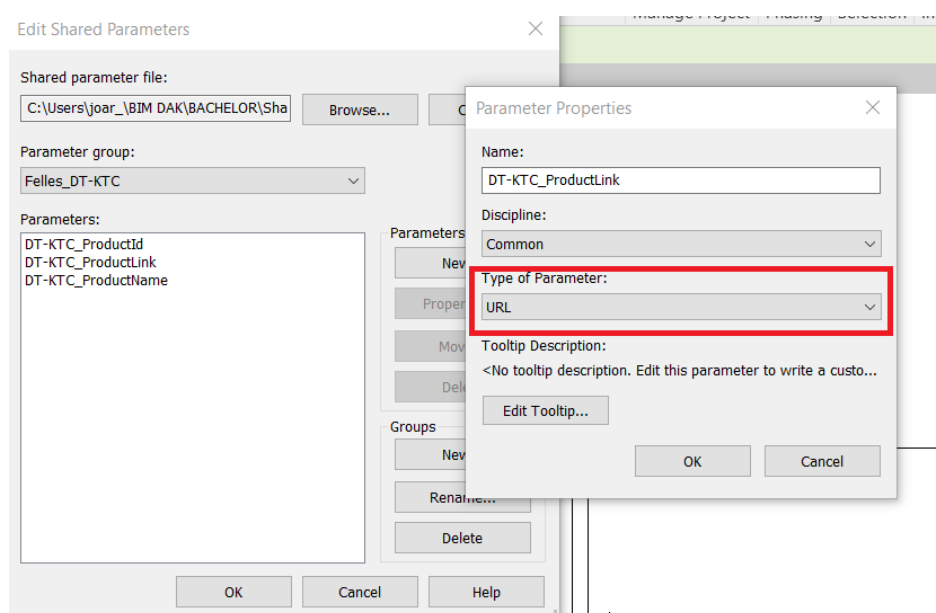
I utførelsesfasen av bygget kan arbeidere møte på problemer hvis ikke modellen er oppdatert med korrekte produkter, når det bygges etter modell. I driftsfasen kan informasjonen i modellen vike fra virkeligheten, der geometri og informasjon ikke samsvarer med det som er bygget, slik som MMI500 krever. Dette kan anses å være barrierer for den digitale tvillingen.

4.2.2 FDV-dokumentasjon

4.2.2.1 Resultat

Digital FDV-dokumentasjon åpner for flere muligheter, blant annet som vi har sett i teoridelen, kan det være kostnadsbesparende. Ved å legge inn produkter i prosjekteringsfasen med tilhørende produktinformasjon, kan dette følge modellen som et digitalt vedlegg og utnyttes i driftsfasen. Intervjuobjekt II forteller at med en digital tvilling forenkles tilgangen til FDV-dokumentasjon.⁷⁷

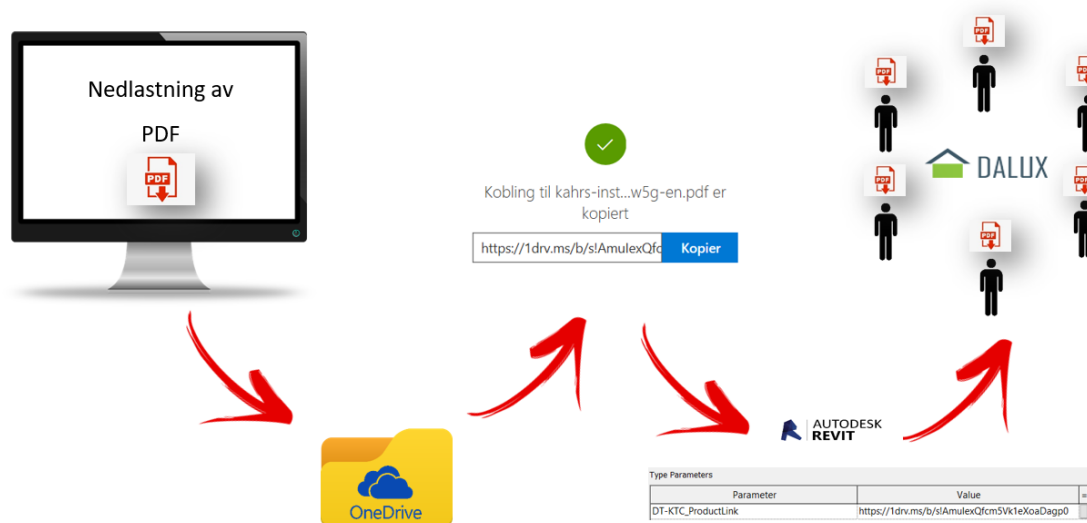
For å implementere FDV-dokumentasjon i modellen, må det lages et oppbevaringssted for den. Dette er gjort ved å lage en «shared parameter» for hvert element der informasjonen ønskes, for eksempel dører, vinduer og parkett. Informasjonen i form av en PDF-fil er lastet ned fra leverandøren sin nettside for det gitte produktet. Parameteren kan inneholde ulik type informasjon, i dette tilfellet er det blitt laget en «shared parameter» for URL, som vist i figur 24.



Figur 24 Opprettelse av «shared parameter» for produktlink i Revit.

⁷⁷ Personlig kommunikasjon i E-post med Øystein Vindenes, 01.05.2020

Grunnen til at parameteren skal inneholde en URL, er basert på måten vi ønsker å vise informasjonen. Lenken fører altså til en visning av PDF-filen via en nettside. Her skal det være mulig for alle involverte å ta ut informasjonen. Derfor må brukervennligheten være av god kvalitet, se figur 25.



Figur 25 Informasjonsflyten ved implementering av FDV i modellen

Alt av dokumentasjon lagres derfor i en sky (skylagring), slik at det er mulig for brukeren å hente PDF-filen på en annen enhet enn der informasjonen er lagret. Ved bruk av denne metoden, må personen ansvarlig for PDF-filene manuelt legge dem til i tilhørende mappe og under parameteren i programvaren. Derfor kan denne metoden være tidkrevende dersom du har et bygg med tusenvis av forskjellige produkter. Et eksempel på hvordan denne informasjonen vises kommer frem senere i oppgaven (delkapittel «4.4.2 Dalux BIM-viewer – bruk av digital tvilling i driftsfasen»). Her har vi brukt programvaren Dalux, som forenkler brukergrensesnittet for de involverte.

4.2.2.2 Diskusjon

Ved å legge inn PDF-dokumentasjon digitalt, får vi mulighet til å hente denne ut i en fremtidig driftsfasen. Den anvendte metoden, gjør at man alltid kan ha informasjon om produktene som ligger inne i modellen. Dersom et produkt skulle skiftes ut, kan informasjonen om dette produktet enkelt endres ved å bytte URL. Da må det også lages en ny URL i skyen. FDV-dokumentasjonen i form av PDF-filen til produktet, kan være en «back-up», dersom informasjonen og geometrien i modellen er misvisende.

Som nevnt forteller intervjuobjektet at dette kan være tidkrevende, da informasjonen må komme fra en annen kilde. For at denne informasjonen skal flyte bedre, må prosjekterende være med på å bestemme på forhånd hva som skal bygges, slik at informasjonen ligger der fra første dag, uten å måtte byttes. Intervjuobjekt II forklarer at dette dessverre ikke kommer til å skje med det første.⁷⁸

Ved å gjøre godt arbeid med FDV-dokumentasjon i utførelsesfasen, kan en ifølge rapporten «Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry» gjøre betydelige besparelser i driftsfasen.⁷⁹ Dette kan anses å være en driver for den digitale tvillingen.

Et spørsmål en bør stille seg er om kostnaden som følger med å lage en digital tvilling med FDV-informasjon, er mindre enn det en sparer i løpet av byggets driftsfase. Dette kan tenkes, eksempelvis for større bygg, hvor store gangavstander gjør det vanskelig å kartlegge hvor problemene oppstår. I større bygg vil også kostnadsbesparelsene øke, fordi en dekker større areal.⁷⁹

Kostnadsbesparelsene gjøres også over et lengre tidsperspektiv, og interessen til byggherre har betydning for om en i det hele tatt ønsker å bruke ressurser på å lage en digital tvilling av bygget med tilhørende FDV-informasjon. Samtidig må produktleverandørene legge inn informasjonen som trengs i tvillingen, og dette må gjerne være et krav som kommer fra byggherre.

4.2.3 ID og produktvalg

4.2.3.1 Resultat

Som Statsbyggs BIM-krav Simba sier, er det krav om at produkter har identifikasjon (ID). Store deler av prosessen frem til valg av produkter i modellen, har blitt valgt ut fra om de har tilhørende nummer i form av ID. Begrensningen ble satt til:

- Varenummer
- NOBB-nummer
- GTIN

⁷⁸ Personlig kommunikasjon, intervju med Øystein Vindenes, 15.04.2020

⁷⁹ BuildingSMART Norge, «ÅpenBIM for FDV sparer deg for millioner»

Med GTIN kan en spore opp unike produkter, i motsetning til de andre numrene, som er mer begrenset. Dette, sett i sammenheng med geometri gjør prosessen vanskeligere, da flere krav skal innfri på et bestemt produkt.

Fremgangsmåten for isolasjon i KTC var å starte med søk via BIMObject. Der finnes det også materialer som kan brukes i familier. Disse inneholder informasjon som kan være relevant, som for eksempel u-verdi for produktet. Siden vi ikke klarte å finne et produkt for isolasjon med GTIN-nummer, endte vi opp med å bruke Glava i kombinasjon med det generiske isolasjonsmaterialet i Revit. Isolasjonen endres ut fra informasjon gitt av produsenten, slik at materialet gjenspeiler produktet.

Produktet vi valgte hadde både varenummer og NOBB-nummer tilgjengelig, som vist på figur 26. Vi valgte å implementere NOBB-nummer, fordi dette er mer spesifikt enn varenummer.

GLAVA EPS S 150

Glava EPS S 150 egner seg for telesikring i markgrunne fundamenter, garasjer og inngangspartier. Isolering av gulv på grunn av tyngre konstruksjoner. Produktet har glatt kant.

Kortidslast: 150 kN/m² (NS-EN 826)
Langtidslast: 45 kN/m² (v/2% def. 50 år NS-EN 1606)

Glava EPS S 150 inneholder ikke Ozon-nedbrytende KFK-gasser



Last ned bilde **Hi** **Lo**

[+ Legg i leseliste](#) [↶ Del siden](#) [📄 Last ned PDF](#)

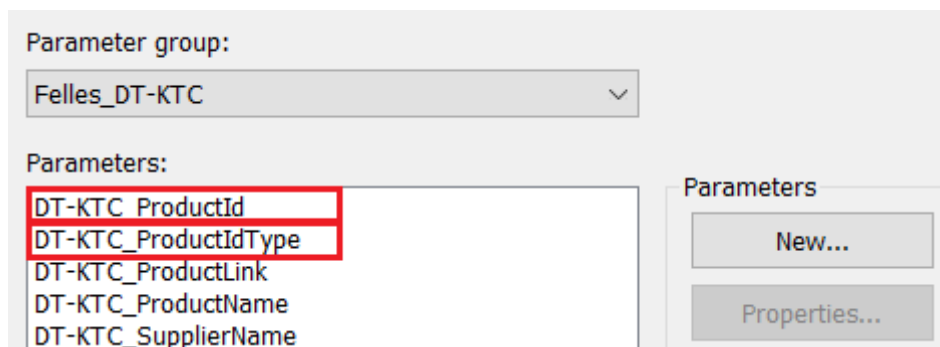
35 F

DIMENSJON / BESKRIVELSE						
Dimensjon/ beskrivelse	INNHOLD PR. PAKKE			NOBB-nr	Varenr	
	stk		m ²			m ³
10 x 600 x 1200 mm	60	*	43.20	0.43	21055934	430101

Figur 26 NOBB-nr og Varenr fra produsentens nettside⁸⁰

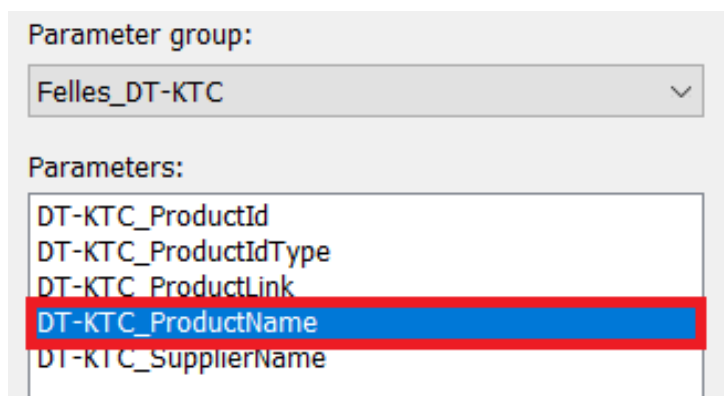
Det er lett å implementere dette i modellen, da det utføres på samme måte som FDV-dokumentasjonen. Først oppretter man en «shared parameter» for ID-type. Dette kan for eksempel være GTIN, NOBB eller varenummer. Deretter oppretter man en «shared parameter» for ID-nummer. På denne måten kan man beskrive alle produkter uavhengig av ID-type, se figur 27.

⁸⁰ Glava, «Glava EPS S 150»



Figur 27 Parametere for produktID og produkttype i Revit.

Som nevnt innledningsvis i kapittelet er produktnavn lagt ved i informasjonen av materialet. Dette legges også ved som en egen parameter, slik at informasjonen er samlet med de andre parameterne (Figur 28).



Figur 28 Shared parameter for produktnavn (Revit)

Dette gir muligheter da en ved bruk av andre programvarer, som for eksempel Dalux, kan vise til informasjonen ved å trykke på objektet. Dette kommer tydeligere frem senere i oppgaven (delkapittel «4.4.2 Dalux BIM-viewer – bruk av digital tvilling i driftsfasen»).

4.2.3.2 Diskusjon

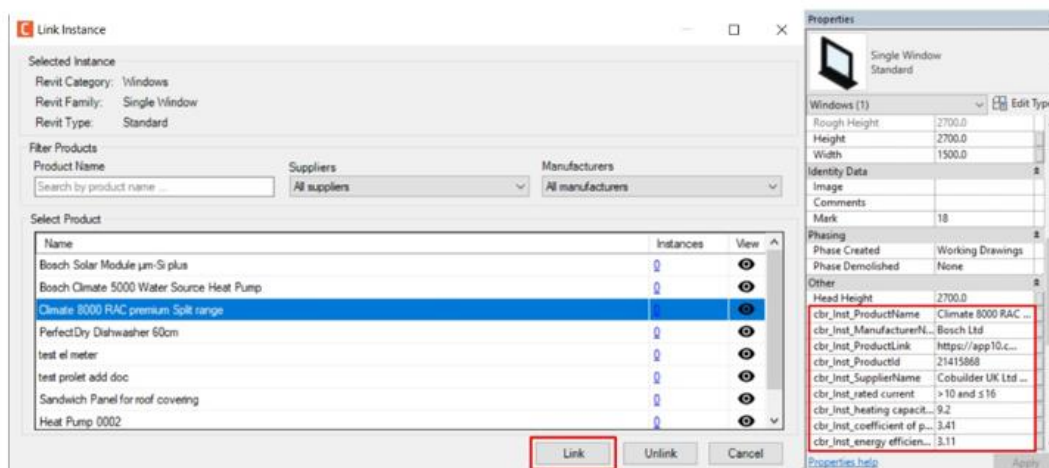
I resultatdelen har vi gått gjennom en metode for å legge til ID-nummer til produkter. Denne metoden kan ikke praktiseres i vanlige byggeprosesser, fordi dette skaper store begrensninger for hvilke produkter en kan velge. Metoden setter krav til at leverandører har identifikasjon på sine produkter tilgjengelig via internett. På en annen side kan leverandører som har denne informasjonen tilgjengelig få et fortrinn, og dette gjør dem mer konkurransedyktige. En annen metode vil være å først velge produkter, for så å oppdrive ID-nummer fra leverandører og produsenter.

