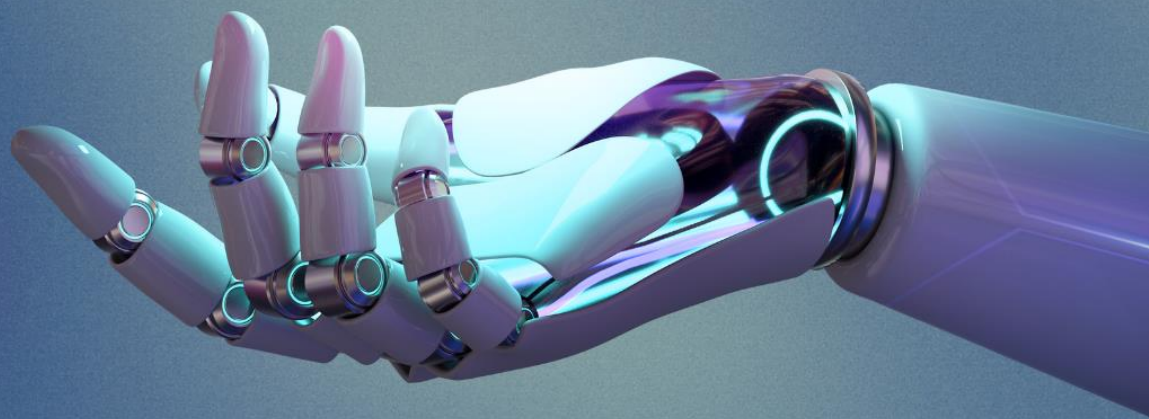


KANDIDATSPECIALE
BYGGELEDELSE OG BYGNINGSINFORMATIK

AI

I BYGGEBRANCHEN:

FORBEDRE ANVENDELSEN AF PUNKTSKYDATA, VED
SEGMENTERING OG KLASSIFICERING MED DEEP
LEARNING



SKREVET AF:
DILAKSHAN SELVARAJAH
LASSE OTTE KRISTENSEN
NIKOLAJ MUF WITTCHEN



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Titelblad

Uddannelse og semester:

Cand. Tech
Byggeledelse og Bygningsinformatik
4. Semester

Projekttitel:

AI i byggebranchen: Forbedre anvendelsen
af punktskydata, ved segmentering og
klassificering med Deep Learning

Projektperiode:

01/09/22 – 12/01/23

Semestertema:

Kandidatspeciale

Vejledere:

Kjeld Svidt
Simon Wyke Swanström

Gruppemedlemmer:

Dilakshan Selvarajah
Lasse Otte Kristensen
Nikolaj Muf Wittchen

Antal normalsider: 69

Antal projektsider: 92

Anslag inklusive mellemrum: 165.105

Antal Bilag: 6

Afleveret: 11-01-2023

BUILD

Institut for Byggeri, By og Miljø

Thomas Manns Vej 23
9220 Aalborg Øst
Danmark

Sekretær: Tina Holst Nielsen
Tlf: (+45) 99 40 93 03
E-mail: thni@build.dk

Denne undersøgelse havde til formål at undersøge, hvordan anvendelsen af punktskydata i byggebranchen kunne forbedres ved behandling med Deep Learning. Undersøgelserne blev baseret på problemformuleringen: **Hvordan kan anvendelsen af punktskydata forbedres i udførelsesfasen af et byggeri ved at anvende Deep Learning til at segmentere og klassificere punktskydata?** For at besvare spørgsmålet blev et litteraturstudie udført med fokus på at få en forståelse for AI og punktskydata. Indsamling af empiri blev udført ved hjælp af et casestudie på en byggeplads, hvor data blev segmenteret og analyseret. Den analyserede data blev anvendt til udvikling af en tidlig prototype til et styringsværktøj, som skal anvendes til automatisk registrering af fejl i byggeriet, forsinkelser i tidsplanen eller udfordringer med sikkerhed på byggepladsen ved at anvende punktskydata og Deep Learning. Det blev konkluderet i undersøgelserne, at prototypen var brugbar, og kunne give et bedre overblik for brugeren. Behandlingen af punktskydata med Deep Learning har dog udfordringer, da denne data er irregulær og ustruktureret. Deep Learning har potentialet til at automatisere denne data, men der er behov for yderligere forskning, specielt i store datasæt.

Abstract

The research done in this study, aimed to examine how management of point cloud data in the Danish AEC industry, could be improved by applying artificial intelligence (AI), during the construction phase.

The research was based on the problem statement: *“How can the utilization of point cloud data in the construction phase in the AEC industry, be improved by applying Deep Learning, to segment and classify the point cloud data?”*

To answer this question and gain an understanding about point cloud data and artificial intelligence (AI), a literature review was conducted. In addition, an interview was carried out with appropriate participants in the construction industry, to gain empiric data.

The collected data was analyzed using work models based on the method Contextual Design (Holtzblatt and Beyer, 2017) and segmented using interview method by (Brinkmann and Tanggaard, 2020).

The analyzed empiric data was used, to discuss the data found in the literature study. In addition to this, an early prototype was constructed based on the Contextual Design method (Holtzblatt and Beyer, 2017). Afterwards this prototype was tested and evaluated.

The research concluded that compiling and processing point cloud data can be challenging. To simplify the process, Deep Learning can be applied to automate some of the processes. To understand if this could be useful in the AEC, a prototype for controlling the schedule, improving the workers safety and automatic quality control, was developed, and tested. The test results showed that an automation of these processes would be useful to the supervisors, but only if it could be automated. By utilizing Deep Learning, this should be possible, but more research is needed, especially in larger datasets.

Forord

Dette speciale er udarbejdet i perioden 1. september 2022 til 12. januar 2023.

Specialet tager udgangspunkt i hvordan AI kan bruges til at forbedre anvendelsen af punktskydata i byggebranchen.

AI er i en konstant udvikling og værktøjer som "OpenAI", "ChatGPT" og "Dall-E2" er værktøjer, som er ekstremt populære og brager frem på internettet disse tider og gør det til et spændende emne.

Vi alle er uddannede bygningskonstruktører og er nu i gang med specialisering inden for bygningsinformatik, dette ledte frem til motivationen for at undersøge nærmere, hvordan AI kan bruges i kombination med metoder der anvendes i byggebranchen.

Der skal lyde en stor tak til vores vejledere Kjeld Svidt og Simon Wyke Swanström for konstruktiv vejledning, gennem specialets forløb.

Derudover skal der lyde en stor tak til de personer der har taget sig tid til at besvare vores spørgsmål, både i interviews og de mails der er sendt rundt til forskellige virksomheder.

Der skal også lyde en tak til vores medstuderende på cand. tech. Bygningsinformatik og Byggeledelse, for at tage sig tid til at teste vores prototype, og komme med konstruktiv feedback.

Underskrift

Navn:

Dato:

Underskrift:

Dilakshan Selvarajah

11-01-2023

A handwritten signature in black ink, appearing to be "D.S.", written over a horizontal line.

Lasse Otte Kristensen

11-01-2023

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Lasse", written over a horizontal line.

Nikolaj Muf Wittchen

11-01-2023

A handwritten signature in black ink, appearing to be "NMW", written over a horizontal line.

Læsevejledning

I rapporten anvendes *Harvard Referencing System*, som referencemetode. Metoden refererer til kilder, ved en opsætning som denne, (Olsen, 2022). I tilfælde af forskellige kilder af den samme forfatter vil kilden blive refereret således: (Olsen, 2022a).

Det er muligt at zoome ind på figurer og billeder.

Ved at trykke på henvisninger til kapitler, tabeller og figurer, navigeres der hen til placeringen af denne.

Rapporten er opbygget efter IMRAD (Introduction, Methods, Results, og Discussion) rapportstruktur. Figur 1 giver en oversigt over specialets IMRAD-struktur og en beskrivelse af opgavens kapitler.

Rapport struktur	IMRAD	Kapitler	Beskrivelser
	Introduction	Indledning	Introducerer specialet problemfelt og problemformulering
		Metode	Introducerer metoder anvendt i specialet
	Methods	Litteraturstudie	Det udarbejdet litteraturstudie bliver fremlagt
		Empirisk dataindsamling	Indsamlet data bliver introduceret, samt analyseret
	Results	Løsningsforslag	Her bliver løsningsforslaget, teknisk og funktionsmæssigt beskrevet
		Udvikling af prototype	Her udvikles og testes prototypen
	Discussion	Diskussion	Her bliver specialets emner diskuteret og vurderet
		Konklusion	Her besvares specialets hovedspørgsmål
		Perspektivering	Her bliver specialets resultater og mulige videre arbejde reflekteret

Figur 1 - IMRAD-struktur

Forkortelser

Dette kapitel indeholder en liste over forkortelser sammen med deres fulde definitioner.

I de tilfælde, hvor en forkortelse anvendes for første gang i teksten, er den fulde udvidelse angivet i parentes efter forkortelsen.