Årsaken til at ID-nummere er viktig er mulighetene de skaper, da hvert enkelt produkt kan spores. På denne måten vil en alltid ha kontroll på hva som er satt inn i bygget og hvor det er plassert. Ved bruk av denne metoden kan en se hvor lite som ligger tilgjengelig på nettet per dags dato. Prosessen var krevende siden få leverandører har GTIN-nummer tilgjengelig. Variasjon av identifikasjon er heller ikke ønskelig, der én bestemt identifikasjonstype vil forenkle brukergrensesnittet. Dette er noe produsenter og leverandører må jobbe med for at det skal lykkes. Tydelige og lett tilgjengelige ID-nummer, vil kunne anses på som en driver for digitale tvillinger.

4.2.4 Cobuilder Collaborate – Produktinformasjon fra leverandører

4.2.4.1 Resultat

Som nevnt i teorien har vi sett på programvarer som prøver å forenkle informasjonsflyten for «som-bygget» modeller. Cobuilder Collaborate er et program vi har utforsket. Da vi jobber «i prosjekteringsfasen» med casestudien, og derfor ikke har kontakt med eventuelle leverandører og produsenter, har ikke programvaren blitt testet i utstrakt grad. Uten informasjon fra disse, vil vi ikke kunne teste programvaren for vårt bygg. Utvikleren av programvaren har selv lagt ut hvordan programvaren kan brukes på sine nettsider, som vist på figur 29.



Figur 29 Viser hvordan programvaren legger inn produktinformasjon i objektene⁸¹

Her blir informasjon fra produsent implementert inn i et generisk vindu. Dette gjøres ved bruk av en produktliste, der *Cobuilder Collaborate* har samlet data fra ulike produsenter. Hvert element i modellen kan da velges ut og informasjon fra produsent/leverandør legges ved.

⁸¹ Cobuilder, «How to link Product data to an Instance? (Link Instance)»

Intervjuobjekt II forteller at databasen er tatt i bruk i deres prosjekter og trekker frem FDV-verifikasjon som en driver for den digitale tvillingen.⁸² Databasen har en filterløsning, der FDV-dokumentasjon registreres og verifiseres opp mot europeiske og nasjonale lovkrav og andre markedskrav. En barriere har vært brukerterskelen og redigeringsmuligheten har vist seg vanskelig å håndtere. Ved behov for endringer har brukerne måttet kontaktet eier av databasen. Dette har løst seg i senere tid. En annen barriere er knyttet opp mot produsenter/leverandører som er ansvarlig for å levere produkt- og FDV-dokumentasjon. Informasjonsflyten har vært dårlig, og det vises til at ansvarlige har begynt på nye prosjekter eller har byttet jobb.

4.2.4.2 Diskusjon

For at programvaren skal forenkle informasjonsflyten, må alle leverandører og produsenter ha sine data tilgjengelig, slik at prosessen fungerer. Dette kan skape fordeler for bruk av digitale tvillinger, hvis produktene er tilgjengelige for å implementeres. Informasjonsflyten er på den måten forbedret, men med byggeprosessen vi har i dag kreves det fortsatt en del arbeid for å oppnå et resultat som tilfredsstillende en digital tvilling.

Ved bruk av eksempelet fra nettsiden er fortsatt geometrien generisk, der informasjonen er lagt ved et standardvindu fra Revit. Som nevnt ved tidligere funn, er dette en barriere i forhold til hva modellen viser og hvilket produkt som er tenkt.

Som intervjuobjekt II forteller, er databaser som verifiserer dokumentasjonen en driver. Dette åpner for at dokumentasjonen som ligger i modellen ikke bare beskriver produktet, men vil faktisk kunne brukes i driftsfasen, slik den skal.

⁸² Personlig kommunikasjon, intervju med Øystein Vindenes, 15.04.2020

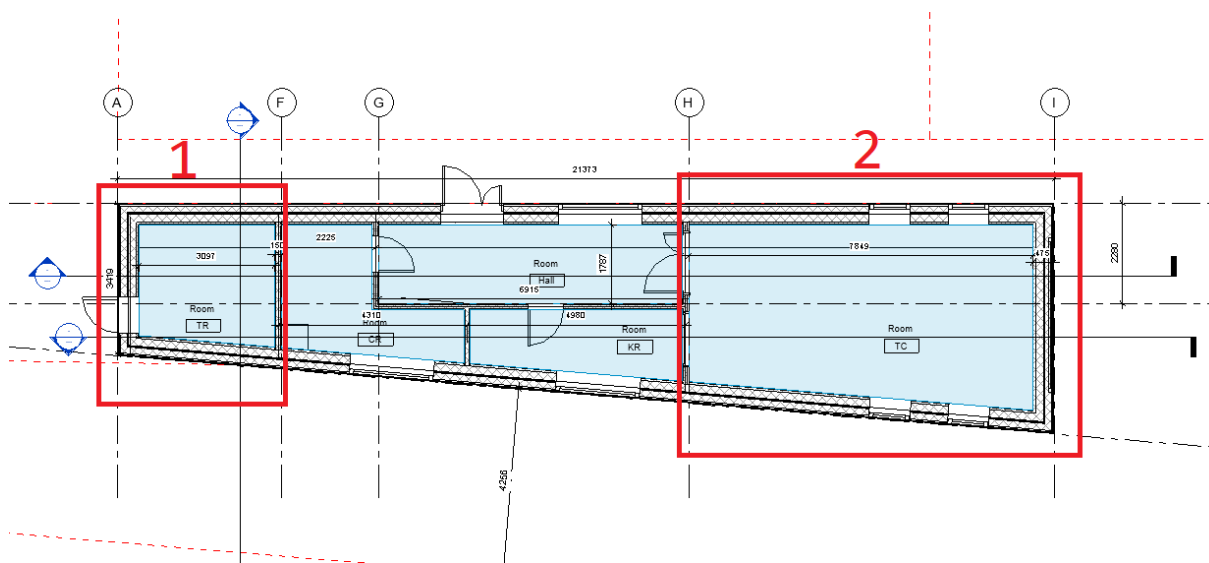
4.3 Visualisering

I dette delkapittelet skal vi peke på det vi har erfart som barrierer og drivere for visualisering ved hjelp av digital tvilling. Her vil også intervjuobjektene opplevelser trekkes frem.

4.3.1 Møter og tverrfaglig samarbeid

4.3.1.1 Resultat

I de første møtene av prosjektet hadde vi ingen tegninger å vise til, da vi i fellesskap med studenter fra idrett og energi og miljø skulle finne ut hvordan vi skulle løse designet til bygget. Det var lite fremgang fordi alle hadde ulike tanker og oppfatninger av hvordan designet skulle bli. Under prosjekteringen av KTC har vi derfor benyttet visualisering aktivt som et verktøy for å gi deltakerne i møtene en opplevelse av hvordan bygget skal se ut. Her løste vi utfordringer knyttet til både idrett og energifaget. Som intervjuobjekt II skriver, er det mye enklere å ha en felles forståelse når en bruker visualisering i 3D fremfor 2D.⁸³



Figur 30 1: teknisk rom, 2: treningskammer (Revit)

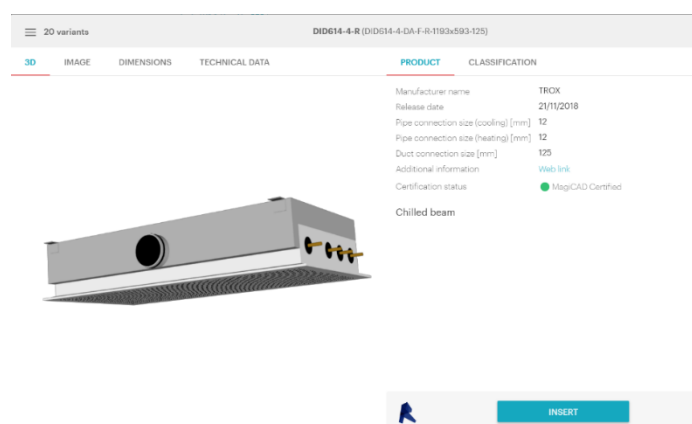
Energistudentene ønsket et eget rom for teknisk utstyr i bygget, og bruker ønsket størst mulig areal til treningskammeret, se figur 30. Dette løste vi visuelt, der vi flyttet på rom under møtene, slik at begge parter fikk komme med innspill til endelig utforming.

⁸³ Personlig kommunikasjon i E-post med Øystein Vindenes, 01.05.2020

Visualisering har gitt deltakerne et helhetsinntrykk av hvordan bygget skal se ut. Det har også resultert i mindre feil som har konsekvenser for andre aktører, deriblant energistudentene. Et eksempel på dette er et problem som ble løst under et prosjekteringsmøte, hvor det var utfordring med en kjølebaffle. Vi brukte visualisering for å vise hvilken kjølebaffle (Figur 31) som ble valgt og hvor den ble plassert. Her var utfordringen knyttet til programvaren MagiCad Connect, som lar oss finne produkter tilgjengelig for modellering. Energistudentene hadde valgt et produkt som ikke var tilgjengelig i programvaren, og dermed kunne vi ikke visualisere produktet i modellen. Vi løste dette med å finne et tilsvarende produkt i programvaren, som energistudentene var fornøyde med (Figur 32).



Figur 31 Ønsket produkt fra energistudentene⁸⁴



Figur 32 Valgt objekt i modell fra programvaren MagiCAD Connect

Dette kunne da plasseres inn i modellen med korrekt geometri, slik at vi fikk et riktig innblikk i hvor stor plass produktet trenger i forhold til for eksempel himling. Dette produktet har også riktig informasjon, som en digital tvilling krever at objektene i modellen har.

I en vanlig arbeidsmetodikk ville fagene jobbet hver for seg, for å senere slå sammen komponentene i modellen. Intervjuobjekt II forteller at selv om en bruker Virtual Design Construction (VDC) eller ikke, så vil en digital tvilling gi muligheten for parallell prosjektering, hvor alle fag kan jobbe «oppå» hverandre, og ikke i en «lukket verden».⁸⁵ På den måten har alle fagene som jobber i modellen mulighet til å se den oppdaterte versjonen kontinuerlig.

⁸⁴ Swegon, «PARASOL Zenith b»

⁸⁵ Personlig kommunikasjon i E-post med Øystein Vindenes, 01.05.2020

4.3.1.2 Diskusjon

Som teorien sier, bruker aktørene i byggebransjen visualisering og uttrykker at dette bidrar positivt med tanke på informasjonsflyten, da spesielt i prosjekteringsfasen.⁸⁶ Det skal gi bedre løsninger, være involverende og samtidig kan det være kostnads- og tidsbesparende. Resultatet bygger oppunder dette, og viser at visualisering har bidratt til å involvere aktører i arbeidet med casestudien. I det tverrfaglige samarbeidet med energi- og idrettsstudentene erfarte vi at vi kunne løse utfordringen knyttet til romstørrelse og plassering. Visualiseringen kan også tenkes å ha gitt bedre løsning, siden alle parter fikk komme med sine innspill under møtene.

Selv om visualisering er en driver for bruken av digitale tvillinger, betyr ikke det at det er problemfritt. Både aktører og brukere har ulike oppfatninger av hva en visualisering skal inneholde, og hva som er formålet med visualiseringen. For å begrense dette problemet er det viktig å bestemme hvilke behov og forventninger visualiseringen skal dekke på forhånd. Samtidig er det vanskelig å måle til hvilken grad visualisering er kostnads- og tidsbesparende, siden prosjekteringen blir mer omfattende ved bruk av dette hjelpemiddelet.⁸⁷

4.3.2 Virtual Reality (VR)

4.3.2.1 Resultat

Intervjuobjekt I forteller at det på BUS II har blitt brukt VR-teknologi som visualiseringsverktøy.⁸⁷ De fremtidige brukerne har gått gjennom VR-rom for å sikre at brukerkravene er oppfylte og kommet med innspill på plassering av senger, kommoder og andre romfunksjonelle betydninger. Dette resulterer i et mer formålstjenlig bygg enn ved bruk av mer konvensjonelle metoder, hvor brukerne kommer med sine krav i prosjekteringen, og bare har 2D-tegninger å støtte seg på underveis i byggeprosessen. Intervjuobjektet I legger også frem at VR er en relativt liten kostnad, som gir god gevinst.⁸⁷

4.3.2.2 Diskusjon

VR-teknologien har vært brukt med suksess, og må kunne sies å være en driver for digitale tvillinger. Det at brukerne har vært med på å påvirke det endelige resultatet, vil gi dem bedre forutsetninger i driftsfasen, når de skal bruke bygget.

⁸⁶ Samtidigprosjektering, «Visualisering»

⁸⁷ Personlig kommunikasjon, intervju med Even Segbø, 02.04.2020

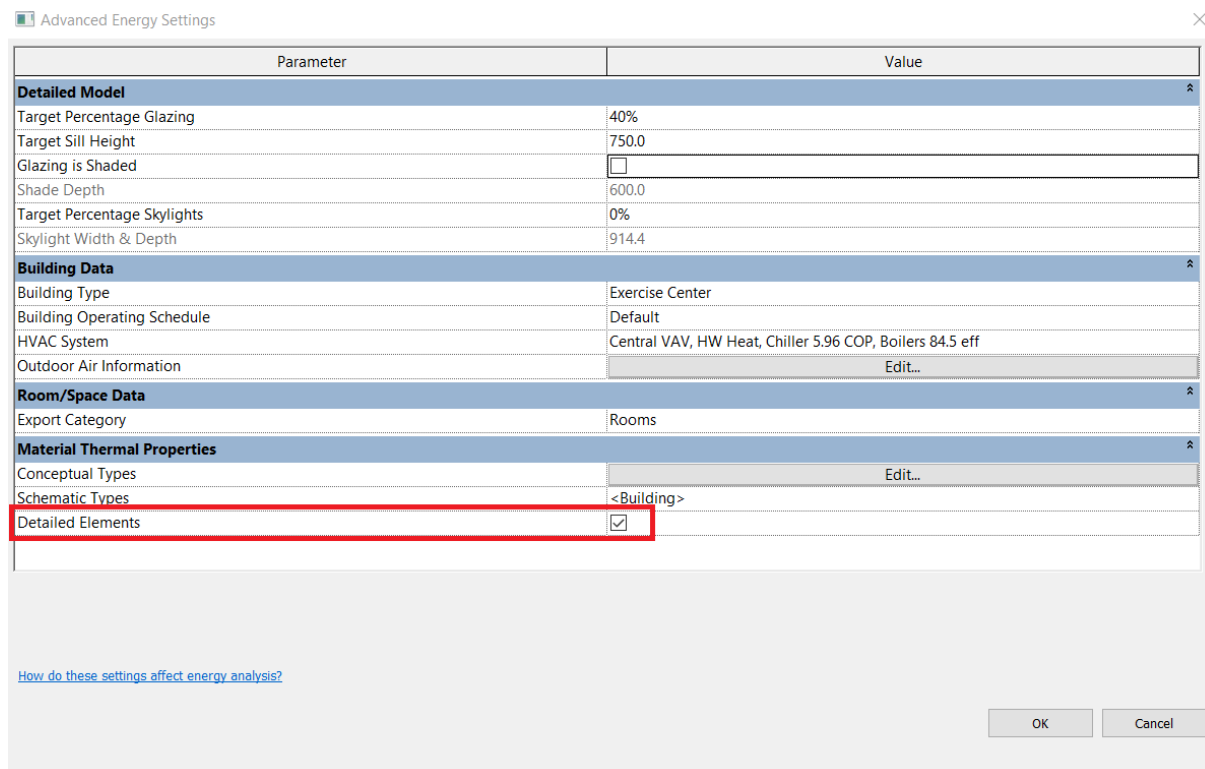
4.4 Programvarer og sensorer for testing og utnyttelse av en digital tvilling

Her skal vi se på hvordan vi kan utnytte den digitale tvillingen ved bruk av programvarer for å hente og dele informasjon, samt bruk av sensorløsninger.

4.4.1 Insight – Energisimuleringer

4.4.1.1 Resultat

I KTC har vi brukt Insight for å gjøre energiberegninger. For å få riktig informasjon ut av programvaren, må en først lokalisere hvor i verden bygningen befinner seg, hvordan den er plassert og hvordan romfordelingen er. I romfordelingen definerer en både areal og volum. Videre må en bestemme hvor avansert energisimuleringen skal gjøres, hvor en velger hvor nøyaktig programvaren skal lese for eksempel veggene. Det er mulig å velge forhåndsdefinerte vegger, HVAC-systemer og andre parametere som spiller inn, eller velge det som er modellert, ved bruk av en egen funksjon kalt «detailed elements», som vist på figur 33.



Advanced Energy Settings

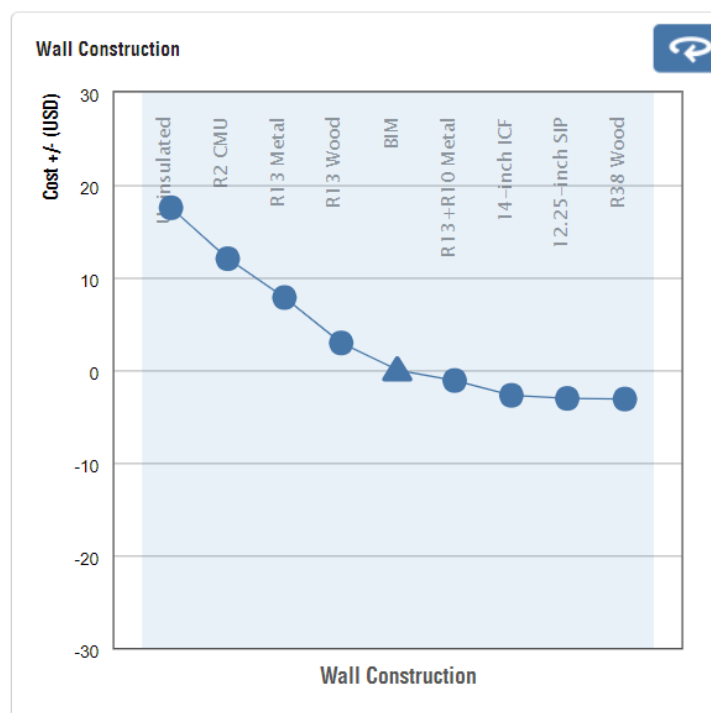
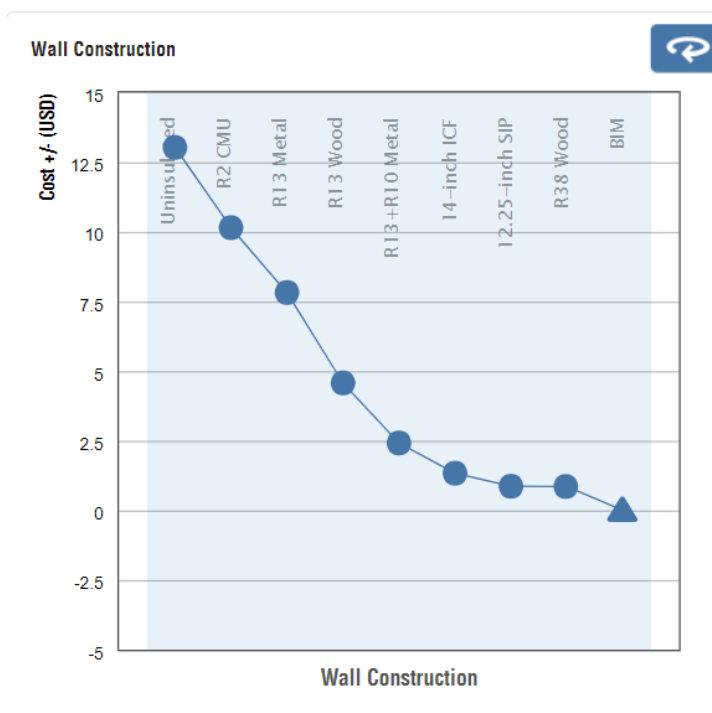
Parameter	Value
Detailed Model	
Target Percentage Glazing	40%
Target Sill Height	750.0
Glazing is Shaded	<input type="checkbox"/>
Shade Depth	600.0
Target Percentage Skylights	0%
Skylight Width & Depth	914.4
Building Data	
Building Type	Exercise Center
Building Operating Schedule	Default
HVAC System	Central VAV, HW Heat, Chiller 5.96 COP, Boilers 84.5 eff
Outdoor Air Information	Edit...
Room/Space Data	
Export Category	Rooms
Material Thermal Properties	
Conceptual Types	Edit...
Schematic Types	<Building>
Detailed Elements	<input checked="" type="checkbox"/>

[How do these settings affect energy analysis?](#)

OK Cancel

Figur 33 Funksjon som gjør at energiberegningen tar hensyn til de modellerte objektene

Ettersom denne bacheloroppgaven tar for seg mulighetene en digital tvilling åpner for, vil vi beregne energibruken i bygget ved å teste det modellerte bygget. For å vise til et enkelt eksempel, har vi studert veggene nærmere og sammenlignet modellen med et likt bygg med tynnere yttervegger på 150mm. Illustrasjonene viser energiberegningene til veggene, og sammenligner dem med andre standardiserte vegger programvaren foreslår, illustrert med blå sirkler. De modellerte veggene, kalt BIM i simuleringene (Figur 34 og 35), er illustrert med en blå trekant, og er resultatet til henholdsvis modellert- og tynn vegg.



Figur 35 Viser energikostnader ut fra veggene i det modellerte bygget

Figur 34 Viser energikostnader ut fra en smalere vegg

Analysen blir presentert i form av hva veggene vil koste i energibruk per år, som en sammenligning med andre standardiserte vegger. Veggene brukt i vår modell fikk best mulig resultat, og programvaren har ikke et bedre alternativ å sammenligne med.

4.4.1.2 Diskusjon

Som nevnt har vi ønsket å vise hvordan en digital tvilling kan utnyttes. Bruk av tester og simuleringer kan gi oss en indikasjon på dette. Flere programvarer er utviklet for å teste og simulere BIM-modeller, men flere legger til grunn for at man manuelt må legge inn informasjon om hva bygningen inneholder. Med en digital tvilling burde man under simuleringer kunne utnytte all informasjon som ligger i modellen og dermed hente ut informasjonen automatisk. Dette kan for eksempel være u-verdi, materialtype og tykkelse.

Insight ga en mulighet til å gjøre nettopp dette ved å basere testen på detaljerte elementer. Testen ble mer reell sammenlignet med hva som faktisk skal bygges og dette medførte at informasjonen fløt enklere. Resultatet av testen, og nytten av den, er avhengig av hvor nøyaktig informasjonen blir lest og benyttet.

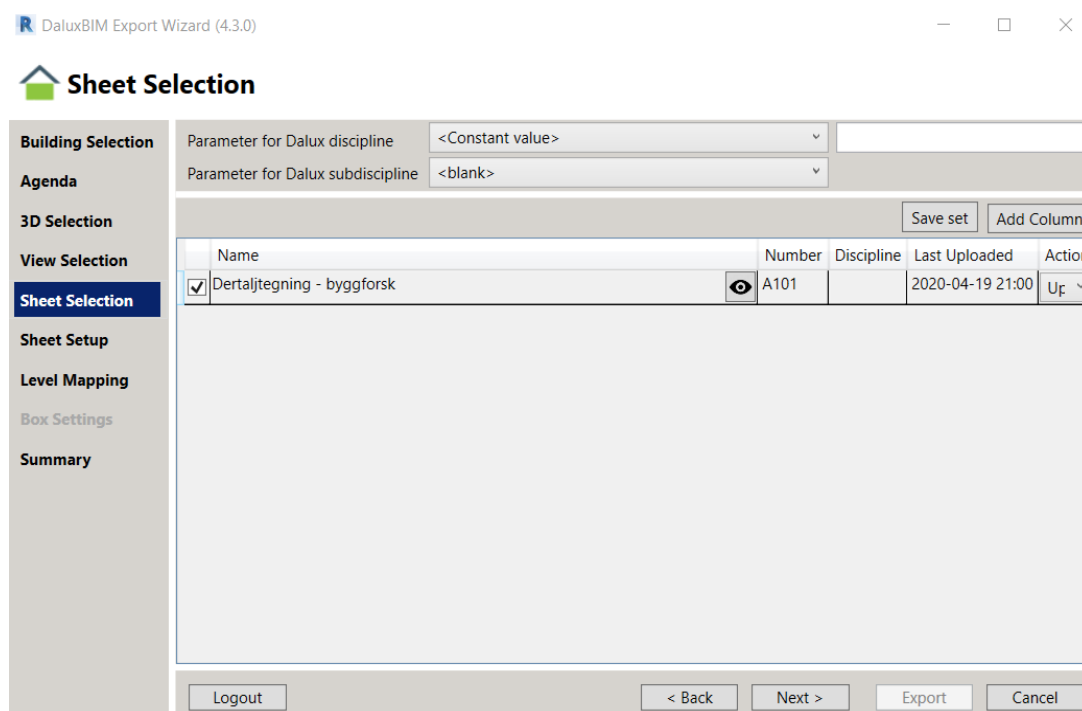
I prosjekteringsfasen betyr dette at bygningene kan optimaliseres når de bygges, slike tester blir enklere å utføre og terskelen for å ta seg tid til simuleringer minskes.

4.4.2 Dalux BIM-viewer – Bruk av digital tvilling i driftsfasen

4.4.2.1 Resultat

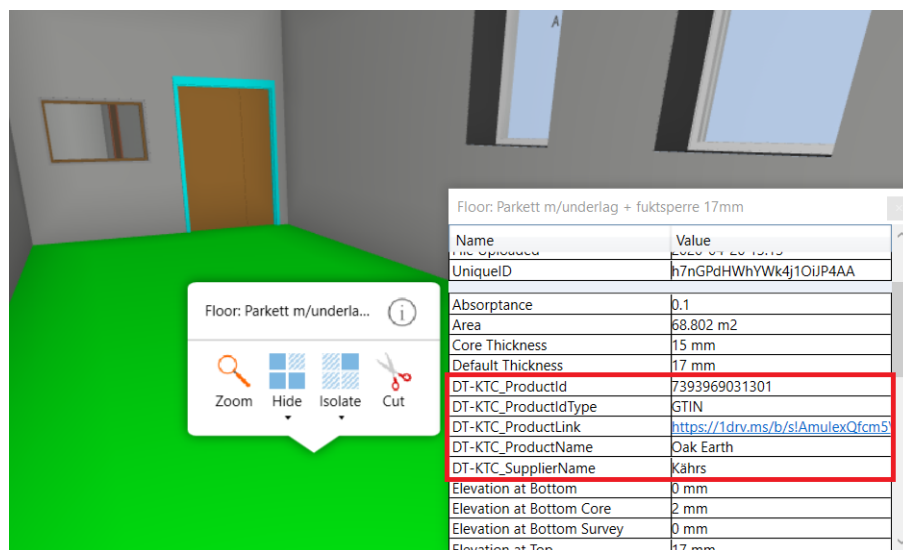
Dalux BIM-viewer er programvaren vi bruker for å teste brukergrensesnittet for å hente informasjon ut av modellen. Ved å eksportere modellen i Dalux BIM-viewer, får vi et innblikk i hvordan modellen kan bli brukt i driftsfasen.

Ved eksport fra Revit må informasjonen filtreres. Her får vi valget om for eksempel «sheets» og detaljtegninger skal være med i modellen. Som nevnt tidligere, blir det brukt detaljtegninger som et tillegg til modellen. Dette krysser vi av for, som vist på figur 36.



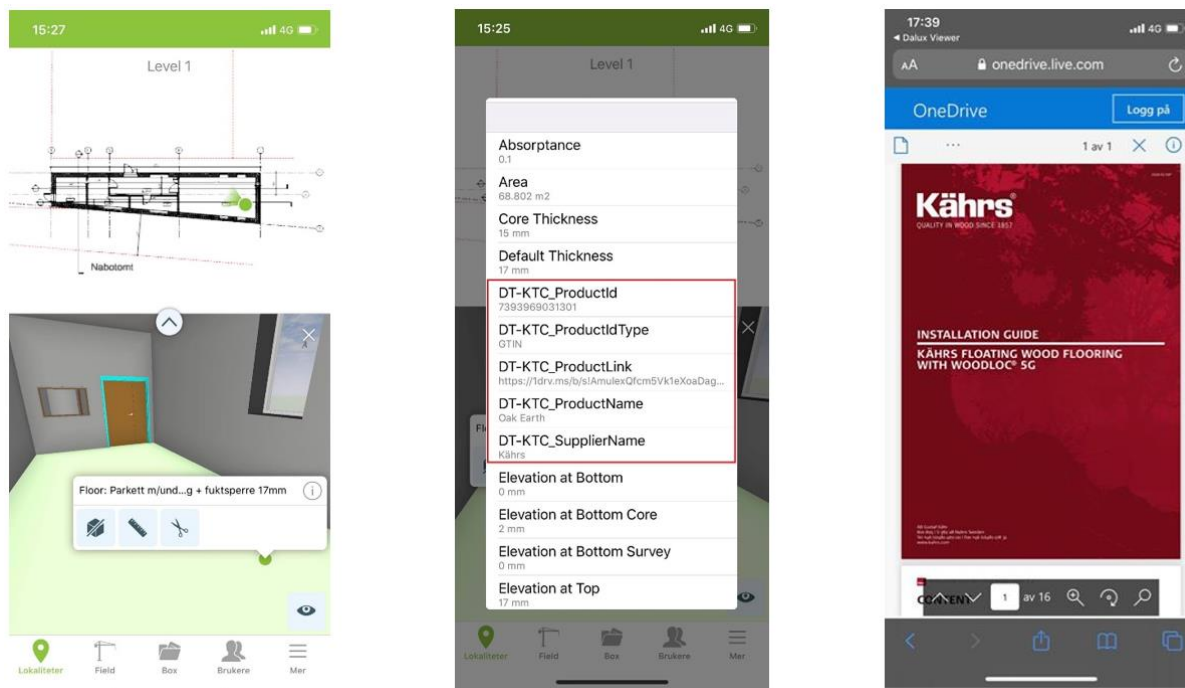
Figur 36 Mulighet for eksport av detaljtegninger (Dalux BIM-viewer)

Modellen åpnes først via nettsiden til Dalux, der prosjektet allerede er opprettet. Nå kan vi manøvrere rundt i modellen, enten via nettsiden eller på egen programvare lastet ned på PC. Det er nå vi kan utnytte informasjonen som er lagt inn. Ved å klikke på et objekt får vi opp de ulike parameterne som beskriver produktet. Her ligger navn på produkt, navn på leverandør, ID-nummer, ID-type og FDV-dokumentasjon, som vist på figur 37. Ved å klikke på lenken, får en direkte tilgang til FDV-dokumentasjon, som ligger lagret via Onedrive.



Figur 37 Produktinformasjon for parketten i modellen, sett i Dalux BIM-viewer

Modellen kan også åpnes ved bruk av mobiltelefon eller nettbrett ved hjelp av Dalux BIM-viewers applikasjon. Her brukes samme prosedyre som på PC, der informasjon dukker opp ved å trykke på objekter, som vist på figur 38. Som Intervjuobjekt II sier, «En kan få tilgang til informasjon fra hvor som helst i verden, en må ikke ha tak i en fysisk kopi». ⁸⁸



Figur 38 Fremgangsmåte for visning av FDV-informasjon via Dalux

4.4.2.2 Diskusjon

Med Dalux BIM-viewer får vi tydelig frem alt av informasjon som er lagt inn i modellen. Bruker-grensesnittet er enkelt, noe som gjør at nesten hvem som helst kan hente ut nødvendig informasjon. Dette kan testes allerede i prosjekteringsfasen, slik at en får et innblikk i hvordan modellen vil opptre i driftsfasen. Vi ser her at programvaren åpner for å ta med detaljtegninger som vi har diskutert tidligere. Dette er gunstig fordi bindingsverk og andre detaljer ofte ikke vises i modellen.