AI:	Artificial Intelligence
BIM:	Building Information Model, -ling
BPMN:	Business Process Model and Notation
CNN:	Convolutional Neural Network
FoV:	Field of View
Fps:	Frames per second
GNSS:	Global Navigation Satellite Systems
HMS:	Handheld Mobile Scanner, -en, -e, -ne
IFC:	Industry Foundation Classes
IKT:	Informations- og kommunikationsteknologi
LiDAR:	Light Detection And Ranging
mIOU:	mean Intersection Over Union
MLS:	Mobile Laser Scanner, -en, -e, -ne
OA:	Overall Accuracy
OMG:	Object Management Group
RC:	Reality Capture
SLAM:	Simultaneous Localization and Mapping
SUS:	System Usability Scale
TLS:	Terrestrial Laser Scanner, -en, -e, -ne
ToF:	Time of Flight
UE:	Underentreprenør
VDC:	Virtual Design and Construction

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	1
1.1	Problemformulering.....	3
2	Metode	4
2.1	Research design	4
2.2	Litteraturstudie	5
2.3	Casestudy.....	5
2.4	Databehandling.....	5
3	Litteraturstudie	7
3.1	Dataindsamling	7
3.1.1	Fotogrammetri og laserscanner.....	10
3.1.2	Mobile Laser Scanner og Terrestrial Laser Scanner	11
3.2	Databehandling.....	15
3.2.1	Forbehandling	15
3.2.2	Efterbehandling	16
4	Empirisk dataanalyse	20
4.1	Analyse af interview	20
4.1.1	Scanningsmetoder	20
4.1.2	Arbejds miljø	23
4.1.3	Implementeringsudfordringer	24
4.1.4	Opsummering	25
4.2	Flowmodel.....	26
4.3	Sekvensmodel	28
4.4	Kulturmodel	33
4.5	Artefaktmodel	35
4.6	Fysisk model	37
4.7	Resultater:.....	38
4.7.1	Anvendelse af data	38
4.7.2	Projektleders forhold til digitale løsninger.....	38
4.7.3	Buildots	38
4.8	Brancheundersøgelse.....	39
4.8.1	Anvendelse i praksis.....	39
4.8.2	Forbedring af processer	40
5	Løsningsforslag.....	41
5.1	Forslag 1	41
5.1.1	Vision	41
5.1.2	Storyboard	44
5.2	Forslag 2	45
5.2.1	Vision	45
5.2.2	Storyboard	47
5.3	Forslag 3	49
5.3.1	Vision	49
5.3.2	Storyboard	50
5.4	Opsamling på løsningsforslag.....	52

6	Udvikling af prototype	55
6.1	Funktionskrav	55
6.2	Low-Fidelity prototype	59
6.3	Prototype	60
6.4	Brugbarhedstest	66
6.4.1	Teststruktur	66
6.4.2	Testresultater	67
7	Diskussion	69
7.1	Behandling af punktskydata	69
7.2	Indsamling af punktskydata	70
7.3	Anvendelsesområder	71
7.4	Branchestandard	71
7.5	Vurdering af prototype	73
8	Konklusion	76
9	Perspektivering	78
10	Litteraturliste	79
11	Bilagsliste	84

1 Indledning

Bygningsmodellering anvendes hovedsageligt i byggebranchen, til at forbedre projektydelsen fra projektering til udførelse og drift og vedligeholdelse. Forbedring af projektydelsen sker blandt andet ved at analysere og simulere bygningsegenskaberne i planlægningsfasen, for eksempel analyser for energiforbrug, totaløkonomi og bygbarhed. For at de respektive fagfolk kan udføre og bearbejde disse bygningsegenskaber, opdeles bygningsmodellen i flere fagmodeller, normalvis i arkitektur-, konstruktions- og installations-fagmodeller. Disse fagmodeller samles til en fælles model, som kan kaldes for "Som planlagt" bygningsmodel (Chen et al., 2019; Son et al., 2017). På grund af designændringer der sker under udførelsen, er der risiko for at den planlagte bygningsmodel ikke afspejler projektets aktuelle forhold. Derfor er det nødvendigt at opbygge en "Som udført" bygningsmodel, der afspejler det udførte byggeprojekt (Ekanayake et al., 2021; Wang et al., 2020). I ydelsesbeskrivelsen, "Som udført" 2022, bliver "Som udført"-dokumentation beskrevet således: *"Som udført"-dokumentation omfatter dokumentation af det udførte projekt i form af projektdokumentation opdateret svarende til det udførte i et nærmere aftalt omfang og nøjagtighed*" (Foreningen af Rådgivende Ingeniører and Danske Arkitektvirksomheder, 2022).

Den traditionelle praksis for projektopfølgning og opdatering af "Som udført"-dokumentation, har været afhængig af daglige eller ugentlige rapporter, som blev oprettet på baggrund af inspektioner på byggepladsen. Den inspektions ansvarliges formål var at tilsikre, at det udførte arbejde opfyldte kontraktens specifikationer og tidsplan. Som værktøj blev tjeklister anvendt ved inspektionerne, hvor fundne mangler og afvigelser på byggeriet blev logført, hvilket efterfølgende kunne drøftes på de ugentlige opfølgingsmøder. Opførelsen af daglige eller ugentlige rapporter er stærkt afhængig af den inspektions ansvarliges personlige dømmekraft, observationsevner og erfaring, hvilken kan give en risiko for unøjagtige rapporter. Derudover kan disse inspektioner være tidskrævende, da projektet skal inspiceres og rapporteres, hvorefter informationer skal videregives, for at bygningsmodellen kan opdateres til "Som udført" (Bosché et al., 2015; Golparvar-Fard et al., 2011; Tang et al., 2022).

Grundet disse ulemper er der i det seneste årti gjort brug af Reality Capture teknologier, til projektopfølgning og opdatering af det udførte byggeri (Dong et al., 2020; Moon et al., 2019; Wang et al., 2021; Wu et al., 2022). I et studie om Reality Capture's anvendelse i byggeriet blev begrebet beskrevet således: *"Reality Capture (RC) is a state-of-the-art technology for digital data gathering and visualization of the actual environment through virtual means"* (Fobiri et al., 2022).

Flere studier viste, at Reality Capture teknologierne laserscanning og fotogrammetri har udviklet sig til at blive de vigtigste metoder til dataindsamling fra byggepladser. I studiet af (Bosché et al., 2015) blev en laserscanner anvendt til at staderegistrere et byggeprojekt. I et andet studie af (Omar and Nehdi, 2016) blev fotogrammetri anvendt til at måle afvigelser fra bygningsmodellen med faktiske forhold på byggepladsen. Disse teknologier tillader hurtig og effektiv dataindsamling af punktskyer af det udførte på byggepladsen. Punktsky er defineret i studiet af (Wang and Kim, 2019), som en samling af punkter i et 3D koordinatsystem med geometriske værdier.

Indsamling af punktskydata er ved at blive almindeligt i byggebranchen, hvilket fremgik af en undersøgelse om anvendelsen af punktskydata mellem 2004 til 2018 (Wang and Kim, 2019). Studiet viste, at punktskydata hovedsageligt blev anvendt til 3D-modellering og geometrisk kvalitetskontrol. Studiet fandt blandt andet frem til, at anvendelsen af punktskydata under udførelsesfasen kan forbedre konstruktionskvalitet, produktivitet og sikkerhed (Wang and Kim, 2019). Ved at fange de

nøjagtige forhold under udførelsen af byggeriet blev dette sammenlignet med forholdene i "Som planlagt" modellen. I studiet (Bosche and Haas, 2008) blev denne proces kaldt for Scan-vs-BIM (Building Information Modeling). Ved sammenligning af de aktuelle forhold fra punktskydata med de planlagte forhold fra bygningsmodellen, kan mangler og afvigelser identificeres (Bosché et al., 2015; Bosche et al., 2009; Braun et al., 2020; Pučko et al., 2018; Rebolj et al., 2017). Punktskyers uregelmæssige struktur og mangel på semantisk information betyder, at disse afvigelser eller mangler, manuelt skal tilrettes i bygningsmodellen, hvorfor disse Scan-vs-BIM analyser er en manuel og tidskrævende proces (Agapaki and Brilakis, 2020; Charles et al., 2017; Dimitrov and Golparvar-Fard, 2015).

Klassificering og gruppering af punkterne i punktskyen, muliggør, at objekter kan segmenteres, og dermed kan punktskydata omdannes til informationsrige 3D-modeller. Dette tillader analyser fra punktskydata, såsom geometrisk kvalitetskontrol, konstruktions opfølgning, staderegistering og sikkerhedsstyring på byggepladsen (Wang and Kim, 2019; Wu et al., 2022). Af denne grund har forskning vist stor interesse i at omdanne punktskydata til informationsrige 3D-modeller. Denne proces blev kaldt for Scan-to-BIM af (Perez-Perez et al., 2021; Wang et al., 2022). Bearbejdelsen af punktskyer er et stort arbejde, da punktskyer kan bestå af flere millioner punkter, hvorfor forskning de seneste år har fokuseret på automatisering af denne proces (Braun et al., 2020; Mirzaei et al., 2022; Moon et al., 2019; Wang et al., 2022).

Artificial Intelligence (AI) har fået betydelig opmærksomhed i de seneste år som et middel til at forbedre og automatisere forskellige processer i byggebranchen, herunder Scan-to-BIM-processen (Perez-Perez et al., 2021; Wang et al., 2022). I et studie om AI's anvendelsesmuligheder i byggeriet, blev AI beskrevet således: *"AI denotes the science and engineering of creating intelligent machines that exhibit reasoning, learning, knowledge, communication, perception, planning, and the ability to move and operate objects"* (Darko et al., 2020). AI dækker over flere områder, såsom Machine Learning, Computer Vision, robot- og sprogteknologier (Huang et al., 2021). State-Of-The-Art forskning peger desuden på at anvendelsen af Deep Learning kan optimere og automatisere behandlingsprocesser for punktskydata (Bello et al., 2020; Guo et al., 2021; Wang et al., 2022; Zhang et al., 2019).

Deep Learning blev i flere studier kategoriseret som en underkategori til Machine Learning (Huang et al., 2021; Mirzaei et al., 2022; Wang et al., 2020; Xu et al., 2021). Forskningen indenfor behandling af punktskydata med Deep Learning i byggeriet, er steget markant. (Charles et al., 2017; Chen et al., 2019; Frías et al., 2022; Perez-Perez et al., 2021; Wang et al., 2022; Xu et al., 2021; Zhang et al., 2019). Behandling med Deep Learning har vist stor succes i 2D data, tidligere forskning har opbygget metoder til at behandle punktskyer, ved at konvertere punktskydata til 2D data. Under denne proces går information tabt (Guo et al., 2021). I 2017 blev der udviklet en metode til at anvende Deep Learnings Convolutional Neural Networks (CNN), som muliggør direkte behandling af punktskyen (Bello et al., 2020; Charles et al., 2017; Guo et al., 2021; Zhang et al., 2019).

I studierne (Bello et al., 2020; Guo et al., 2021) blev anvendelsen af Deep Learning på punktskydata undersøgt, det blev vurderet at Deep Learning kan anvendes til klassificering, segmentering, objektgenkendelse og -sporing. I studiet udført af (Perez-Perez et al., 2021) blev Deep Learning anset for at være et værdiskabende middel til Scan-to-BIM processen, da der ses en stigende efterspørgsel for hurtigere aflevering af projekter samtidigt med en stigende anvendelse af Scan-to-BIM metoden.

1.1 Problemformulering

Undersøgelserne i indledningen afspejlede en udvikling i metoderne, der bliver anvendt til at producere "Som udført"-dokumentationen. Denne udvikling er baseret på Reality Capture teknologier, som er almindeligt anvendt i udførelsesfasen, viste studierne af (Sepasgozar et al., 2018; Wang and Kim, 2019). De seneste år er det blevet observeret, at der er et større potentiale for anvendelse af punktskydata i udførelsesfasen ved at anvende Deep Learning. Studier viste at Deep Learning muliggør en bedre udnyttelse af punktskydata, og på denne måde skabe en analyserbar model (Bello et al., 2020; Guo et al., 2021; Liu et al., 2021; Perez-Perez et al., 2021). På grund af en stigende anvendelse af Scan-to-BIM i udførelsesfasen af et byggeri og en forskningsinteresse i anvendelsen af Deep Learning til behandling af punktskydata er hovedspørgsmålet for specialets undersøgelse:

Hvordan kan anvendelsen af punktskydata forbedres i udførelsesfasen af et byggeri ved at anvende Deep Learning til at segmentere og klassificere punktskydata?

For at kunne besvare hovedspørgsmålet, er der opbygget to underspørgsmål, som lyder:

1. *Hvordan indsamles og behandles punktskydata i udførelsesfasen af et byggeri?*
2. *Hvilke udfordringer oplever aktører i udførelsesfasen ved anvendelse af punktskydata?*

2 Metode

I dette kapitel vil de anvendte metoder i specialet blive introduceret.

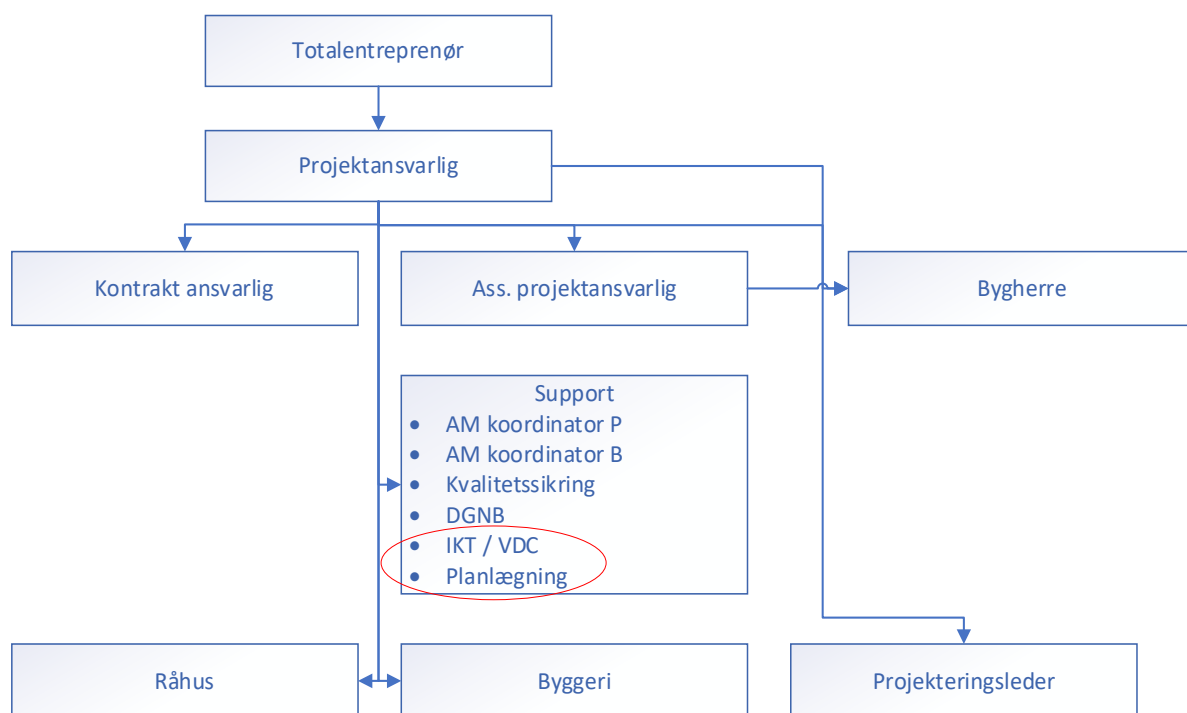
Kapitlet er delt i tre: En beskrivelse af formålet med undersøgelserne, dataindsamling, som er opdelt i empirisk dataindsamling og teoretisk dataindsamling, og afslutningsvis databehandling.

2.1 Research design

Undersøgelserne havde til formål at lede frem til et løsningsforslag udarbejdet som prototype, denne prototype blev anvendt til test og evaluering, for at undersøge anvendeligheden af løsningsforslaget.

Et byggeprojekt blev udvalgt som casestudie for at indsamle empirisk data. Projektet blev udvalgt på kriteriet at virksomheden skulle allerede anvende 3D-scanninger som et værktøj, i forbindelse med byggeledelsen og styringen af byggeprojektet.

Det valgte casestudie bestod af et byggeri af en ny administration på 13.500 kvadratmeter, bestående af kontor, administration og fødevarebutik opført for en større detailkæde. Projektet var en totalentreprise, hvori fundering, anlæg og råhus var egenproduktion. Projektet var tilknyttet 18-20 underentreprenører, og der var op til 120 håndværkere og 16 funktionærer på pladsen ad gangen.



Figur 2 - Organisationsdiagram for byggeprojektet

Figur 2 illustrer et overblik over organisationsdiagrammet for det valgte casestudie. Der blev taget udgangspunkt i IKT/VDC og planlægning under supportfunktionen, markeret med en rød cirkel i organisationsdiagrammet. Denne afdeling beskæftigede sig med punktskyer, 3D scanninger og planlægning på projektet, og gjorde derfor denne afdeling relevant.

Et litteraturstudie blev udført, for at danne grundlæggende viden om nyeste viden og en forståelse for, hvordan punktskyer, scanningsmetoder, Deep Learning og behandlingen af denne data, anvendes i byggebranchen.

Den indsamlede data blev efterfølgende, ved hjælp af Contextual Design (Holtzblatt and Beyer, 2017), analyseret, hvor resultaterne blev benyttet til at udvikle en prototype som løsningsforslag for problemstillingen.