Det at modellen enkelt kan vises ved bruk av mobiltelefon, er en stor driver i driftsfasen, da denne ofte er tilgjengelig. Visualisering kan trekkes frem som en driver for en digital tvilling ved bruk av et slikt program. Ved å manøvrere i 3D-visningen, får brukeren et tydeligere innblikk i geometrien og hvor i bygget en befinner seg.

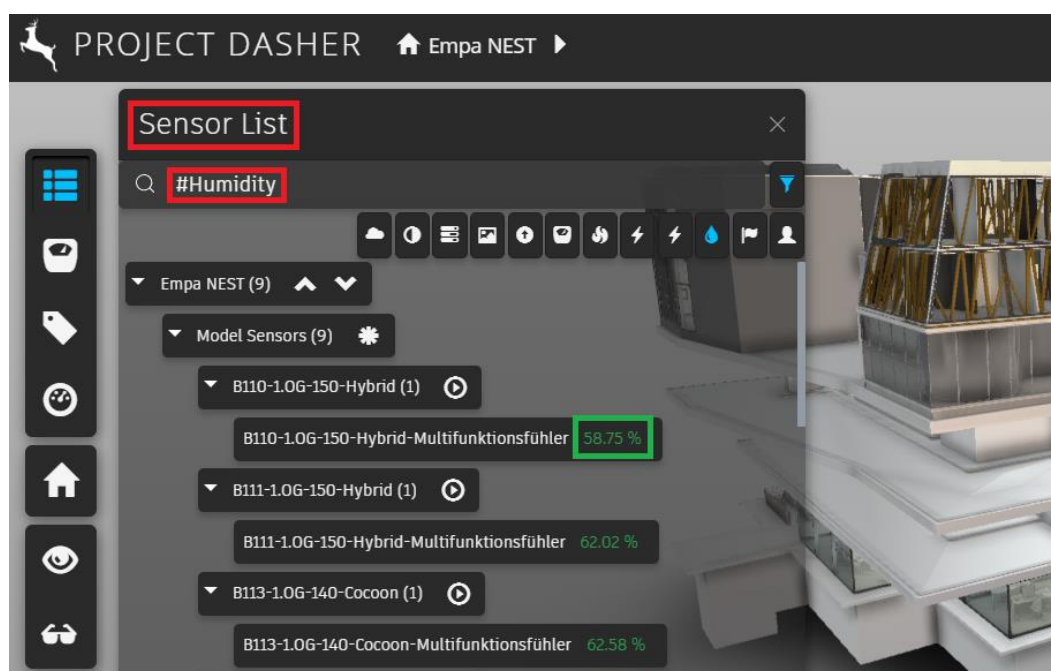
⁸⁸ Personlig kommunikasjon i E-post med Øystein Vindenes, 01.05.2020

4.4.3 Sensorløsninger

4.4.3.1 Resultat

Sett i lys av teorien og muligheter for KTC, har vi utforsket bruk av sensorer og hvordan modellen kan brukes aktivt ved hjelp av disse. Klimatrengingsanlegget skal kunne ha ekstreme temperaturer, som det er nyttig å holde oversikt over. Gjennom casestudien har vi utforsket programvarer som lar oss teste dette. KTC er enda ikke bygget, dermed kan ikke sensorer testes, og dessuten er det mangel på programvarer som støtter disse løsningene. Derfor har vi endt opp med utforsking av en demo laget av Dasher 360. Dette er som nevnt et forskningsprosjekt og er for øyeblikket under utvikling. En test av demoen har gitt oss et innblikk i hvordan fremtidige programvarer legger til rette for bruk av sensorer.

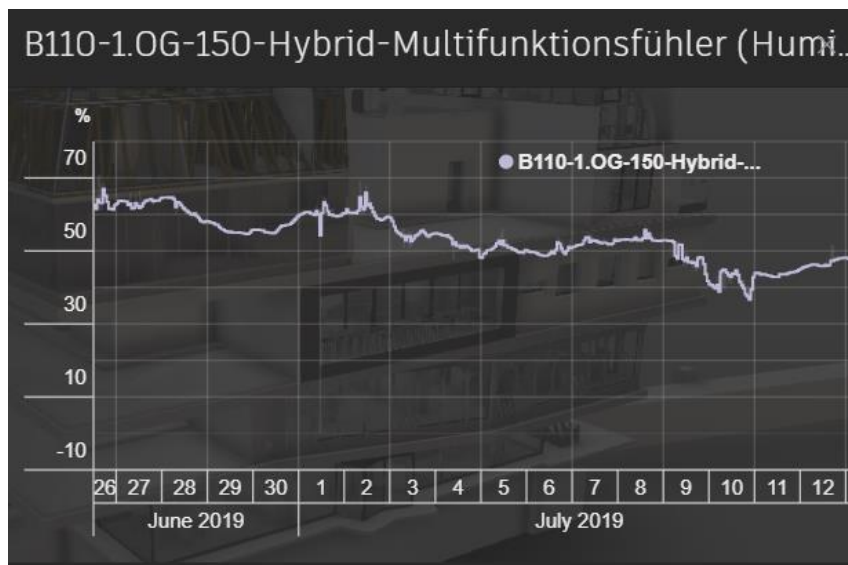
Demoen tillater en å utforske sensorer plassert i et ferdig bygg, der disse gir modellen sanntidsdata. Her kan en blant annet trekke frem de ulike sensorene som måler luftfuktighet, som vist på figur 39.



Figur 39 Liste over sensorer som er lagt inn i bygget⁸⁹

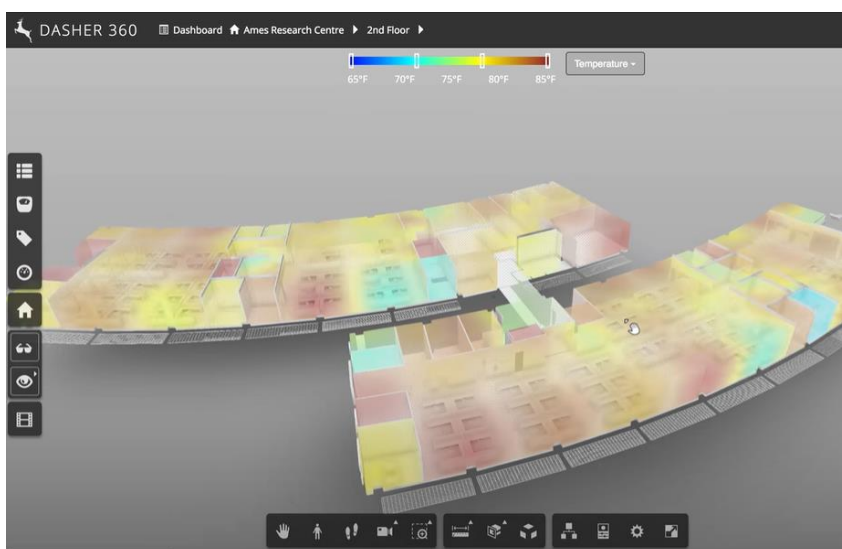
⁸⁹ Dasher360.com

Ved å trykke seg inn på de forskjellige sensorene, får en opp videre informasjon om hvordan for eksempel luftfuktigheten har endret seg over tid (Figur 40).



Figur 40 Variasjon av fuktighet fra en av sensorene⁹⁰

Dette kan også vises ved temperatur, og programvaren visualiserer også hvordan temperaturen sprer seg og varierer i rommene, som vist på figur 41. Dette er høyst aktuelt for casestudien, der en visning av hvordan temperaturen i treningskammeret er til enhver tid. Denne kvaliteten må betraktes som en driver.



Figur 41 Varmekart⁹⁰

⁹⁰ Dasher360.com

4.4.3.2 Diskusjon

Driverne for å bruke sensordata er mange. En av de største og mest åpenbare fordelene er energistyring av bygg. Som vi så på Bølgen Kulturhus ga dette store kostnadsbesparelser.⁹¹ Sensorer kan måle temperaturer og luftfuktighet som ventilasjon kan tilpasse seg etter, som demoen i Dasher360 viser til. I tillegg til å være kostnadsbesparende, vil dette også gi bedre inn klima for beboere eller brukere. Videre gjør sensorer det enklere å drifte bygg og dette på en mer effektiv måte. En kan spørre seg; hvorfor vaske et rom som ikke er brukt eller bytte et ventilasjonsanlegg som kan brukes i 5 år til? Digitale tvillinger tilrettelegger nemlig for tilstandsbasert vedlikehold, i motsetning til datobasert vedlikehold. Sensorene er uproblematiske i seg selv, de er små og har lang levetid.

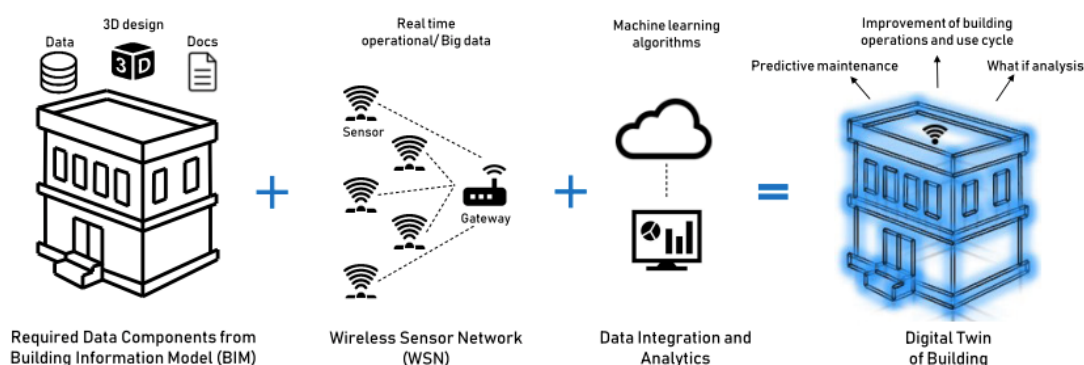
Det er også barrierer knyttet til anvendelse av disse sensorene. For at en digital tvilling skal bli komplett, må sensordataene kunne bli visualisert på en enkel måte. En plattform for dette er vanskelig å oppdrive per dags dato, og Dasher360 er den eneste programvaren vi har funnet. Dette gjør det vanskelig å kunne bruke innsamlingsdataene på en enkel og forståelig måte. Dette er et problem for dagens digitale tvillinger. Videre har vi en barriere i datasikkerheten. For at vi skal kunne bruke sensorer for å gjøre hverdagen enklere og billigere, må det også være sikkert å gjøre det. Sensorprodusentene har derfor et stort ansvar med å beskytte dataene som samles inn. Dette krever også store kostnader knyttet til IT-infrastruktur.

⁹¹ BIMverdi, «Energistyring med potensial til å krympe elektrisitetsforbruket med 40 prosent»

4.5 Forsknings spørsmål - Hva er en digital tvilling av et bygg?

Det siste punktet vi ønsker å diskutere er hva som egentlig er en digital tvilling av et bygg og hvordan man kan lage en. Dette skal vi gjøre ved å trekke sammen intervjuobjektene sine tanker-, hva litteraturen sier- og våre egne oppfatninger om temaet.

Gjennom litteratursøk og intervjuer har vi kommet over ulike oppfatninger av hva en digital tvilling er. Generelt sett er intervjuobjektene forståelse av digitale tvillinger ikke like teknisk som litteraturen. Dette fordi intervjuobjektene ikke omtaler oppkobling av sensorer som en del av den digitale tvillingen (se vedlegg 1, 2 og 3). Den viktigste essensen de nevner, er at en digital tvilling skal være modellert «som-bygget». Intervjuobjektene har også en vurdering på hva som er den mest effektive digitale tvillingen, og om denne skal være som intervjuobjekt III sier; «*En en-egget tvilling*»⁹² og da «som-bygget». Ser en på litteraturen og hva andre bransjer omtaler som en digital tvilling, er sanntidsdata fra IoT-sensorer en viktig del. Som Knapstad forteller, må modellen være kontinuerlig oppdatert med sanntidsdata for at den skal være en digital tvilling. Etter å ha studert de ulike oppfatningene, kommer vi frem til at denne figuren (Figur 42) er den beste forklaringen på hva en digital tvilling av et bygg er.



Figur 42 Oppbyggingen av en digital tvilling⁹³

Som vi ser på figuren er BIM-delen en stor, og kanskje den største delen av en digital tvilling. BIMen må være «som-bygget» og inneholde informasjon om alle objekter. Når bygget er ferdigstilt må modellen oppkobles mot sensorer i det fysiske bygget og innhente sanntidsdata fra disse for at det skal kunne sies å være en digital tvilling av et bygg.

⁹² Personlig kommunikasjon i E-post med Ånond Viki, 10.05.2020

⁹³ Khajavi et.al. «Digital Twin: Vision, Benefits, Boundaries and Creation for Buildings», side 2

Det er ingen konkret fremgangsmåte på hvordan man lager en digital tvilling. I egen casestudie har vi forsøkt å lage en digital tvilling. Ifølge intervjuobjektene, vil KTC kunne sies å være dette, siden modellen er «som-bygget», med de avgrensningene som er gjort. På den andre siden erfarer vi at en fullstendig digital tvilling av et bygg skal inneholde sensornettverk med mulighet for å innhente sanntidsdata. Med denne oppfatningen, vil ikke KTC være en digital tvilling.

5. Konklusjon

I dette kapitlet skal problemstillingen og forskningsspørsmålet besvares ved å benytte drøftingen i forrige kapittel. Konklusjonen vil oppsummere de viktigste momentene i bacheloroppgaven.

For å kunne svare på problemstillingen har vi hatt forskningsspørsmålet:

«Hva er en digital tvilling av et bygg?»

En digital tvilling av et bygg er en virtuell modell av et fysisk bygg. Denne modellen skal modelleres «som-bygget». I tillegg skal den virtuelle modellen kobles til sanntidsdata fra sensorer i det fysiske bygget.

Problemstillingen har vært **«Hva er barrierene og driverne for digitale tvillinger i byggebransjen?»**

For å besvare denne problemstillingen har vi anvendt en kvalitativ metode, ved bruk av utvalgte intervjuobjekter, eksisterende teori og egen casestudie. Vi har gjort dette ved å se på de ulike fasene i et byggeprosjekt, og kommet frem til følgende barrierer og drivere:

Barrierer

- Med sensorer blir visualiseringen av dataene og oppkoblingen mot den digitale tvillingen vanskelig per dags dato. Dette fordi det er et begrenset tilbud av slike programvarer.
- Tidspunktet en setter objekter inn i en modell, er i prosjekteringsfasen. Disse objektene blir ofte bestemt av entreprenør i utførelsesfasen, i form av produktvalg, og må deretter byttes ut igjen i modellen.
- Å prosjektere en digital tvilling er tidkrevende, og «tid er penger». Det er uvisst om gevinstene en får ved å bruke mer tid på prosjekteringen lønner seg.
- De som skal modellere den digitale tvillingen må ha byggeteknisk kompetanse, samt forståelse for programvarer som skal benyttes.
- Byggebransjen har høy gjennomsnittsalder og det er lite interesse for endringer.

Drivere

- I en digital tvilling skal all informasjonen i modellen være tilgjengelig og kontinuerlig oppdatert. Derfor skal alle fag ha innsikt i alle bygningsdeler- og detaljer, og på denne måten skal det oppstå mindre feil i prosjekteringsfasen. Det bør likevel nevnes at dette er en kompleks prosess.
- Ved å legge inn alle objekter med tilhørende informasjon i modellen som en digital tvilling krever, får en fullstendig FDV-informasjon som kan utnyttes i driftsfasen.
- Den virtuelle modellen blir «som-bygget», slik det fysiske bygget er i virkeligheten. Dette betyr at alle kompliserte elementer blir modellert samtidig som de inneholder utfyllende informasjon. En får enkel tilgang til detaljtegninger. Objektene berikes med ID og produktinfo.
- Programvarer, som Dalux, gjør informasjonen i den digitale tvillingen lett tilgjengelig for enhver bruker.
- Når bygget er ferdigstilt kan sensorer kobles opp til bygningen og til enhver tid registrere data som beriker modellen i sanntid. Denne informasjonen vil gjøre det enklere å drifte bygg på en mer effektiv måte. Dette ved bruk av tilstandsbasert vedlikehold, i motsetning til datobasert vedlikehold. Samtidig skal man også kunne redusere energikostnader.
- Visualisering gir brukerne gode forutsetninger for å komme med innspill og optimalisere bygget. Samtidig gir visualisering fordeler i møter, hvor deltakerne får en felles forståelse og det på den måten bidrar til at færre feil blir gjort.
- Når en har modellen «som-bygget» blir simuleringer mer presise.