2.2 Litteraturstudie

Litteraturstudiet blev udarbejdet efter snowballing metoden som beskrevet af (Claes Wohlin, 2014). Der blev søgt i databasen Web of Science med nøgleordene: *Construction, Reality Capture, Artificial Intelligence, Scanning og BIM* kombineret til en søgestreng, med variationer af nøgleordene og i forskellige kombinationer. Søgestrengen frembragte 277 hits, ud fra disse blev artikler med relevans for emnet udvalgt ved at gennemgå abstracts. Efterfølgende blev de udvalgte artikler gennemlæst, og de mest relevante blev udvalgt.

De udvalgte artikler blev anvendt i kapitel 3 til at danne et overblik over relevant forskning og metoder inden for emnet.

2.3 Casestudy

Data blev indsamlet ved at udføre et semi-struktureret interview (Brinkmann and Tanggaard, 2020) af medarbejderne i IKT/VDC og planlægning, som var tilknyttet byggeprojektet. De udførte interviews blev optaget og transskriberet. Efterfølgende blev indholdet i det transskriberede interview kodet og kategoriseret med nøgleord ifølge analysemetoden (Brinkmann and Tanggaard, 2020).

For at danne en forståelse af forskellige aspekter af interviewets indhold, og finde frem til, hvilke udfordringer der opleves, blev workmodeller udformet efter Contextual Design metoden. (Holtzblatt and Beyer, 2017)

Til indsamling af supplerende empiri til rapportens indhold, med henblik på at kunne perspektivere løsningen på branche plan, er der stillet en række spørgsmål til flere virksomheder over mail. Besvarelserne i mailkorrespondancerne er analyseret i kapitel 4.8.

2.4 Databehandling

Til udvikling af et løsningsforslag blev der arbejdet videre efter metoderne beskrevet i Contextual Design af (Holtzblatt and Beyer, 2017). Der blev udformet tre idéer til løsningsforslag, idéerne tog udgangspunkt i udfordringerne fundet i kapitel 4.7 og mulighederne fundet i kapitel 4.8. Disse tre forskellige forslag blev udformet for at danne forskellige billeder af, hvordan et løsningsforslag kunne udformes. Idéerne blev først udformet som Visioning og derefter som Storyboards efter Contextual Design metoden (Holtzblatt and Beyer, 2017). Elementer fra idéforslagene blev udvalgt til videre arbejdet med et User Environment Design, der dannede rammen for et løsningsforslag.

Løsningsforslaget blev opbygget ud fra rammerne i User Environment Designet. Først blev idéen skitseret i hånden, på papir, for at danne en idé for udseendet af det færdige produkt. Ideelt havde dette været en iterativ proces i samarbejde med brugeren, men det var ikke muligt i denne

undersøgelse. Efter skitseringen blev et interface i programmet Figma udviklet, og dette blev anvendt til brugertest og evaluering.

I specialet blev der gjort brug af Business Process Model and Notation (BPMN) til at oprette flere visuelle modeller og diagrammer til forklaring af flere forskellige processer. Den officielle forklaring og brug af de forskellige symboler og signaturer i BPMN findes i BPMN-specifikationen, som udgives af Object Management Group. Specifikationen definerer syntaksen og semantikken i BPMN-notationen og giver detaljerede beskrivelser og eksempler på de forskellige symboler og signaturer, der anvendes i BPMN (Object Management Group, 2013).

For at undersøge brugbarheden af den udviklede prototype blev en Remote and Unmoderated Usability test udført. Brugbarhedstesten blev struktureret efter bogen skrevet af (Carroll and Hertzum, 2020). Til testen blev nogle opgaver opstillet, som testpersonen skulle løse. Disse opgaver simulerede reelle anvendelsesscenarier. Efter løsning af opgaverne evaluerede brugerne prototypen, hertil blev System Usability Scale (SUS) (Brooke, 1996) metoden anvendt. Dette ledte frem til en "SUS-score", som definerede hvor brugbar testpersonen fandt prototypen.

Testen blev udført som en del af præ-alpha test stadiet, hvilket beskrives som en intern test, der udføres forud for beslutningen af de endelige funktioner, systemet skal have (Softwaretestinghelp, 2022).

3 Litteraturstudie

I dette kapitel introduceres litteraturstudiet.

Formålet med litteraturstudiet var at finde relevant forskning og litteratur, om emnerne indsamling og behandling af punktskydata. Kapitlet er inddelt i to underkapitler: Dataindsamling og databehandling. I kapitlet om dataindsamling introduceres forskning i forskellige metoder til indsamling eller generering af punktskyer i byggeriet, og i kapitlet om databehandling er forskning inden for anvendelsen og behandlingen af punktskydata introduceret.

Punktskyers relevans i byggeriet er steget det seneste årti viste et studie af (Perez-Perez et al., 2021). Med processer såsom Scan-to-BIM's stigende anvendelse ses der et øget fokus på forskningsområdet vedrørende automatiseringen af denne proces. Scan-to-BIM-processen består af opbygningen af en 3D-model, ud fra punktskyer viste studier af (Bosché et al., 2015; Perez-Perez et al., 2021; Thomson and Boehm, 2015). Et andet studie viste dog, at den nuværende Scan-to-BIM-proces, for at opbygge en 3D-model fra punktskyer, involverer manuel identifikation af objekter og komponenter af byggeriet (Perez-Perez et al., 2021). På dette grundlag undersøges punktskydata.

Punktskyer er et datasæt, som består af en mængde punkter i et tredimensionalt rum, der repræsenterer overfladerne af objekter i 3D. Hvert punkt består af tre koordinater (X, Y og Z), der identificerer punktets lokation. Yderligere informationer som RGB-farver (rød, grøn og blå) eller intensiteten af, hvor lyst et punkt er, kan blive tilføjet som information til punkterne, alt efter hvilken metode der benyttes til at fange punkterne (Liu et al., 2021; Thomson and Boehm, 2015).

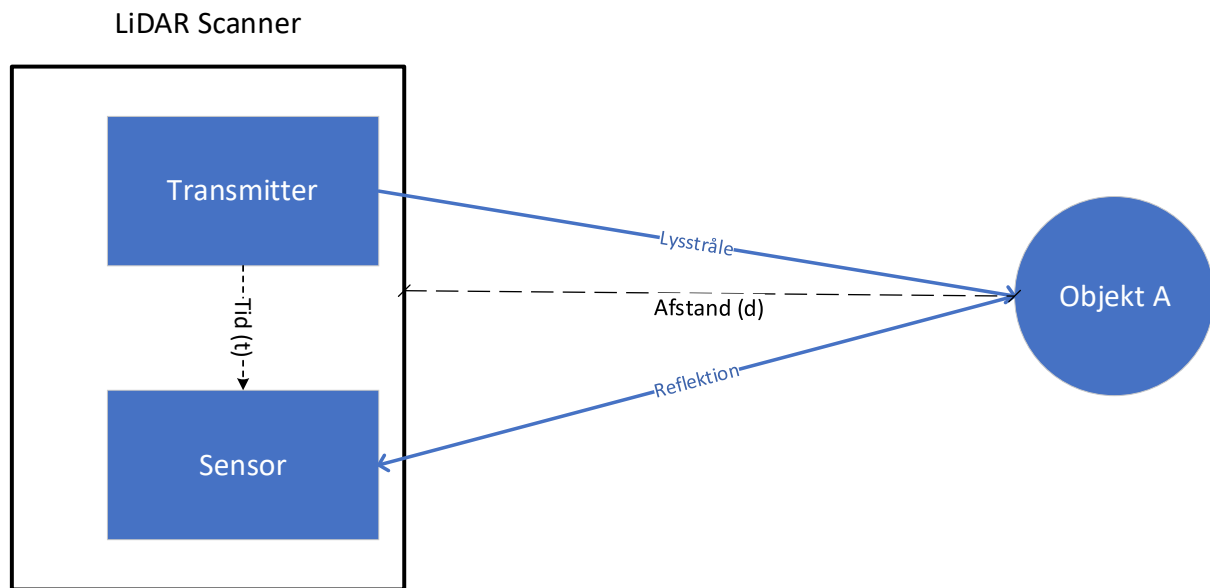
3.1 Dataindsamling

Punktskydata kan indsamles på flere forskellige måder, hvor de mest omtalte Reality Capture metoder på en byggeplads er fotogrammetri og laserscanning (Chen et al., 2019; Fobiri et al., 2022; Gruen, 1997; Kim et al., 2018; Klein et al., 2012; Moon et al., 2019; Wang et al., 2022).

Fotogrammetri refererer traditionelt til processen med at udlede geometrisk information (afstande og dimensioner) om et objekt, gennem målinger foretaget på fotografier eller videoer. Princippet bag teknologien fotogrammetri er, at der bliver taget overlappende billeder fra forskellige positioner. Billederne analyseres herefter for referencepunkter, pixels eller objekters farve, og efterfølgende kan der måles forskellige afstande på billedet ud fra denne analyse (Sacks et al., 2020). Således kan fotogrammetri inddeles i to processer. Den ene er indsamlingsprocessen, og den anden er selve behandlingen af de indsamlede billeder. Fotogrammetri henter punktskydata ved at omorganisere 2D-billeder, der har overlappende punkter, til 3D punktskyer (Moon et al., 2019).



Laserscanning, oftere refereret som LiDAR scanning (Light Detection And Ranging), er en anden metode til at danne punktskyer. Ved brug af en laserscanner kan de rumlige koordinater for overfladen af et objekt indsamles (Liu et al., 2021; Moon et al., 2019).



Laserscannere er generelt dyre viste studier af (Bosché et al., 2015; Moon et al., 2019; Rebolj et al., 2017), og deres anvendelse kan være begrænset af specifikke omstændigheder, der kan forstyrre målingerne, herunder forstyrrelse af senderens lysbølge eller lav refleksionsevne af det scannede objekt. (Golparvar-Fard et al., 2011) beskrev, at store vinduespartier kan være besværlige, da laserstrålens refleksion ikke er præcis grundet mulig forstyrrelse fra solens stråler. Men generelt set er laserscanning velegnet til indendørs brug, da det kan fange kompleks geometri og objekter med

små detaljer, da der vil være færre forstyrrende faktorer for lysbølgerne (Golparvar-Fard et al., 2011; Moon et al., 2019).

3.1.1 Fotogrammetri og laserscanner

Der ses fordele i metoderne, fotogrammetri og laserscanninger, for at indsamle punktskydata, men er metoderne præcise nok til at blive anvendt i byggebranchen? Dette er et spørgsmål, som blev undersøgt i et studie udarbejdet af (Moon et al., 2019). Studiet når frem til, at laserscanninger har høj præcision og er hyppigt anvendt i byggeriet. På baggrund af dette, sammenlignede studiet anvendelsen af fotogrammetri med laserscanning, i byggebranchen. Af studiet fremgik det, at selvom der ses tekniske forbedringer i scanningsudstyrer, tager disse forbedringer ikke altid hensyn til anvendeligheden byggebranchen, og dette er især gældende for fotografering eller videooptagelser. I studiet blev anvendelsen af punktskydata til "Som udført" modeller, og generelt BIM-modeller baseret på de indsamlede punktskydata undersøgt. Fremgangsmåden for undersøgelsen var at sammenligne nøjagtigheden og tidsforbruget af målinger af en igangværende brokonstruktion. For at finde frem til nøjagtigheden og tidsforbruget, var bestemte områder på brokonstruktionen opmålt fysisk, og med dette udgangspunkt blev opmålingerne i punktskyen sammenholdt med de fysiske opmålinger for at beregne en fejlmargen. Målingspunkterne var blandt andet afstande mellem to søjler samt højden på en søjle. Den anvendte laserscanner var en Leica C5 scanner, som under testene havde en maksimal fejlmargen på op til 4 mm i forhold til de fysiske opmålinger. Til scanningen blev laserscanneren placeret fire forskellige steder. Det tog 20 minutter for at udføre scanningerne, og procestiden af den indsamlede punktskydata tog 26 minutter. En 4 mm fejlmargen blev anset som acceptabel og derfor kan laserscanningen sagtens anvendes. Den fotogrammetriske punktskydata blev indsamlet med et Sony EXMOR-kamera. I sammenligningen af den indsamlede punktskydata kunne det udledes, at 82,72 % af de fotogrammetriske punkter var inden for 10 cm's præcision, hvor 8,59 % var mellem 10 – 20 cm præcision og de resterende var over 20 cm. Der blev taget 73 billeder på fem minutter, hvor procestiden for den indsamlede punktskydata var på 32 minutter. Studiet konkluderede, at anvendeligheden af punktskydata, som kun er baseret på fotogrammetri, har en begrænset anvendelse i byggebranchen. Studiet konkluderede at anvendelsen af fotogrammetri for at scanne brokonstruktionen var mindre præcis, end ved scanning med laserscanneren (Moon et al., 2019).

Punktskyers densitet har stor betydning for kvaliteten af scanningerne. Punkterne i en punktsky kan sammenlignes med pixels på et billede, jo flere punkter desto højere billedkvalitet. Dermed er det observeret, at faktorer såsom afstanden mellem objekt og scanner, overflade refleksion og målingsvinkler har stor indflydelse på kvaliteten af punktskyerne. (Czerniawski et al., 2018; Dimitrov and Golparvar-Fard, 2014; Golparvar-Fard et al., 2011; Maté-González et al., 2022; Sepasgozar et al., 2018).

3.1.2 Mobile Laser Scanner og Terrestrial Laser Scanner

Flere studier opdelte laserscannere i flere kategorier. De fleste studier anvendte kategorierne Mobile Laser Scanner (MLS) og Terrestrial Laser Scanner (TLS) (Dong et al., 2020; Kim et al., 2018; Lehtola et al., 2017; Maté-González et al., 2022; Thomson and Boehm, 2015; Wu et al., 2022). En fællesnævner for disse to kategorier var, at de begge er LiDAR baseret. Kendetegnet for MLS er, at den er mobil og kan scanne, imens scanneren er i bevægelse. På grund af mobiliteten af MLS, ses den oftest monteret på bevægelige enheder, såsom biler, robotter, droner, rygsække eller sikkerhedshjelme. Dog kan den også anvendes håndholdt og bliver nogle gange refereret som Handheld Mobile Laser (HMS) viste studiet af (Sepasgozar et al., 2018).

I studiet af (Sepasgozar et al., 2018) blev TLS og MLS (I dette tilfælde kaldt HMS), beskrevet således:

“TLS involves exchanging laser pulses to create 3D point coordinates of the scanned objects and are usually set up on-site using a tripod. The travel time of pulse reflections is measured along a known trajectory to estimate the distance from the TLS to the objects.” (Sepasgozar et al., 2018)

“HMS is a rapid lidar-based tool with the flexibility of using it on foot (carried in hand), for similar mapping acquired using high-resolution 3D point coordinate data. The spatial coverage is achieved by the movement of the scanner and motion-tracking of navigation devices...” (Sepasgozar et al., 2018)

Studiet viste, at HMS bruger ekstra udstyr til at spore bevægelsen. Udover sporing af bevægelsen skal scanneren også anvende ekstra udstyr til at positionere sig selv under bevægelsen.

Dette fremgik også i et andet studie udført af (Lehtola et al., 2017), at der er nogle udfordringer ved brug af laserscanning til indendørs scanninger set i forhold til udendørs scanninger. Ved udendørs scanninger anvendes ofte GNSS (Global Navigation Satellite Systems), som kan lokalisere og ”mappe” scanningsruten. Men ved indendørs scanninger kan det være besværligt at anvende GNSS, derudover er en højere præcision oftest nødvendig. Hertil har TLS og MLS forskellige løsninger. Ifølge studiet giver MLS en større fleksibilitet samt mulighed for at scanne områder hurtigere end en TLS. Men til positionering og sporing af bevægelse, anvender MLS SLAM-teknologi (Simultaneous Localization and Mapping) (Lehtola et al., 2017).

I studiet af (Ellmann et al., 2021) blev SLAM beskrevet som en teknologi, der kan kortlægge en rute som plan eller 3D-model over et ukendt miljø. Ved hjælp af sensorer, normalt LiDAR, kan digitale 3D-modeller genereres baseret på placeringen af enheden uden behov for GNSS-positionering. Mens brugeren går gennem rummet, sporer SLAM funktioner i miljøet, der hjælper med at placere scanneren i rummet i 3D, og kortlægger brugerens rute for hele scanningen, så man får et samlet datasæt af hele det rum, man har scannet.

I studiet (Sepasgozar et al., 2018), blev flere scanningsteknologier undersøgt, for anvendelse i et byggeri under konstruktion. I studiet blev fem forskellige scannere udvalgt, hvor tre af dem var TLS, og to af dem var MLS (Her kaldt HMS). Disse fem scannere blev holdt op imod hinanden ved at udføre flere scanninger og test, hvor det blev konkluderet, at scannerne er meget differentieret, både i egenskaber, men også i hvad de kan producere. Af Tabel 1 illustreres, at de to HMS er opbygget forskelligt. HMS1 er en scanner, som er opbygget på en tablet med et kamera og sensor. HMS1 giver muligheden for at scanne og samtidigt vise det, der bliver scannet. Scanneren virker dog kun inden for

meget kort afstand, 60 cm til 5 m. Med et lavt FoV på 57,5°, med den korte rækkevidde skal brugeren af scanneren være omhyggelig med at nå alle overflader under scanningen. Studiet nævnte, at HMS1 har nogle udfordringer, idet brugeren ikke må bevæge sig for hurtigt, da scanneren ikke kan nå at registrere de hurtige bevægelser. I studiet blev det forklaret, at dette skyldes, at den scannede information inkluderer rød, grøn og blå informationer. HMS2 laserscanner, gør brug af SLAM teknologien og har en rækkevidde på op til 30 m og dermed et større FoV på 270° x 360°. Studiet konkluderede, at HMS2 er den hurtigste af de fem scannere i deres scanningstest.