Etter å ha arbeidet med digitale tvillinger en god stund, er vår forståelse at konseptet har gode forutsetninger for å bidra med positivt fortegn i byggebransjen. Vi ser mange drivere bak digitale tvillinger, men digitaliseringsprosessen i en konservativ bransje kommer til å være tidkrevende. Likevel tror vi at fremtidens byggeplasser vil se flere digitale tvillinger. Dette kan bli virkelighet, dersom aktørene i bransjen klarer å forbedre sitt samspill og definere grensesnittene mellom fagene på en tydelig måte.

5.1 Videre arbeid

Grunnet tidsbegrensninger har vi dessverre ikke fått utforsket alt vi ville i denne oppgaven. I dette delkapittelet går vi gjennom hva vi ville utforsket videre.

Ferdigstillelse av den digitale tvillingen til KTC

For å fullføre den digitale tvillingen, måtte vi ha inngått samarbeid med andre fag. Dette hadde gjort modellen enda mer komplett, og på denne måten kunne vi også sett på samhandling i større grad.

Digital tvilling i utførelsesfasen

Ettersom oppgaven utviklet seg og vi fikk et inntrykk av hvor problemene ofte oppstår under utviklingen av digitale tvillinger, fant vi nye temaer vi ville utforske. Et problem vi kom over, handler om hvordan prosjekterende og utførende samhandler. Med dette sagt skulle vi ønske at vi hadde fått større innsikt i dette problemet fra utførende sitt perspektiv.

Cobuilder

Som en løsning på noen av utfordringene med å lage en digital tvilling, så vi på Cobuilder. Det hadde vært spennende å se på slike løsninger i større grad, enn det vi gjorde i oppgaven.

Dypere søk i bruk av sensorer og utforskning av disse

I vår oppgave ble det fokuset lagt mot prosjekteringen av digitale tvillinger i størst grad. Ettersom oppgaven utviklet seg, lærte vi mer om sensorene som gjør digitale tvillinger av bygg komplett. Det hadde vært meget interessant å teste slike sensorer og se hvordan en kan utnytte informasjonen en får fra dem. For KTC hadde dette vært spennende. Spesielt på grunn av de store variasjonene i temperatur og fuktighet.

Valg av entreprisform

Når det kommer til digitale tvillinger og generell digitalisering i byggebransjen, har valg av entreprisform mye å si. Det kan virke som tidlig samarbeid mellom aktører er nødvendig for at den digitale tvillingen skal lykkes å være effektiv. Det hadde vært spennende å se nærmere på dette og se hvordan nye entreprisformer som for eksempel «samhandlingsentreprise» kan bidra til å styrke effektivisering og digitalisering i bransjen.

Referanser

- §4-1(1), (TEK17) Byggteknisk forskrift. *Dokumentasjon for forvaltning, drift og vedlikehold (FDV)*. 10 01 2019. <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/4/4-1/>.
- Aga, Frode. "Slik skal Statsbygg simulere seg bort fra alvorlig ulykker", *bygg.no*. 10 04 2018. <http://www.bygg.no/article/1349964> (funnet 03 18, 2020).
- Anskaffelser.no. *Anskaffelser.no*. 17 03 2020. <https://www.anskaffelser.no/anskaffelsesprosessen/byggeprosessen-steg-steg/utforelse> (funnet 03 28, 2020).
- Autodesk. *Agacad*. u.å. <https://apps.autodesk.com/en/Publisher/PublisherHomepage?ID=MRU8NK5HSW28>.
- Autodesk Revit. *Autodesk*. u.å. <https://www.autodesk.com/products/insight/overview>.
- . *Autodesk*. u.å. <https://www.autodesk.no/products/revit/overview>.
- Autodesk. *What are the benefits of BIM?* ud. <https://www.autodesk.com/solutions/bim/benefits-of-bim> (funnet 01 31, 2020).
- Barnes, Peter, og Nigel Davis. *BIM in Principle and Practice (2nd Edition)*. London: ICE Publishing , 2016.
- Belsvik, Matilde Reinholdt. *Målinger i VDC-prosjekter*. Masteroppgave : NTNU, 2019.
- BIMconnect . *Video*. 04 02 2018. <https://www.youtube.com/watch?v=9YgXXbdohOQ&feature=youtu.be>.
- BIMobject. *BIMobject*. u.å. <https://info.bimobject.com/> (funnet 04 2020).
- BIMverdi. *BIM-basert energistyring krympet elektristetsforbruket med 40 prosent*. 24 02 2020. <https://bimverdi.no/bim-basert-energistyring-krympet-elektristetsforbruket-med-40-prosent> (funnet 03 22, 2020).
- BuildingSMART Norge. «Koordineringsmodell og byggeplanlegging.» *BuildingSMART Norge*. 03 09 2015. https://buildingsmart.no/sites/buildingsmart.no/files/p01-koordineringsmodellbyggeplanlegging_20150309.pdf?fbclid=IwAR3mb8C2-fGzmBmF7E-3xdenJncV_NJKM8XzPmTqhehnaaZmoDt2IMH8mtw (funnet 04 17, 2020).

BuildingSMART. *ÅpenBIM for fdv sparer deg for millioner*. 10 02 2015.

<https://buildingsmart.no/nyhetsbrev/2014-04/apenbim-for-fdv-sparer-deg-for-millioner>
(funnet 03 19, 2020).

Bygg21. *Digitale tvillinger gjør gråstein til gull*. 10 01 2019.

<https://www.bygg21.no/artikler/nyheter/digitale-tvillinger-gjor-grastein-til-gull/> (funnet 04 05, 2020).

Byggforsk. *"Passivhus i tre eksempler på detaljer for varmeisolering og tetting"*. 05 2012.

https://www.byggforsk.no/dokument/4036/passivhus_i_tre_eksempler_paa_detaljer_for_varmeisolering_og_tetting (funnet 04 03, 2020).

Cobuilder. *"How to link Product data to an Instance? (Link Instance)"*. 15 01 2020.

https://cobuilder.freshdesk.com/support/solutions/articles/9000181144-how-to-link-product-data-to-an-instance-link-instance-?fbclid=IwAR1VUay7lgn_QD3K04hey--l3pmQwZZmNOME7hD-MXHjDu4UnhfyRm4LVXQ (funnet 04 14, 2020).

CoBuilder. *CoBuilder Collaborate*. 08 08 2019. <https://cobuilder.com/nb/cobuilder-collaborate/>
(funnet 03 2020).

Cowi. *Barne- og ungdomssykehuset i Bergen*. u.å. <https://www.cowi.no/loesninger/bygninger/barne-og-ungdomssjukehuset-i-bergen-norge> (funnet 03 15, 2020).

Dahlum, Sirianne. *"Validitet"*, *Store norske leksikon*. 20 02 2018. <https://snl.no/validitet> (funnet 05 11, 2020).

Dalux. *Dalux*. u.å. <https://www.dalux.com/no/> (funnet 04 2020).

Dasher360. *Dasher360*. u.å. www.dasher360.com (funnet 04 14, 2020).

Disruptive Technologies. *Disruptive Technologies*. u.å. 15.

Entrepriserettsadvokater. *Hva må prosjekterende gjøre før arbeidene er ferdig prosjektert*. 12 06 2019. <https://www.entrepriserettsadvokater.no/konsulentavtaler/hva-ma-prosjekterende-gjore-for-arbeidene-er-ferdig-prosjektert/#fem> (funnet 25 03, 2020).

Fløisbonn, Håkon W., Gunnar Skeie, Bjørn Uppstad, Bjørnar Markussen, og Steen Sunesen. *MMI - Modell Modenhets Indeks*. Oslo: EBA, u.å.

Fremtidens byggenæring. *Hva skal BIM-en hete?* 27 11 2019. <https://www.fremtidensbygg.no/hva-skal-bim-en-hete/> (funnet 05 01, 2020).

- Fuller, Aidan, Zhong Fan, Charles Day, og Chris Barlow. «Digital Twin: Enabling Technology, Challenges an Open Research .» *Artikkel, University of Staffordshire* . 29 10 2019. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1911/1911.01276.pdf> (funnet 02 22, 2020).
- Gilje. *Vinduer*. u.å. <https://gilje.no/vinduer/fastkarm/?fbclid=IwAR3Ryco07xIZf-g9klSopiVaY7pphIGwjTVnBYW9Y6Hn1YjU06I5zq2Kcuk#prodMenuLine> (funnet 03 22, 2020).
- Glava. *Glava EPS S150*. u.å. <https://www.glava.no/bygg/produkter/skumplastisolasjon/glava-eps/glava-eps-s-150/> (funnet 04 05, 2020).
- Google. *Google Scholar*. u.å. <https://scholar.google.com/intl/en/scholar/about.html> (funnet 02 09, 2020).
- Grønmo, Sigmund. "*Kvalitativ metode*", *Store Norske Leksikon*. 10 01 2020. https://snl.no/kvalitativ_metode (funnet 02 10, 2020).
- . "*Kvantitativ metode*", *Store norske leksikon*. 16 04 2020. https://snl.no/kvantitativ_metode (funnet 04 30, 2020).
- GS1 Norway. *Hva er åpenBIM?* 22 05 2017. <https://www.gs1.no/vare-bransjer/bygg/bim/hva-er-apenbim> (funnet 03 24, 2020).
- Haaland, Svein Magnus. *Effektiv bruk av BIM i byggebransjen*. Masteroppgave, NTNU, 2012.
- Jacobsen, Dag Ingvar. *Hvordan gjennomføre undersøkelser?* Oslo: Cappelen Damm, 2015.
- Khajavi, Siavash H., Naser Hossein Motlagh, Alireza Jaribion, Liss C. Werner, og Jan Holmstrøm. «Digital Twin: Vison, Benefits, Boundaries and Creation for Buildings.» *IEEEExplore*. 23 10 2019. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8863491> (funnet 03 19, 2020).
- Knittle, Bill. *Content in Revit - Families, Artikkel*. u.å. https://www.synergis.com/uploads/resources/Content%20in%20Revit.pdf?fbclid=IwAR3cGZmd8Y_yWzorAjkmgAWG1uuZqeGhNRrOYkGG5DdZCaDWAdUjq5S0h0M (funnet 04 23, 2020).
- Kunz, John, og Martin Fischer. «Virtual design and construction.» 22 01 2020.
- Linge, Geir Nordal. *Relasjon*. 03 10 2016. <https://relasjon.skanska.no/hva-er-egentlig-bim/> (funnet 03 23, 2020).
- Lotherington, Ann Therese . *Intervju som metode* . Tromsø: Forut, 1990.
- Løvaas, Rune. "*Prosjektere*", *Store norske leksikon*. 30 06 2018. <https://snl.no/prosjektere> (funnet 02 23, 2020).

- MagiCAD. *MagiCAD-Connect for Revit*. 02 10 2018. <https://www.magicad.com/en/magicad-connect-for-revit/> (funnet 04 2020).
- Nettvett. *Tingenes internett*. 26 03 2020. <https://nettvett.no/tingenes-internett/> (funnet 04 25, 2020).
- nti. *Ny programvare sikrer enkel drift og vedlikehold gjennom bruk av åpenBIM*. u.å. <https://www.nti.biz/no/blogg2/2019/no-2019/ny-programvare-sikrer-enkel-drift-og-vedlikehold-gjennom-bruk-av-apenbim/> (funnet 03 2020).
- O'Connor, Chris. *IBM Watson IoT, Digital twin: simple but detailed, Video*. 27 06 2017. <https://www.youtube.com/watch?v=RaOejcczPas> (funnet 03 05, 2020).
- Samtidig Prosjektering. *Visualisering*. 12 06 2019. <https://www.samtidigprosjektering.no/visualisering/> (funnet 03 24, 2020).
- Sander, Kjetil. *"Driftsfasen", studie.no*. 16 10 2019. www.estudie.no/driftsfasen/ (funnet 03 24, 2020).
- Seres, Silvija , og Guro Knapstad. *#125: EnergyTech: Guro Knapstad: Digitale tvillinger for olje og gass, Podcast*. 29 11 2018. <https://shows.acast.com/lrntech/episodes/125-energytech-guro-knapstad-digitale-tvillinger-for-olje-og> (funnet 03 20, 2020).
- Solberg, Mari. *"Byggenæringen satser minst på forskning og utvikling", Teknisk Ukeblad*. 11 03 2014. <https://www.tu.no/artikler/byggenaeringen-satser-minst-pa-forskning-og-utvikling/230277> (funnet 05 03, 2020).
- Statistisk Sentralbyrå. *Produktivitsfall i bygg og anlegg*. 19 01 2018. <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/artikler-og-publikasjoner/produktivitsfall-i-bygg-og-anlegg> (funnet 04 16, 2020).
- Statsbygg. *BIM i Statsbygg*. 11 04 2014. <https://www.statsbygg.no/oppgaver/bygging/bim/> (funnet 04 16, 2020).
- . *Digital grunnmur på plass for Statsbygg*. 17 12 2019. <https://www.statsbygg.no/nytt-fra-statsbygg/nyheter/2019/digital-grunnmur-pa-plass-for-statsbygg/> (funnet 05 05, 2020).
- . *Digitale kontraktskrav*. 15 08 2018. <https://www.statsbygg.no/Nytt-fra-Statsbygg/Nyheter/2018/Digitale-kontraktskrav/> (funnet 03 23, 2020).
- Statsbygg. *SIMBA - Statsbyggs BIM-krav 1.3*. Ytelsesbeskrivelse, Oslo: Statsbygg, 2020.
- . *Årsmeldinger*. 10 03 2020. <https://www.statsbygg.no/Nytt-fra-Statsbygg/Arsmeldinger/statsbygg-i-2019/> (funnet 03 23, 2020).

- Svartdal , Frode. "*Reliabilitet*", *Store norske leksikon*. 03 04 2020. <https://snl.no/reliabilitet> (funnet 05 11, 2020).
- Sweco. *Visualisering og modellering*. 30 04 2020. <https://www.sweco.no/vart-tilbud/bim/?service=Visualisering+og+modellering> (funnet 05 03, 2020).
- Swegon. *Swegon*. u.å. <https://www.swegon.com/no/produkter/romprodukter/vannbarneromprodukter/komfortmoduler-4-veisblasende/parasol-zenith-b/?fbclid=IwAR2T5miMtHA7XlsjIscwSLT2gxw19iJbvghzAEeFMfgBogNI2vKomEj3E8E> (funnet 04 02, 2020).
- Tahir, Arslan, og Elton Wong. *Integrert FDV-BIM utvikling gjennom byggeprosessen, Masteroppgave Universitetet i Agder*. 2013.
https://buildingsmart.no/sites/buildingsmart.no/files/2013_uia_eltonwong_arslantahir_fdb-bim.pdf (funnet 03 24, 2020).
- Technopedia. *IT Infrastructure*. 03 05 2018. <https://www.techopedia.com/definition/29199/it-infrastructure> (funnet 04 22, 2020).
- UNIT. *Oria søketjeneste*. 24 04 2020. <https://www.unit.no/tjenester/oria-soketjeneste> (funnet 04 30, 2020).
- Wæhle, Espen, og Sirianne Dahlum. "*Case-studie*", *Store norske leksion*. 18 02 2018.
<https://snl.no/case-studie> (funnet 03 15, 2020).
- Yin, Robert K. *Case study Research: Design and Methods*. Sage Publications, 2014.