Scanningstype	Nøgle egenskaber og brugerflade	Opsætning	Rækkevidde og vinkler	Indbygget punktsky behandling (under dataindsamlingen)	Værktøjer og kompatibilitet
HMS1 (DotProduct DPI-8)	Håndholdt scanner med HR-kamerasensor. Android tablet brugerflade. WiFi og 3G integration. Størrelse: 20 x 24 x 6 cm. Vægt: 0,7 kg.	Ingen opsætning nødvendig. Kan opereres med en hånd. Ingen stabilisering. Brugeren går kontinuerligt, mens der scannes.	Rækkevidde: 60 cm – 5 m Horisontalt FoV: 57,5°.	Teknologi: Nær-infrarødt struktureret lys, RGB (mobilt 3D billedbehandlingssystem). 20 cm skærmdisplay kan anvendes under scanningen.	.dp filformat, som er kompatibelt med Cyclone, E57, ReCap, RealWorks og CloudCompare. 27.089.263 punkter.
HMS2 (GeoSlam ZEB1)	Håndholdt Laser scanner, forbundet til en IMU, monteret på en fjeder. SLAM algoritme. Kan forbindes til bærbar. Størrelse: 6 x 6 x 36 cm Vægt: 0,665 kg.	Ingen opsætning nødvendig. Kan opereres med en hånd. Ingen stabilisering. Brugeren går kontinuerligt, mens der scannes. Fjedermonteret mekanisme, skal rystes for at indsamle data.	Rækkevidde: 30 m (15 m udendørs). FoV på 270° x 360°.	Intet display, så kan først ses på en separat computer efter udført scanning.	.las, .laz og .ply filformat. Kompatibelt med ReCap, Meshlab og CloudCompare. 22.358.454 punkter.
TLS1 (FARO X330)	Transportabel Laserscanner. USB og SD-kort Størrelse: 240 x 200 x 100 cm Vægt: 5,2 kg.	Fast trefodsstativopsætning. Opsætningen bliver assisteret gennem elektronisk barometer på scanneren. Scanningsorientering sker gennem elektronisk kompas.	Rækkevidde: 0,6 m – 330 m. FoV på 305° x 360°. Op til 70-megapixel farve.	Fjernbetjening og scanningsvisualisering. Mulighed for automatisk at adaptere til lysstyrke.	.rep og .res filformat. Kan konverteres til .pts. Kompatibelt med E57, ReCap, RealWorks og CloudCompare. 37.190.775 punkter.

TLS2 (Leica Nova MS50 Multistation)	3D laserscanning hvor GNSS står for positionering. USB og SD-kort Vægt: 7,6 kg.	Fast trefodsstativ-opsætning. Gennem overlappende scanninger undgås anvendelsen af scannings tags.	1,5 m – 1000 m. FoV på oversigt 19,4°/ teleskop 1,5°.	3D punktsky viewer (VGA). Inkluderer rigtigt farvede punktskyer.	.pts filformat. Kompatibelt med Cyclone software 12.043.163 punkter.
TLS3 (Leica ScanStation C5)	Scannings tags er nødvendig for sammenfletning af forskellige scanninger.	Fast trefodsstativ-opsætning. Scannings tags anvendt til at flette første og anden scanningslokationer sammen.	Rækkevidde: 35 m FoV på 360° x 270° Høj scanningshastighed på 25000 punkter i sekundet.	Farvet display, 320 x 240 pixels.	.bin filformat. Kan konverteres til .pts. Kompatibelt med Cyclone software 1.073.741.824 punkter.

Tabel 1 - HMS og TLS nøgleegenskaber

De undersøgte scannere, har forskellige egenskaber og kan producere forskellige resultater. Generelt for alle tre TLS er, at der stilles krav til at der er overlappende placeringer mellem scanningerne, også kaldet Line-Of-Sight. TLS1 er den eneste af de tre TLS, som ikke behøver scannings tags til at finde referencepunkter, hvilket er nødvendigt for de to andre TLS. De har nogle udfordringer med scanning mellem to rum, hvor scannings tags blev placeret ved dørkarmen, mellem rummene.

Studiet lavede nogle nøjagtighedstest ved at scanne et vindue flere gange og dermed beregne gennemsnitlige fejlmålinger, som blev holdt op imod fysiske opmålinger. Studiet konkluderede, at TLS havde en højere præcision, hvor TLS3 havde den mest nøjagtige punktsky, dette kan skyldes den ekstremt høje densitet TLS 3 er i stand til at skabe. I studiet blev nævnt at TLS havde nogle forstyrrende punktskyer omkring vinduespartierne grundet lysskæret. Disse problematikker opstod ikke ved HMS, grundet fleksibiliteten i at kunne gå helt tæt på vinduet. Af studiet fremgik desuden, at der var forstyrrelser i punktskyen grundet arbejdende håndværkere. Dette blev dog ikke opfanget i scanningerne fra HMS1, da scanningsafstanden til overfladerne, kun var maksimalt 5 m.

I et andet studie (Lehtola et al., 2017), blev flere forskellige MLS sammenlignet og testet op imod TLS. Formålet med studiet var at undersøge, om der var en værdiskabelse i anvendelsen af MLS, hvor det blev sammenlignet med TLS.

Studiet beskrev, at TLS generelt set frembringer punktskydata i god kvalitet, men det kræver ofte planlægning, inden scanningen foregår. Dette skyldes at, en TLS skal registrere scanningerne. Det vil sige, at scanningerne, skal positioneres således, at hver scanning skal have Line-Of-Sight til hinanden. På denne måde registreres scanningerne for TLS. Studiet anvendte en Leica ScanStation P40 og Faro Focus 3D TLS i undersøgelsen. De anvendte MLS er: Matterport, NavVis 3D Mapping Trolley, Zebedee håndholdt scanner, Kaarta Stencil scanner, Leica Pegasus: Backpack og en Würzburg Backpack (Lehtola et al., 2017).

I studiet af (Lehtola et al., 2017) blev den samme metode som i studiet af (Sepasgozar et al., 2018) anvendt, hvor punktskydata blev sammenlignet med hinanden. Sammenligningerne var baseret på tre områder, som blev scannet med de forskellige scannere. Områderne var: En gang, et parkeringshus og et kontor. Af studiet fremkom mange interessante resultater, og det blev beskrevet, at MLS

generelt har dårligere eller lavere kvalitet, i deres scanninger, men har bedre mobilitet og fleksibilitet. Dette er dog kun gældende for de håndholdte og rygsæk-baserede MLS. TLS leverede generelt bedre kvalitet, hvor fejlmarginen kan tolereres i byggebranchen. Dog pegede studiet på, at TLS generelt er en langsom fremgangsmåde. Scanningerne foretaget af gang, parkeringshus og kontor har taget 1, 2 og 4 timer. MLS har varierende tider men maksimalt 10 minutter.

I studier af (Lehtola et al., 2017; Sepasgozar et al., 2018; Wu et al., 2022) fremgik flere faktorer, som skal overvejes, inden valget af laserscanner til generering af punktskydata på en byggeplads foretages. De hyppigste faktorer var:

- Tilgængelighed: Scanneren skal kunne få adgang til alle områder af byggemiljøet, herunder trange eller lukkede rum. HMS eller MLS monteret på droner kan være mere egnede i dette tilfælde, da de er mere bærbare og kan få adgang til områder, der er vanskelige at nå ved hjælp af en TLS.
- Præcision: Scanneren skal være i stand til at generere punktskydata med høj præcision for at muliggøre præcise målinger og analyser af byggemiljøet. TLS anvendes ofte til dette formål, da de kan generere punktskyer med høj densitet med et højt niveau af præcision.
- Hastighed: Scanneren skal være i stand til at generere punktskydata rettidigt, især hvis byggemiljøet ændrer sig hurtigt. Anvendelsen af HMS, eller MLS monteret på bevægende objekter kan være mere egnede i dette tilfælde, da de hurtigt kan scanne store områder.
- Sikkerhed: Scanneren skal kunne fungere sikkert i byggemiljøet under hensyntagen til faktorer som potentielle farer eller ustabile strukturer.

Samlet set vil den mest egnede type laserscanner til generering af punktskydata i et indendørs byggemiljø afhænge af de specifikke krav og begrænsninger ved anvendelsen. Det kan være nødvendigt at anvende en kombination af forskellige typer laserscannere for at opnå den ønskede dækning og præcision af punktskydata.

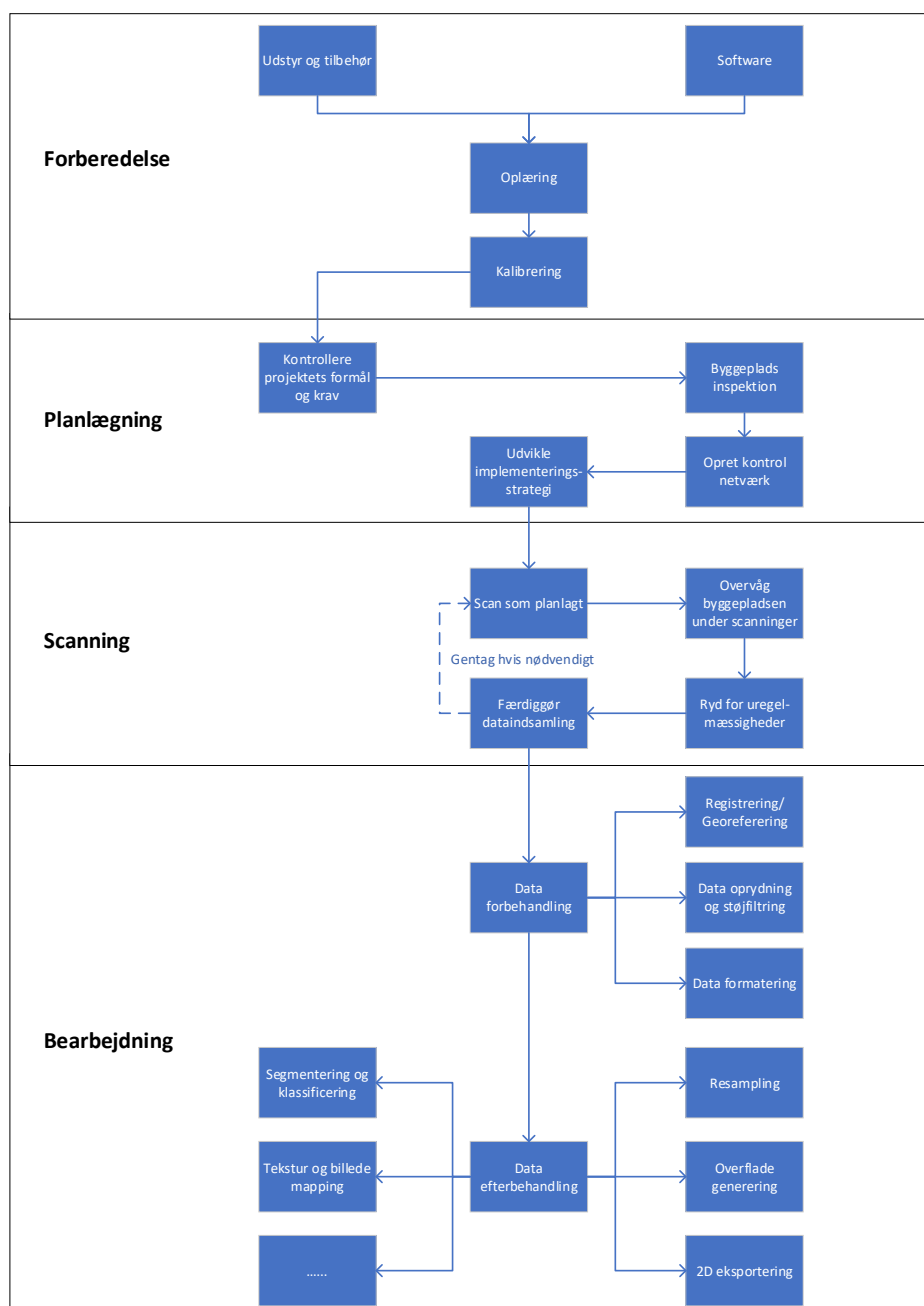
Med indsigt i forskning inden for dataindsamling og anvendte teknologier vil efterfølgende kapitel omhandle behandlingen af de indsamlede data.

3.2 Databehandling

Studiet (Wu et al., 2022) beskrev, at data behandlingsprocessen, efter indsamlingen af punktskydata, kan inddeles i to underprocesser: Dataforbehandling og dataefterbehandling. I dette kapitel undersøges begge processer.

3.2.1 Forbehandling

I studiet udført af (Wu et al., 2022) blev et workflow til TLS udarbejdet, dette workflow kan ses på Figur 5. Workflowet er delt op i fire faser: Forberedelse, planlægning, scanning og behandling. På figuren ses det, at efter færdiggørelse af dataindsamling følger databearbejdningsfasen, som er inddelt i dataforbehandling og dataefterbehandling.



Figur 5 - Workflow for TLS

Dataforbehandling består af aktiviteterne: Registrering og georeferering, data oprydning og støjfiltrering, og data formatering. Forbehandlingen har til formål at forberede yderligere analyser i efterbehandlingen. Det er her punktskyen pålægges en lokation, eller bliver sammenflettet med en 3D-model. Det er også her alle unødvendige og forstyrrende punkter bliver fjernet, disse punkter kan være forårsaget af lys eller støv.

Studiet af (Wu et al., 2022) belyste, at der findes mange programmer med forskellige algoritmer og applikations mønstre, som har en betydelig indflydelse på hvordan udførelsen af behandlingen på punktskyer foregår. Nogle af disse programmer er blevet udviklet af laserscanner producenter, til primært at blive anvendt med producent specifikke scannere, og er således forbundet med en bestemt type dataformat, såsom FARO Scene fra FARO. Der kan derfor være begrænsninger med hensyn til behandling af punktskydata fra disse specifikke scannere, når der anvendes anden software. Desuden er nogle softwareprodukter blevet udviklet til specifikke funktioner eller applikationer, hvis analyse funktioner og algoritmer er forskellige fra pakke til pakke (Wu et al., 2022).

Oftest kan opgaverne i forbehandling løses ved hjælp af disse behandlings software programmer fra laserscanner producenten, og hvis ikke, findes der programmer såsom ReCap, Meshlab, RealWorks eller CloudCompare, som også blev henvist til i studiet (Sepasgozar et al., 2018).

3.2.2 Efterbehandling

Efterbehandlingsprocesserne vises på Figur 5. Det illustreres her, at segmentering, klassificering, tekstur og billede-mapping er placeret i data efterbehandlingsfasen. Segmentering og klassificering er to forskningsområder, hvor der ses en stigende interesse, for at finde en automatiseret behandlingsproces. De eksisterende behandlingsprocesser er præget af manuelt arbejde. Den stigende grad af forskning, er betinget af et ønske om at kunne automatisere Scan-to-BIM, så meget som muligt (Sharif et al., 2017; Wang et al., 2022).

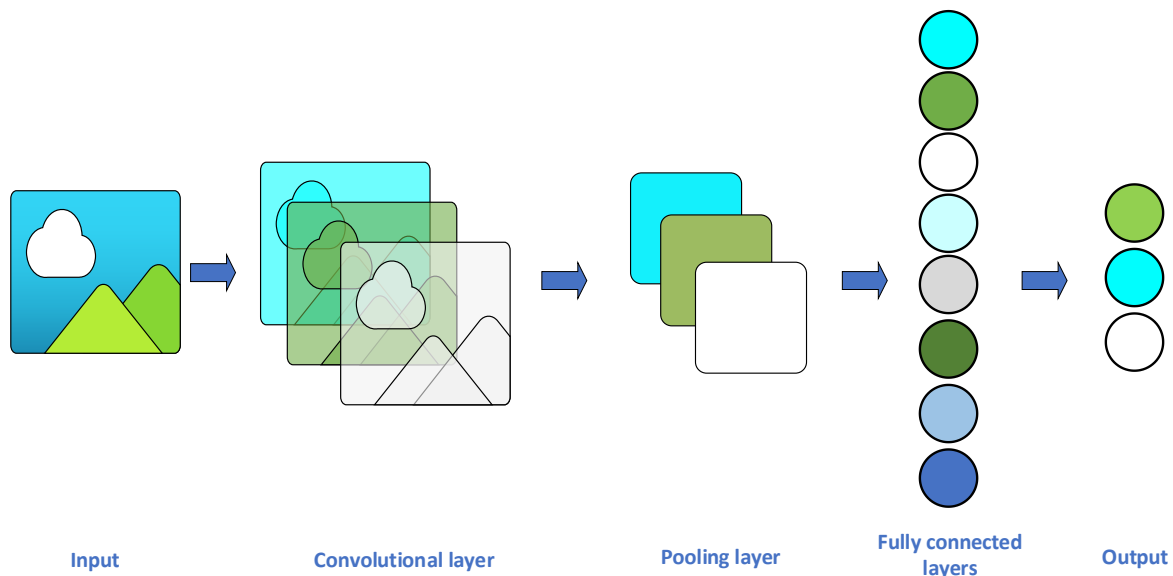
Semantisk segmentering af visuelle data er et forskningsområde, som har vækket en stigende interesse inden for byggeriet, viste studier af (Czerniawski et al., 2018; Guo et al., 2021; Liu et al., 2021; Wang et al., 2022; Zhang et al., 2019). Hvordan semantisk segmentering fungerer blev beskrevet således af (Liu et al., 2021):

"In semantic segmentation, a class label is assigned to each point in a point cloud. The aim is to acquire a more accurate point-level understanding of the objects that constitute the point cloud and their relationships in terms of relative positions and locations. This helps to localize objects before classifying them. ... Further, object detection for point clouds aims to surround objects of interest with 3D bounding boxes." (Liu et al., 2021)

Segmenteringen af punktskyer er grupperingen af punkter i ensartede områder. Traditionelt sker segmentering ved hjælp af kanter eller overflade egenskaber såsom normaler, bøjninger og objektets lokalisering (Bello et al., 2020; Czerniawski et al., 2018; Qi et al., 2017).