Vedlegg

Vedlegg 1 - Intervju Even Segbø (Intervjuobjekt I), 02.04.2020

Even Segbø er styremedlem i Erstad og Lekven Bergen AS og jobber i byggeledelsen på Barne- og ungdomssykehuset II (BUS II). Dette prosjektet er et digitalt og bærekraftig og foregangsprosjekt, der det er satt retningslinjer om digital byggeplass.

1. **Segbø:** Men hvis dere sier litt av hva dere skal skrive om og hva dere tenker. Hva dere skal svare på.
2. **Jellestad:** I hovedsak, Vi fikk jo en tverrfaglig oppgave via skolen i samarbeid med energistudentene der de skal ha et klimatreningssanlegg hvor de skal ha et kammer der de skal kunne få opp og ned temperaturer til ekstreme verdier. Det var i hovedsak energi og miljø som hadde vært med på å forme oppgaven. Så veilederen vår ville ha noen som kunne modellere bygget. Det var grunnen til at vi hadde lyst å være med på denne oppgaven. Det har heller ikke blitt satt noen krav til hvordan bygget skal se ut, så vi har vært med på å sette opp bygget også. Men vi har begrenset dimensjonering og den slags og har ikke finregnet på noe eller noe som helst. Også har vi prøvd å touche litt innpå det med digital tvilling og studere det, og ja, ha en slags casemetode da, at vi modellerer selv og prøver å implementere så mye informasjon som mulig å se hvordan det går da.
3. **Skogvang:** Vi prøver på en måte å lage en digital tvilling så oppgaven handler liksom om BIM og fordeler og ulemper i de ulike fasene, prosjektering, utførelse og avvikling.
4. **Jellestad:** Om det blir en digital tvilling i den forstand blir jo litt vanskelig for oss på den korte tiden, men bare det å touche innom og prøve å bruke litt programmer og se hva folk holder på med og sånn det er det som er målet da.
5. **Skogvang:** Det er egentlig i hovedsak det oppgaven dreier seg om. Vi har noen bilder og også, men det blir litt vanskelig å vise på denne avstanden her.
6. **Segbø:** Det går bra
7. **Jellestad:** Men nå er jo ikke det, vi kommer ikke bare her for å snakke om digital tvilling sant. Det er jo mer det med digitaliseringen og egentlig det du har å tilføye på den fronten da. Det er egentlig det som er målet med, ja.
8. **Segbø:** Nei, men jeg kan jo vise litt da, av, litt om modellen..
9. **Skogvang:** Har dere en modell dere bygger etter?
10. **Segbø:** Ja.
11. **Skogvang:** Hvilket program er dette her?

- 12. Segbø:** Dette er StreamBIM, det het Rendra tidligere. Og de som prosjekterer dette bygget her de jobber i Revit. Og eksporterer sine filer til IFC, som settes inn i StreamBIM.
- 13. Jellestad:** Det er det samme som vi gjør.
- 14. Segbø:** Og det som er, er at når en modellerer, jeg vet ikke om dere har vært inne på det, men modenhetsnivå i modellen?
- 15. Skogvang:** Ja, MMI, Modell Modenhets Indeks og LOD.
- 16. Segbø:** Ja, det er begreper som ikke jeg kan. Men hele poenget er at man utvikler modellen og hele tiden gjør den bedre og bedre. Man jobber seg igjennom detaljene og får prosjektert riktige dimensjoner på bæresystemer for eksempel og får de riktige produktene inn. Så nå er vi da på byggefase.
- 17. Skogvang:** Har dere sånn MMI nivå nå?
- 18. Segbø:** Ja, vi har det et eller annet sted, men det er jeg ikke involvert noe i, så jeg vil ikke si noe om hvor moden den er. Den er på det nivået som rådgiverne mener den skal være.
- 19. Jellestad:** Ja, for dere bygger jo etter modellen?
- 20. Segbø:** Ja, vi bygger etter modellen, med noen detaljtegninger. Hvis vi bare plukker opp noe i andre etasje her (viser i StreamBIM modell).
- 21. Skogvang:** Er det noen spesielle fordeler eller ulemper med StreamBIM-programmet?
- 22. Segbø:** Ja, det er det, begge deler! Skal vi se, skal bare få opp noe på modellen her. Dette er jo en kjempetung modell, svært prosjekt. Joda, det er fordeler og ulemper selvfølgelig. En av ulempene da, for å ta det. Jeg vet ikke om det er noe spesifikt for StreamBIM, men, hvis jeg bare snitter inn i modellen her nå.
- 23. Skogvang:** En ulempe er vel at det er ganske tung modell, men det er vel ikke så mye å gjøre med alltid.
- 24. Segbø:** Nei, det stemmer. Nå så det ganske greit ut her (snakker om modellen). Men en ting som ikke alltid er like god er eksporten fra Revit til IFC. Skal bare la modellen få tegne seg litt opp igjen her.
- 25. Jellestad:** Er det ting som mangler, eller kommer det feil plassert, eller litt begge deler?
- 26. Segbø:** Det går litt på hvordan veggene avsluttes. Vegger er ført igjennom andre vegger og litt sånn diverse. Slik ville en aldri ha bygget det, men slikt må man bare forstå at slik bygger man det ikke. Det er en ulempe med det, hvis man skal si at dette skal være helt eksakt å bygge. Et annet eksempel er detaljer. Hvordan avslutter man egentlig den fasaden uten detaljtegninger. Det kan være en hadde klart det dersom man hadde tegnet veldig detaljert. Men i dette prosjektet her så har vi en hel del detaljtegninger som ligger ved siden av. At man har en del detaljtegninger som viser hvordan dette skal bygges. Med den modenheten vi har i modellen

så er det helt nødvendig for å kunne bygge. Slik at vi er ikke fullstendig digitalt prosjekt, men alt dette ligger i samme modellen. En kan hente opp tegninger fra StreamBIM. Men det som vi ikke har fått til, jeg vet ikke om det er mulig å få til, men det er å ha noe som viser hvor man finner detaljtegninger i modellen. Det må man vite. Man må studere tegninger i forkant og skjønner at her er det en detalj man må gå inn å se på.

27. Skogvang: Så det er ofte de detaljtegningene som de ute på arbeidsplassen går inn og henter da?

28. Segbø: Ja, det er det.

29. Jellestad: Har det skjedd der at de har bygget og ikke visst at det skulle være en detaljtegning der?

30. Segbø: Ja, det har det. Det som er ganske typisk, nå jobber jeg med byggfaget, tømrerne, og de er vant med å håndtere slike tegninger og studere og jobbe med dem. Så er det mange av disse tegningene som har detaljer som har grensesnitt for rør, VVS og elektro og de er ikke like vant med å jobbe med tegningene. Så de leter ikke etter tegningene og skjønner ikke at tegningene ligger der, og hva som skal skje, og da får vi en utfordring fordi de enten har gjort feil eller ikke vet hva de skal gjøre, og spør «Hvordan skal vi løse dette?». Det har vi hatt noen problemer med.

Noe annet som er en stor fordel med StreamBIM er denne funksjonen (viser i modell) som heter «Capture», som gjør at det går an å ha en dialog. Denne dialogen her viser at det er stilt et spørsmålstegn ved veggtype. Her er det ikke modellert en vegg. Han som stilte spørsmålstegn ved denne veggen gikk ut fra Høgskolen i fjor, Espen Midtun. Jeg vet ikke om dere kjenner navnet?

31. Jellestad: Jo, jeg tror jeg har hørt om han.

32. Segbø: Han har altså stilt et spørsmål til arkitekten: «Hva skal vi gjøre her?». Så svarer arkitekten, før det blir videresendt til en tømrer.

33. Skogvang: Det fungerer bra?

34. Segbø: Det fungerer relativt bra vil jeg si. Ulempen her er at det kan bli veldig mange saker. Slik StreamBIM er bygd opp, så er det en person som får ansvaret for saken, og hver person kan gå inn og se hva som er sine egne saker. Det som er dumt er at når man svarer på en sak, så endrer ikke det hvem som har ansvaret for saken. Det hadde vært veldig greit at når sier hvem saken er til, så endrer man også hvem som har ansvaret for saken. Det gjør ikke den, så det må man passe på. Det er en praktisk erfaring vi har gjort oss.

35. Jellestad: Jeg lurte litt på inne i modellen; vinduer og dører osv. er det produktinformasjon på leverandører i modellen?

- 36. Segbø:** Ja, skal vi se (Leter i modellen). Når vi velger gulv for eksempel i modellen, så får vi opp hvilken gulvtype det er, gulvbelegg osv. og vi har muligheten til å få informasjon om arealer. Produktnavn får vi opp. For eksempel så har gulvlegger meldt inn hvilket produkt han har tenkt å levere og fått det godkjent, og dermed kunne arkitekten legge inn i modellen hvilken type belegg det er. Det skal vi kunne kontrollere. Hvor det er står, og kontrakter er oppgitt. Det vi har som er veldig gunstig er dRofus som er et programmeringsverktøy. I programmet ligger informasjon til 3FM(?) som er merkesystem, det er mer teknisk egentlig. Til bruk for drift. (viser merkekode). Og knytter seg til forskjellige tegningsnavn osv. Hvis vi er nysgjerrig på sengerom f.eks. så får vi opp en rekke av ulike romfunksjonstypene. Vi kan da velge ut et rom og få informasjon om rommet, hva er det til? Hva bør det ligge i nærheten av? Hva er statusvirksomhet? Hva skal rommet brukes til?
- 37. Skogvang:** Hvis du skulle gjort det papirbasert, og ikke digitalt, hvordan kunne det blitt gjort da?
- 38. Segbø:** Det kunne vært et svært regneark i en database. Dette (dRoufs) er jo en database. Fordelen her er at dRofus er linket sammen med Revit og StreamBIM, slik at i denne listen her, over objekter i rommet, så er det lagt inn alt av objekter som skal være i rommet. En benkeplate f. eks er knyttet opp til leverandør. Kanskje de ikke skal ha bare en benkeplate, men en benkeplate med en vask i. Da vet man at det trengs vann- og avløpssystem i rommet. Dette er da et arbeidsverktøy for de som prosjekterer, hvor de kan se om man har fått med alt som er nødvendig i rommet. I tillegg hvis vi lurte på hva noe er. Et elektrisk bord krever f. eks en stikkontakt. Hva er egentlig alle de greiene som er i rommet. Hvis man lurte på hva noe er, kan man trykke på objektet og få ut informasjon om det. Man kan også gå andre veien og søke etter hvor man finner spesifikke objekter i bygget. Noen objekter har også bilder slik at man kan se hva det er. I den digitale tvillingen og elektroniske modellen og sånn. Det å knytte sammen disse produktene som start slik at man vet hva man skal ha og hva man skal bygge, og videre knytte det til modellen er en måte å se om man har fått med alt.
- 39. Skogvang:** Ligger produktinformasjonen også inne i dRofus?
- 40. Segbø:** Ja. Det vil bli lagt inn. Nå er jeg ikke veldig trygg på FDV-dokumentasjon, men i dette systemet ligger det en mulighet for å tilordne produktkrav for rådgivende, og entreprenør kan legge inn FDV-dokumentasjon i form av produktblad som forteller hva produktet består av og hvordan det skal vedlikeholdes og driftes. Også kan byggherre godkjenne det og kvittere ut at det som er modellert faktisk er levert. Og når man er ferdig så skal man i utgangspunktet ha dokumentasjon på alle produkter som er i bygget.
- 41. Jellestad:** Ja, for da skal det stemme overens med modelleringen?

- 42. Segbø:** Ja. Når jeg velger HC-toalettet her, så vil det være lagt ut produktinformasjon om det. Drift senere skal da kunne bruke dette senere når bygget er ferdigstilt. Rådgivende skal også kunne sjekke at produktene tilfredsstillende de kravene som er satt og de egenskapene som er etterspurt.
- 43. Jellestad:** Det vi prøver på nå, når vi lager modellen og legger inn produkter, er å lete etter produkter som har nettopp denne informasjonen for FDV og produktblader. Vi har også sett på å få inn GTIN-nummer som er et unikt nummer for produktet, som igjen kan være bra i driftsfasen og når bygget skal rives.
- 44. Segbø:** Det er knyttet til varedatabasen?
- 45. Jellestad:** Ja, rett og slett. Men det er ikke alle leverandører som er like flink. Vi har bare internett til rådighet.
- 46. Skogvang:** Det er ikke alle som har GTIN-nummer på produktene sine.
- 47. Jellestad:** Riktig, og heller ikke produktdatablad lett tilgjengelig på sine nettsider, så det blir litt leting. Men det er det vi prøver å få til. Og få den digitale tvillingen til å fungere også i driftsfasen. Dette oppsettet med dRofus var jo veldig greit, at når man kommer til punkt fem, så skal alle de brukte produktene stemme overens med det som er modellert.
- 48. Segbø:** Den lenken mellom romdatabasene med dokumentene og modellen er det som egentlig gir en digital tvilling. I hvert fall i et slikt prosjekt som dette. Det kan tenkes at det kan gjøres enklere i mindre prosjekter, men her får man altså all informasjonen ved å gå inn et sted.
- 49. Skogvang:** Hvordan er det når arbeiderne på byggeplassen for eksempel bygger et toalett. Registrerer de det på arbeidsplassen også oppdateres modellen ut ifra det?
- 50. Segbø:** Nei. Vi har ikke noe opplegg på at man kvitterer ut det som er bygget. Det gjøres på tavlemøter hvor vi logger status på om man er i rute eller ikke på det som er planlagt. Det som kan gjøres med en digital tvilling knyttet opp mot et fremdriftsprogram som huker av de enkelte objektene slik at man kan lage en tidslinje og se hvor langt bygget skal være kommet på en bestemt dato, og kjøre det som nærmest en film. Det har vært laget her på råbygget, men jeg har ikke tilgang til den. Det er i et program som heter Synchro. Der kan man se hvordan bygget reiser seg, hvor det starter, at første tårn reiser seg før man bygger ut basen til neste blokk. Så det er en mulighet til å knytte sammen slik at man da får 4D hvor tid er inkludert.
- 51. Skogvang:** Har dere brukt AR eller VR i prosjekterings- eller utførelsesfasen?
- 52. Segbø:** AR har ikke vært brukt, men VR er brukt ganske mye. Brukerne på bygget har vært igjennom rommene med VR briller og testet ut rommene i forkant av bygging. Sengerommene

ble da endret ganske mye i prosjekteringsfasen, da brukerne meldte inn at «slik kan vi ikke ha det, vi må ha det slik», i forhold til behandling av pasienter osv. I et undersøkelsesrom vil de typisk ha vært inne og vurdert; hvor er plassering av de forskjellige enhetene. Hvor er plassering av sengekanal i forhold til arbeidspult. Hva trenger vi i fasaden? Hva trenger vi i skuffer og skap, hyller, tavler osv. Det er veldig nyttig med tanke på brukerne. Jeg har vært borti mange prosjekter hvor brukerne har kommet og sagt «oja, var det sånn det ble?». De har da bare sett 2D-tegninger og ikke klart å lese de og visualisere hvordan det skulle bli.

53. Jellestad: Det er et verktøy som har vært nyttig og som dere anbefaler?

54. Segbø: Nå var jeg ikke med i den prosjekteringsfasen, men de har sagt at det var nyttig og brukerne kunne gi så mye bedre og mer spesifikke tilbakemeldinger på hvordan rommene kommer til å fungere til det som er tenkt. Vi kan bygge så mye vi vil vi, men hvis brukerne flytter inn og sier at «dette fungerer ikke» så har vi bommet.

55. Skogvang: Var det dyrt å bruke VR?

56. Segbø: Det kjenner jeg ikke til. I utgangspunktet vil jeg tro at i et prosjekt av denne størrelsen så er det en liten kostnad som gir enorm gevinst.

57. Jellestad: Har du fått noe tilbakemelding av arbeiderne og hva de syntes om å bruke en digital tvilling å bygge etter?

58. Segbø: Ja, det har vært litt blandete tilbakemeldinger. Positive og negative. La meg vise et eksempel. (leter i modellen)

59. Skogvang: Er målet at modellen skal være en digital tvilling av det som er bygget til slutt?

60. Segbø: Ja, relativt

(viser eksempel) Nå er vi inne i et vaktrom hvor det er en flatskjerm, og det er et fordelerskap med vann rett ved. Varmt og kaldt vann (viser at strøm og vann kolliderer). Til EL-boksene så skal det være trekkerør, og de er ikke modellert. De som skal legge dem, må ta hensyn til alt det andre som er rundt. Det har vi hatt ganske mange runder på. At trekkerørene kolliderer med andre komponenter. Det er vanlig å ha disse utfordringene på en analog byggeplass, men forskjellen er at her hadde vi hatt muligheten til å unngå disse feilene. En annen utfordring som er aktuell her er. Avstivende stenderne til dørene er ikke modellert i modellen. Det har vi også hatt mange runder på, om vi skal modellere disse. Dersom noen av disse avstivende stenderne krasjer med noe annet, så kan vi ikke fjerne de. Sykehusdørene får ganske kraftig moment når de åpnes.

61. Jellestad: Ja, for dersom en først skal modellere stenderverk, så bør det modelleres helt riktig?

62. Segbø: Det stemmer, da må man gjøre det.

- 63. Jellestad:** Ja, for man kan få visse fordeler ved å gjøre det. Man får modellen mer som-bygget, og i tillegg fordeler som «pre-cutting».
- 64. Segbø:** Det er riktig. Og det som er viktig er at den som modellerer det enten modellerer det i samarbeid med tømmer eller er veldig dreven i faget selv, for å vite hvordan stenderne skal stå.
- 65. Jellestad:** Jeg har prøvd litt selv, og merket fort at jeg ikke satt på kompetansen til å plassere stenderne selv.
- 66. Segbø:** Riktig. De rådgiverne som sitter og tegner er gjerne tekniske tegnere som kanskje aldri har vært på en byggeplass. Så har du arkitekter og rådgivere som bestemmer hva som skal være i modellen. Så kommer entreprenøren som kanskje har valgt et litt annet produkt enn det som er modellert. Veldig vanlig er ventilasjonssystemer, der svinger ol. kanskje ikke er like skarp som modellert. Så kommer leverandøren med produktet, og så må kanalene føres litt annerledes. Det tar med en gang mer plass enn det som var tenkt, da det ikke kan byttes. Det tar mye plass å flytte en kanal 10 centimeter.
- 67. Jellestad:** Hvordan er det når det prosjekteres? Endres modellen ut ifra hva entreprenøren velger?
- 68. Segbø:** Både og. I utgangspunktet så skal det man tegner være det som velges og leveres på byggeplass. Når det kommer til ventilasjonsaggregatene så kan de ha satt inn en type fra en produsent, men så leveres kanskje produktet fra en annen produsent. Da er kanskje aggregatet litt lengre, tykkere eller høyere enn det skulle vært. Det er viktig å ta inn i modellen og endre på. De tekniske rommene er som regel fullstappet med objekter og det er da viktig at målene er riktig.
- 69. Skogvang:** I forhold til avvikling av bygget når den tid kommer, skal dere kunne bruke modellen til å se hvilke materialer ol. som kan gjenbrukes?
- 70. Segbø:** Da er du egentlig langt forbi mitt felt, men vi er pålagt gjennom lovverket å ha en plan på FDV-dokumentasjon, og føre hva som er brukt av produkter og materialer. Om det blir i modellen eller dRofus eller et annet program etter hvert i løpet av byggets levetid, det vet jeg ikke, men vi samler inn grunnlaget. Så kan det jo være om 50-60 år at det er andre krav og retningslinjer.
- 71. Jellestad:** Hvordan fungerer driften? Får vaktmestere f. eks tilgang til modellen?
- 72. Segbø:** Ja, det gjør de. Jeg syntes dette prosjektet er veldig langt fremme når det kommer til det. Teknisk avdeling på sykehuset her, de er med igjennom hele prosessen. Og de har fått sagt sitt på hva som er viktig i forhold til renhold og teknisk drift. Så de har vært med å legge en del premisser for hvordan løsningene skal være. De er også med på bord-tester, hvor en

tester og har teoretisk gjennomgang av tekniske systemer og kommer med innspill på sine erfaringer og meninger. Og de er godt kjent allerede og har tilgang til modellen. Vanligvis ville de fått dette om tre år når bygget er ferdig. «Vær så god, her er to sett med permer, les dere opp og begynn å bruk det».

- 73. Skogvang:** En del av fordelene med BIM er jo at det skal være kostnadsbesparende, har det vært det for dere?
- 74. Segbø:** Jeg vet ikke noe om det; men dette prosjektet er nesten å regne som et pilotprosjekt. Et stort og komplisert bygg. De har brukt mye tid på modellen, så jeg tror på prosjekteringssiden så har det blitt brukt mer penger, da en har modellert mye mer i detalj enn det en ville ha gjort ellers. Entrepriskostnaden er jo stort sett det samme, for de skal jo levere det samme. Så spørsmålet er om en har klart å luke bort feil, feilrettinger og urasjonell bygging, som gjør at totalen er bedre. Det jobber vi hver dag med å se på, og vet egentlig ikke det enda. Den største besparelsen ligger egentlig om vi klarer å bruke modellen til å være nok i forkant av feil ol. og klart å planlegge godt nok. Entreprenørene har sett hvordan dette skal se ut og må klare å samarbeide og koordinere. Det er ikke sikkert byggherre i første omgang får de største kostnadsbesparelsene. Det får de ikke før entreprenørene ser at de klarer å bygge billigere med disse hjelpemidlene, og koordinere slik at de unngår alle kostnadene en får ved å måtte bygge om igjen eller være urasjonelle på en eller annen måte. Ser de dette så kan de skru prisene ned, og dermed kan byggherre også få besparelse etter hvert. Jeg tror ikke dette prosjektet kommer ut som et glansbilde på at det var så mye billigere, men kanskje kan vi komme ut med at vi klarte å holde planlagt tid og kvalitet, og da er første steg til å spare penger tatt. Bruker man et år lengre så er det klart at det vil øke kostnadene på et prosjekt.
- 75. Skogvang:** Etter dine erfaringer, har det blitt gjort mindre feil i dette prosjektet enn tidligere prosjekter du har vært med i?
- 76. Segbø:** Godt spørsmål. Jeg syntes at det gjøres veldig mye godt arbeid ute, og at vi har nytte av den muligheten til å koordinere godt. Så blir det gjort feil, og det oppdages utfordringer. Men jeg syntes i stor grad at vi har klart å oppfatte det tidligere enn andre prosjekter. Jeg vil si at vi er på rett vei. Det syntes jeg. Feilene ligger ofte i grensesnittene mellom flere fag. At de går inn og ser på modellen hva som er modellert for seg, og det er ikke nødvendigvis modellert feil. Men når man får disse tette grensesnittene så blir det utfordringer med en gang.
- 77. Jellestad:** Entreprenørene er gjerne ikke vant til å jobbe med disse modellene heller. Men det blir kanskje bedre med tiden?

- 78. Segbø:** Det vil det nok. Jeg syntes entreprenørene tar godt tak. Noen har jobbet med det før, andre har aldri vært borti slike modeller, men de er veldig positive. Faren er kanskje at de har vært så frempå at de forventer at modellen er riktig. Noen tilfeller så er modenheten i modellen ikke så høy som entreprenørene forventer.
- 79. Jellestad:** Har du noen tips til oss i forhold til oppgaven?
- 80. Segbø:** I forhold til avgrensningene dere skal gjøre i oppgaven. Med tanke på FDV-dokumentasjon, skal dere gjøre noe med 4D eller lignende?
- 81. Jellestad:** Nei, men vi skal snakke litt om sensorer og sanntidsdata. Har dere fokusert på det her?
- 82. Segbø:** Nei, det har vi ikke. Men noe som kan være interessant når en først har modellert og har masse data er hva man kan bruke all denne dataen til. Roboter på byggeplass for eksempel. Boringsroboter, armeringsroboter osv. At man kan få mest mulig prefabrikasjon og slike ting. Så er det alltid slik at der modellen er presis, så har entreprenørene millimeterer som de kan avvike. De bygger jo tross alt i all slags vær og vind.
- 83. Skogvang:** Riktig. Da har vi vært igjennom det meste vi lurte på, og har fått mye god informasjon. Tusen takk for at du tok deg tid til å snakke med oss!
- 84. Segbø:** Det har vært veldig kjekt, takk for møtet!

Vedlegg 2 – Intervjuer med Øystein Vindenes (Intervjuobjekt II)

Øystein Vindenes jobber som BIM-koordinator hos Norconsult Informasjonssystemer AS. Han er blant annet spesialist innen Revit og AutoCAD.

Vedlegg 2.1 «Samtaleintervju» med Øystein Vindenes, 15.04.2020

1. **Jellestad:** Jeg har lagt den inn på denne måten, går det greit?
2. **Vindenes:** Ja altså det er ikke så dumt. Kem e det du skal dele dette med?
3. **Jellestad:** Jeg har bare kopiert lenken, så har jeg tenkt til å gjøre det litt sånn som du har gjort det. Hvis jeg går inn på den dokumentasjonen så kan jeg vise til den direkte fra modellen. Jeg vet ikke om alle kan se det.
4. **Vindenes:** Ja for da kan du lage en sånn leservennlig lenke til alle som får lenken
5. **Jellestad:** Ja det var det jeg håpet jeg hadde gjort. For jeg har kopiert lenken. Så alle som åpner den kan lese den mener jeg. Kopier kobling har jeg brukt. Men da kommer den opp sånn. Jeg har bare laget en parameter her inne, men så kommer den opp slik. Produktbladet til akkurat denne.
6. **Vindenes:** Ja det er jo smart det
7. **Jellestad:** Ja det går fint å gjøre det på den måten?
8. **Vindenes:** Ja vi har hatt det som en slags mellomløsning, fordi at, holdt jeg på å si. Her har du full kontroll selv. Som jeg savnet litt selv. Vi hadde en database som vi prøvde å gjøre det i. Da hadde vi ikke redigeringsmulighet, fram til nå de siste ukene. Da fikk vi liksom lastet opp litt, så hvis du skulle ha en endring, så måtte du gå via de som eide databasen. Så det var ganske høy brukerterskel. Men sånn som her så hvis du da hadde delt, FDV-DT med alle som skulle gitt deg FDV-dokumentasjon, så kunne jo de lastet det opp. Dette er jo en type web-hotell-løsning, som veldig mange «takler». Så dette er på en måte riktig i forhold til teknologi og brukersnitt.
9. **Jellestad:** Ja. Det jeg var litt usikker på er at jeg stadig må gå inn og endre dokumentasjonen, hvis noe skulle endres.
10. **Vindenes:** Ja
11. **Jellestad:** Så spørsmålet blir da om dette er en tungvint måte å gjøre det på? Eller om det egent bare må være sånn
12. **Vindenes:** Ja for å sette det opp selv, så er dette en veldig bra løsning. Men det som ligger i f.eks. ProductXchange, er at de har lagd en database med masse filterløsninger. De må registreres der, så må de verifiseres. De sjekker at alle dokumentasjonene er i henhold til

nasjonale krav og sånn er nådd. Kvalitetsmessig får du en type kvalitetssjekk. Men på din måte er det de som leverer dokumentasjonen som er ansvarlig

- 13. Jellestad:** Nå har jeg prøvd å finne noe som gir meg det jeg vil ha. Grunnen til at jeg valgte f.eks. parketten var fordi at. sånn som nå har jeg funnet mye av det jeg har brukt på BIM-object. Det var det ikke så veldig mange av produktene som inneholdt f.eks. GTIN-nummer osv.
- 14. Vindenes:** Nei, det jo relativt nytt.
- 15. Jellestad:** Ja nettopp, det er det jeg har merket. Det er vanskelig å finne det, samtidig som jeg finner de objektene jeg vil bruke.
- 16. Vindenes:** Har de ingen produktnummer?
- 17. Jellestad:** Jo, jeg finner varenummer, det finner jeg på mye, og så finner jeg NOBB-nummer.
- 18. Vindenes:** Ja for NOBB er jo den norske-versjonen av GTIN. Det er nasjonalt-register. Mens GTIN er internasjonalt.
- 19. Jellestad:** Er det kanskje greit å legge opp flere parametere, og så bruke den parameteren som passer til objektet. La oss si jeg finner NOBB-nummer på én ting, så legger jeg inn NOBB-nr. på det?
- 20. Vindenes:** Ja
- 21. Jellestad:** Det var egnt det jeg lurte på. For jeg føler det er vanskelig å finne en felles ting på alt sammen.
- 22. Vindenes:** Ja eller hvis du lager to parameter, så kan du legge inn produktID, og så hvilken type produkt du har med en annen type parameter. Så du trenger ikke ett parameter for alt, alle typer ID. Du har på en måte to typer parametere som dekker alt. Eller så må du ha NOBB, GTA, GTIN osv. Så da kan alle finne ut av det. Så kan du bytte etter hvert hvis verden går i GTIN retning.
- 23. Jellestad:** Ja så kan jeg bare gå inn og endre det.
- 24. Vindenes:** Ja
- 25. Jellestad:** Så lurte jeg litt på, alle elementene jeg bruker. Hvor riktig må de være i forhold til produktet jeg velger. Sånn på f.eks. vinduer, det er noe som ikke er helt standardisert, og det er vanskelig å finne de vinduene som jeg ønsker å bruke. I hvert fall i form av geometrien.
- 26. Vindenes:** Ja for hvis du f.eks. skal ha et spesial vindu, så er jo det unike produkter. Ja hvis du finner en vindu-produsent, som har en generell beskrivelse av produktet. Altså hvis du klarer å holde deg innenfor min-max-størrelse på et tilpasset vindu, så kan du få en mer generell

beskrivelse. Du får ikke unikt produkt-id. Sånn som med vindu og gulv, hvis du bruker NorDan. De har veldig fine installasjonsbeskrivelser. En av de få som har QR-kode i karmen på vinduene. Så på en side har de en tilpasset merke med QR-kode på, så når du skanner, så får du installasjonsguiden opp på tlf eller pc.

27. Jellestad: Når jeg skal modellere dette, skal jeg lage familien selv, bruke noe som ligner, hva tenker du?

28. Vindenes: Ja hvis du skal gjøre det enkelt for deg selv, så kan jo du lage en familie der du legger inn den informasjonen du vil. Sånn at du får den alltid med deg, istedenfor å gjøre det pr. objekt senere.

Det som jeg har sett som har vært mye smartere med prosjekt jeg har jobbet på, der vi valgte produktene i prosjekteringen. For hvis folk hadde gjort som du tenkte, lagd en familie, lagt inn produktinformasjonen rett på familien. Så hadde FDVen vært ferdig når vi har prosjektert. Men så har alle holdt seg til generiske-objekter, selv om de visste hva det skulle være, så nå sitter vi nå parrer inn spesifikk informasjon på et generisk-objekt. Da gjør du egentlig samme jobben to ganger. Så hvis du vet at du vil ha f.eks. et NorDan-vindu, enten finner det eller lager det, så har du på en måte gjort jobben, dokumentert og FDV i ett.

29. Jellestad: Ja, for jeg er usikker på om det blir feil å bruke et standard vindu fra Revit, og sette inn produktinformasjon i dette.

30. Vindenes: Det er mange som bruker generiske modeller, veldig lite produktspesifikk, fordi rådgivende har man ikke alltid lov til å "spisse" så mye i prosjekteringsfasen. Man setter da inn noe som har riktig størrelse, noen detaljer blir som de blir. Det er helt greit å bruke en enkel geometri også spisser du "etterpå". Så lenge det ikke forårsaker krasj. Må ha riktig yttermål, de målene som har effekt på resten av bygget, må være riktig. Men f.eks. spettkant detaljer, er ikke så nødvendig.

Det med vinduer og dører, det er funksjonsbeskrivelsen. Geometrien er sekundær. Hvis du har et vindu som har en UV-verdi, lyd-verdi, det er dette som må være på objektet.

Funksjonsbeskrivelsen. I dag har du de og de produsentene, de forsvinner jo i ny og ne. De må ikke vite hvilket vindu du bygde med, når du bygde huset nytt. De må vite hvilken type vindu som skal inn, hva det skal tåle.

31. Jellestad: Jeg kan eventuelt ta de familiene som ligger tilgjengelig i Revit og redigere de, og prøve å få inn det jeg har lyst til å få inn?

32. Vindenes: Ja

- 33. Jellestad:** Veggene har jeg lagt inn informasjon i, og jeg lurer på hvordan jeg skal få vist til informasjonen i de ulike sjiktene?
- 34. Vindenes:** Vegger, dører og vindu har skjema å ta ut informasjonen på. Så da lager du en detaljtegning.
- 35. Jellestad:** Ja, jeg har prøvd i størst mulig grad å unngå detaljtegninger, da vi ønsker å bruke modellen mest mulig.
- 36. Vindenes:** Vi har erfart at det er tegninger de etterspør når det kommer til vinduer osv. I 2D. Så finnes det detaljtegninger i byggforsk.
- 37. Jellestad:** Ja det er de jeg har brukt til å lage veggene, blant annet.
- 38. Vindenes:** Ja istedenfor å re-modellere en detalj, som du har hentet ut fra byggforsk, så kan du lage en ala FDV-link til PDF, fra byggforsk.
- 39. Jellestad:** Ja for det blir egentlig dumt å tegne inn på nytt, når du har brukt det som et grunnlag. Egentlig lettere å vise rett til kilden.
- 40. Vindenes:** Ja for da får de på byggeplass, den informasjonen de vil ha, og det er god informasjon.
- 41. Jellestad:** Ja vi snakket om dette litt i sted, når rådgivende ikke plasserer de ulike produktene i modellen. Når entreprenøren da har valgt produkter, går dere da inn og endrer det da?
- 42. Vindenes:** Både ja og nei, offentlig anbud der har man aldri lov til å binde objektene opp til en leverandør, kort sagt. Så da vil du aldri spisse geometrien, men du spisser informasjonen. Så det som gjøres da er å typisk lenke FDV-en, som beskriver hvilket produkt du har plassert inn. For å styre dette, slik at produktet er riktig, så brukes det informasjon om hva vinduet skal oppnå. Det som lever med bygget, er jo hvorfor vinduet er der og krav til vinduet.
- Du kan da vite at dette er det perfekte vinduet, men så kan det være dobbelt så dyrt, da vil entreprenør alltid kjøpe det billige.
- Den friheten for at entreprenør skal tjene penger, er i gapet mot at de klarer å oppnå kravspesifikasjonen, det er da viktig å ikke sitte den for lav og finne billigste produktet. De jobber da mot minimumskrav.
- 43. Jellestad:** Ja så da er det greit hvis han klarer å innfri disse kravene, og da er modellen god nok?
- 44. Vindenes:** Ja

45. Jellestad: Ja for jeg tenkte litt på hvordan produktene kan implementeres, slik at det ligger inne riktig informasjon, i f.eks. driftsfasen.

46. Vindenes: Ja hvilken entrepriseform er det snakk om?

47. Jellestad: Vi har ikke tatt høyde for det, vi ønsker bare å utforske fordelene og ulempene for å skape en digital tvilling.

48. Vindenes: Ja fordelene, hvis du gjør sånn som du tenker. Hvis entreprenøren låser seg til å kjøpe det du plasserer i modellen, så er jo egentlig modellen "som bygget", før den er bygget.

En ting som i hvert fall er sikkert, er at når du har bygget ferdig, så skal FDV-dokumentasjonen inn. Man må da plage folk som egentlig ikke har lyst til å være i prosjektet lengre. Det tar tid og de prioriterer alt annet som brenner mer, og det hales ut i evigheten. Men hvis du da har sagt her er handlelisten, du handler den og du installerer den, da er jo modellen ferdig. Da kan de også styre prosessen med produktvalg i modellen.

Situasjonen i dag, er at de tolker modellen, så kjøper de et eller annet som de håper passer med modellen, så bygger de det. Så må det de har gjort inn igjen i modellen.

Drømmen til BIM, er jo hvis du gjør dette sånn som du har lyst, så spør du entreprenøren om de har tenkt til å kjøpe vinduet, ja eller nei. Hvis nei, hvilket vindu kjøper du? Flott, da putter vi det inn her. Da kan du få inn informasjonen mye tidligere.

49. Jellestad: Så har vi dette med framing, som vi har prøvd å få inn i modellen.

50. Vindenes: Ja hvis dette er et modulbygg, så er framing bra. Da lager du en framing og sender det til modulbyggeren, så kan ha komme med sine innspill om hvordan det skal gjøres. Så kan disse nummereres osv. Da kan du få pre-cut med nummerering.

De som skal bygge må da verifisere modellen, sånn som de tenker å bygge.

51. Jellestad: Da har du de med i prosessen også?

52. Vindenes: Ja riktig, du må få de inn. Ikke bare tenke at en tømrer skal gjøre som du har tenkt.

Bakdelen er at du får et mye mer komplekst bygg. Når du da skal gå gjennom veggen med en ventilasjonskanal, så må jo du faktisk lage detaljer, som viser utsparingen med framing. Det blir ekstra mye detaljer og du må jobbe en modell mye mer igjennom.

Hvis du da har gjort dette helt riktig, så sitter du igjen med en modell som fungerer, det er ikke noen overraskelser noen steder.

Spørsmålet er nytten, for tømreren gjør kanskje som han vil likevel. Per dags dato har vi nok med at det lages teknisk sone osv., at dette gjøres rett. Når dette er på plass, så kan vi begynne å tenke på framing.

53. Jellestad: Ja for det finnes gevinster?

54. Vindenes: Ja da må du se på BREAM osv. For det koster en god del flere timer å prosjektere, ved bruk av framing.

Vedlegg 2.2 «Standardisert intervju» med Øystein Vindenes, 01.05.2020

Under arbeidet med bacheloroppgaven har vi erfart at «Digital tvilling» har ulike definisjoner. Hva er din oppfatning av hva en digital tvilling er, og inneholder?

En digital tvilling er en BIM modell som inneholder i hovedsak en grafisk fremstilling av bygget, hvor det skal være gjennomgående høy nøyaktighet, både på dimensjoner og plassering av byggelementer. Dette gjelder også «skjulte» elementer, elementer inne i vegger, i tekniske sjakter etc. Modellert på en lik måte som det er bygget.

Del 2 av en digital tvilling er nok utfylt informasjon på alle elementer, som gir informasjon som ikke er dekket av grafikken.

Hva mener du er driverne for å bruke en digital tvilling (og hvorfor) i:

Prosjekteringsfasen:

- *Med eller uten bruk av verktøy fra VDC (Virtual Design Construction) så gir en digital tvilling, mulighet for parallell prosjektering, altså at alle fag jobber «oppå» hverandre, og en unngår at hvert fag jobber i en lukket verden, hvor en gjør tilpasninger på ferdige fag lenge etter de er ferdig, siden «neste» fag utfører sitt etterpå*
- *Min «favoritt» er at det er en enhetlig plass for å ha oppdater prosjekteringsdata, hvor en kan kontrollere hvilken versjon av informasjonen alle ser på. Og med riktig verktøy så lager en*

saker med referanse til modellen, og ikke en vilkårlig 2d representasjon, med variabel revisjon.

- Det er også mye enklere å ha en felles forståelse av et design når en bruker 3d fremfor 2d.
- Saksgangen på avklaringer går raskere
- Oppdateringshastigheten til alle prosjekterende er raskere ved bruk av DT.
- Rapportering muligheter, siden DT er digital, og informasjon, så kan en lage enkle fremdrifts rapporter basert på informasjon, ned på hvert enkelt element. F.eks. en KPI på
 - total antall objekter med MMI 400 / total antall objekter
 - Antall saker som må lukkes
 - Hvor mange elementer mangler noe av informasjonen
 - o FDV
 - o MMI
 - o Beskrivelse
 - o Bygge informasjon
- Enklere og raskere og mer nøyaktig kunne peke på hvem som «har feilen» i prosjekteringsdataen. Som gjør at fokus kan være på å løse, fremfor å krangle om hvem som har skylda, som igjen sparer penger både på avviksopprettingen, men også gjennomføringshastighet etc.
- Menge uttak fra modell, helt ned til kapp lenge på bjelker gir økt økonomisk kontroll, bedre BREAM poeng som gir mer miljøvennlig bygg
- Bruker innspill, kan bli gitt på et bedre grunnlag, de kan bruke DT for å «gå igjennom» som bygget, og de kan også teste om det er nok plass etc. med å flytte på elementer i DT-en. Se til f.eks. sykehusprosjekter, hvor DT spiller en stor rolle i simulering av ferdig bygg, for å gi godt grunnlag for tilbakemelding fra brukere etc.

Utførelsesfasen:

- Har de samme 8 første som i prosjektering, ingen fag siloer, alle ser på samme data, forståelsen går opp, og fra avviksmeldinger er meldt inn til alle har oppdatert informasjon går det raskere. Samt «design frys» kan gjennomføres fra en sentral person i prosjektet, som styrer om noen skal bygges eller ei, f.eks. med bruk av MMI status (som settes ned til under MMI 400 (klar til bygging), eller en annen form for status på objekter som styrer om byggeplass kan bygge eller ei)
- Bruk av skanning av bygget underveis, for å raskere få oversikt over avvik fra modell til bygget

Driftsfasen:

- *Her er DT et kjempegodt utgangspunkt for god FDV (Forvaltning drift og vedlikehold) informasjon om bygget som bygget, koblet direkte opp mot objektene/produktene*

- *En god DT kan også brukes som utgangspunkt for analyse og styring av*
 - *Aircondition*
 - *Oppvarming*
- *I kontorbygg*
 - *Heat mapping (få mer eksakt bruk av bygget, som kan gi grunnlag for utleie av deler av bygget etc.)*

- *Gir også en mulighet for oppdatering av FDV på et mer detaljer nivå,*
 - *F.eks. hvilken maling, på veggflate for flate, mer enn generelt hvilken maling som er brukt på vegger/tak*

- *En kan få tilgang til informasjon fra hvor som helst i verden, en må ikke ha tak i en fysisk kopi, samt en kan også bruke DT til å lage «saker» for oppgradering/vedlikehold opp mot riktig objekt i riktig etasje/rom etc.*

Hva mener du er barrierene/hindringene for å bruke en digital tvilling (og hvorfor) i:**Prosjekteringsfasen:**

Ved å holde på elementer av tradisjonell prosjektering, produksjon av tegninger. Så «vinner» en ikke så mange timer i total av prosjektering, en bruker sannsynligvis mer tid enn i tradisjonell prosjektering. Her må en prøve å forstå at en vanligvis bruker ca. 60% av tiden på tegninger og oppdatering av disse. Om en kan «slippe» disse 60%, og kunne fokusere kun på DT hele veie, så vil en del av «ekstra» tiden forsvinne, som blir brukt på forskjellige tidspunkt for å tilrettelegge for 2d biproduksjon.

- *Og om en da klarer å styre prosjekteringen (gjør med en god prosjektering plan med MMI milepæler), og alle jobber parallelt, så vil en kunne komme seg i mål under eller i det minst med samme timeantall som gamle metoden, med gevinster som;*
 - o *Bedre løsninger*
 - o *Bedre kvalitetssikring*
 - o *Bedre bygg barhet*
- *Samt en mulighet for raskere gjennomføring*
- *Kunde KS (kvalitet sikring) skal også kunne gjøres raskere på tidligere tidspunkt, siden en samler all informasjon i en innsynsmodell/DT fortløpende, de må ikke vente på egne dokumenter som de skal «se på». Om de ber om 2d tegninger mens prosjektering foregår, så vil prosjekterings dataen være endret før de har fått dokumentene, og i hvert fall før de kommer i retur med korreksjoner/innspill.*
- *Samt en må få opp forståelsen for at enkelt fag sine timebehov må øke, for at totalen timebehov for prosjektering skal gå ned. At alle jobber sammen for en total leveranse, og ikke så mye på enkelt fag leveranser. De prosjekterende må utføre jobber når de andre trenger informasjonen, ikke når de «vanligvis» utfører noe. Eks.*
- *ARK – innertak høyde plassering*
 - o *«mønster» design ved bruk av systemtak*
- *Dette for at andre fag, eks. RIE (rådgivende ingeniør elektro) kan få plassert lamper basert på lysberegninger tidligere i prosjektet, som gjør at en kan få en fullverdig takplan i DT tidligere, med høyere kvalitet.*

Utførelsesfasen:

Krever opplæring, og at en Total entreprenør tar «sjansen» på å gjøre noe nytt. En må tåle at en ikke tjener/ kanskje taper penger på 1-2 prosjekter før en har lært nok til å begynne å tjene på en slik metode

Driftsfasen:

Forståelse hos bygg eier, hva som er forskjellen og hvilken type filer de må be om. Ensrettet fokus på IFC formatet har ikke alltid gitt ønsket resultater. Siden det er et utvekslings/informasjons format, som ikke kan oppdateres i seg selv, særdeles på det grafiske.

Når det kommer til digital tvilling, har du noen meninger/ytringer utover spørsmålene?

Jeg håper og tror at DT som arbeid metode er kommet for å bli, og vil gi økte muligheter i alle faser.

- *I prosjektering, økt bruk av*
 - *Maskinlæring opp mot byggets utforming, for å maksimere*
 - *Tomte utnyttelse*
 - *Solforhold*
 - *Salgbart areal opp mot bygget areal (økt profitt)*
- *I drift*
 - *Analysering av bygg på en helt annen måte, strøm, luft, wifi etc.*
 - *Tilpasninger for bruker, styring av soner i huset sitt, alle rom kan bli «individualisert» rett i hånden til bruker eller bygg eier*

Vedlegg 3 – Intervju med Ånond Viki (Intervjuobjekt III), 10.05.2020

Ånond Viki har god erfaring innen 3D-modellering og BIM. Han er foreleser på Høgskulen på Vestlandet der han underviser om Revit og modelleringsprogrammer i DAK/BIM.

1. Under arbeidet med bacheloroppgaven har vi erfart at «Digital tvilling» har ulike definisjoner. Hva er din oppfatning av hva en digital tvilling er, og inneholder?

Jeg tenker at det heller er et spørsmål om hvor lik den skal være. Altså om den er en "en-egget tvilling" eller ikke. Og deretter er det et tidsspørsmål. Den starter som en "prosjektert" tvilling. Så under selve byggingen så bølger det frem og tilbake hvor i det ene øyeblikket er den digitale versjonen mest korrekt for så å bli utdatert fordi entreprenøren velger en litt annerledes løsning. Men det som er av betydning er hvor lik det ferdige bygget er den digitale varianten.

2. Hva mener du er driverne for å bruke en digital tvilling (og hvorfor) i:

Prosjekteringsfasen:

Nødvendigheten av å beskrive ønsket utforming og funksjon. Når det enda ikke eksisterer noen fysisk form av bygget så blir det hvert fag sitt ansvar å utforme sin del i relasjon til de andre som driver modellens utvikling.

Utførelsesfasen:

Her er det primært entreprenør bruker modellen for å tolke hva som skal bygges og deres verktøy for å beskrive eventuelle endringer/avvik fra ønsket utforming.

Driftsfasen:

Her er det eier av bygget som bruker modellen for å drifte bygget. Dette gjelder bla.

Som oppslagsverk når utbedringer blir nødvendig

Simuleringer av "hva dersom" for bedre, mer effektiv måte

3. Hva mener du er barrierene/hindringene for å bruke en digital tvilling (og hvorfor)?

Høy gjennomsnittsalder med liten interesse for endring

4. Vi har sett på framing i modellen med hensyn på «som-bygget»-modell, noen tanker om dette? Er det nødvendig?

Framing er kun nødvendig for å lage sperreplaner/kapplister. Det er ikke nødvendig i driftsfasen.

5. Når det kommer til digital tvilling, har du noen meninger/ytringer utover spørsmålene?

DT gir store muligheter for bedre drift av bygget, nye tjenester for leietagere og nye måter å skaffe leietagere.