For at kunne genkende og klassificere et objekt i punktskyen, for eksempel en punktsky af et klasselokale med objekter som borde og stole, skal hvert punkt med placering på disse objekter segmenteres og klassificeres, som punkter tilhørende objekterne borde og stole. Der findes forskellige arkitekturer af netværk med forskellige processer, som kan gøre det. Flere forskere har undersøgt anvendelsen af Deep Learning i kombination med punktskydata (Agapaki and Brilakis, 2020; Bello et

al., 2020; Braun et al., 2020; Liu et al., 2021; Perez-Perez et al., 2021; Wang et al., 2022, 2020; Zhang et al., 2019). Det ses at Deep Learning kan opbygges med forskellige arkitekturer. Med arkitektur menes forskellige konstruktioner af netværker og algoritmer, som generelt arbejder med et input og et output. Den mest omtalte netværksarkitektur inden for punktsky behandling er Convolutional Neural Network (CNN)(Frías et al., 2022; Liu et al., 2021; Perez-Perez et al., 2021; Wang et al., 2022; Zhang et al., 2019). Studierne (Guo et al., 2021; Zhang et al., 2019) viste, at anvendelsen af Deep Learning på punktskyer blev introduceret i 2015, og anvendelsen af CNN blev introduceret i 2017. Før anvendelsen af CNN blev der anvendt metoder, som omdannede punktskyer til flere billeder, men i denne proces gik mange nødvendige informationer tabt. CNN tillader imidlertid behandling af punkterne direkte i deres netværker.



Figur 6 - Principskitse af Convolutional Neural Network

CNN-arkitekturs evne til at fortolke billeders/punkters egenskaber gør CNN velegnede til segmentering (Frías et al., 2022; Sarker, 2021; Zhang et al., 2019). På Figur 6 vises en principskitse af de væsentligste lag i CNN-arkitekturen med et eksempel som segmenterer et billede og klassificerer de forskellige farver som output. For at kunne udføre dette vælges en CNN-arkitektur, som er trænet til at genkende farver. Eksemplet er givet for at illustrere CNN-arkitekturs evne til at segmentere og klassificere egenskaber fra et større input. Udover input og output har CNN tre forskellige hovedlag: Convolutional Layer, Pooling Layer og Fully Connected Layers. Disse tre lag bliver ofte kategoriseret som Hidden Layers. CNN kan opbygges på forskellige måder, hvor Convolutional Layer og Pooling Layer kan være forskellige, mens Fully Connected Layer altid vil være inden outputtet. Når der bliver givet et input i CNN, har Convolutional Layer den funktion at skulle genkende og klassificere egenskaberne i billedet. Som figuren illustrer med farver og former. Her memorerer Convolutional Layer inputtets egenskaber ved at inddele det i mindre stykker. Convolutional Layer gennemgår hver inddeling, enkeltvist, og giver dem et sæt tal. I Figur 6 eksemplificeres denne proces ved at vise, at inputtet bliver inddelt i 3, hvor der ses forskellige egenskaber (farver). Pooling Layers funktion er at komprimere eller downsample filtrering fra Convolutional Layer. Dette kan opnås for eksempel ved at zoome mere ind eller gøre det mere abstrakt, dette er ligeledes eksemplificeret i figuren. Fully Connected Layers har funktionen at skulle forudsige outputtet ved at gennemgå de opsamlede filtreringer fra forrige lag. På Figur 6 ses der flere opfangede farvevarianter i billedet, hvor de mest præcise anvendte farver bliver

klassificeret ud til outputtet. Her ses farverne grøn, lyseblå og hvid som output. Ved valg af en anden CNN kunne objekter på billedet for eksempel genkendes. Her kunne for eksempel motiverne illustreret i Figur 6 input billede med bjerge, himmel og skyer, under lignende proces, blive klassificeret som output. (Bello et al., 2020; Charles et al., 2017; Chen et al., 2019; Guo et al., 2021; Perez-Perez et al., 2021; Sarker, 2021; Wang et al., 2022; Zhang et al., 2019).

For at CNN kan fungere effektivt, skal der gøres brug af trænede netværk. Det er disse netværk der muliggør klassificering, som for eksempel genkendelse af farver og objekter, som vist i Figur 6. I studierne (Bello et al., 2020; Guo et al., 2021; Zhang et al., 2019), blev flere netværk inden for forskningsområdet behandling af punktskydata med Deep Learning undersøgt. Studierne viste, at de mest anvendelige områder er for Deep Learning er: klassifikation, segmentering og objektgenkendelse. Der findes mange metoder indenfor disse områder, og derfor var formålet med studiet at undersøge diverse opbyggede netværk og bedømme deres præcision og brugbarhed. De testede netværk blev bedømt ud fra anerkendte trænings datasæt, som har til formål at blive anvendt som reference datasæt for diverse netværksarkitekturer. De træningssæt der blev undersøgt var: Modelnet40 datasæt for klassifikation; ShapeNet, Stanford 3D Indoor Semantics Dataset (S3DIS) og ScanNet for 3D semantisk segmentering; og KITTI datasæt for objektgenkendelse.

Mange af de samme datasæt er ligeledes blevet beskrevet, testet og bedømt i studiet udarbejdet af (Zhang et al., 2019). Begge studier undersøgte nøjagtigheden af segmenteringerne af punktskydata. Til dette blev udtrykkene, mIOU (mean intersection over union) og OA (overall accuracy) anvendt. mIOU er en effektiv indikator til at kontrollere mellem skæringspunktet og forbindelsen mellem to sæt, som i segmenteringen refererer til forholdet af overlappningen (overlap ratio) mellem det reelle areal og det forudsagte areal. OA er en af de enkleste metrikker, som blot beregner tilfældige stikprøver i overensstemmelse med annoteringstypen for rigtige data (Zhang et al., 2019).

I studiet udarbejdet af (Zhang et al., 2019) blev metoden PointSIFT bedømt, til at være det bedste indendørs scannings datasæt (S3DIS og ScanNet), hvor scoren var 70,23 % mIOU og 88,72 % OA. I studiet udarbejdet af (Bello et al., 2020) er de samme datasæt testet, men konklusionen var anderledes. Her blev det konkluderet, at Point2Node havde det bedste mIOU på S3DIS og OA på ScanNet.

Densiteten af punkterne i en punktsky eller antallet af punkter pr. arealenhed er en vigtig faktor, når der bliver anvendt Deep Learning-algoritmer til semantisk segmentering af punktskydata, viste et studie af (Liu et al., 2021). Densiteten af punkterne i punktskyen spiller en central rolle i nøjagtigheden og opløsningen af den semantiske segmentering. En højere densitet af punkter i punktskyen giver mulighed for en mere detaljeret og præcis repræsentation af objektet eller overfladen, hvilket kan forbedre ydeevnen af Deep Learning-algoritmer. Dette skyldes, at en højere densitet af punkter giver mere information om objektets eller overfladens egenskaber, som Deep Learning-algoritmerne kan anvende til at lave mere nøjagtige forudsigelser. Derfor kan en lavere tæthed af punkter i punktskyen resultere i en mindre præcis og mindre detaljeret repræsentation af objektet eller overfladen, hvilket kan påvirke ydeevnen af Deep Learning-algoritmerne. Samlet set, er densiteten af punkterne i punktskyen en vigtig faktor der skal tages højde for, når man anvender Deep Learning-algoritmer til semantisk segmentering af punktskydata, da det kan påvirke nøjagtigheden og opløsningen af segmenterings resultaterne, viste studier af (Dong et al., 2020; Liu et al., 2021; Maté-González et al., 2022; Rebolj et al., 2017).

Flere studier har konkluderet, at TLS er i stand til at generere end punktsky med en højere præcision. (Dong et al., 2020; Lehtola et al., 2017; Maté-González et al., 2022; Rebolj et al., 2017; Sepasgozar et al., 2018). Scanningsmetoden, der anvendes af TLS, involverer typisk en roterende laser og sensorer, der scanner et objekt eller en overflade fra flere vinkler, kan generere en punktsky med høj densitet. Derudover har TLS typisk en længere rækkevidde og større FoV, hvilket gør det muligt for TLS at scanne et større område og generere en punktsky med højere densitet. Samlet set bidrager disse faktorer til TLS evne til at generere punktskyer med en højere densitet end andre scanningsmetoder. Den specifikke densitet af punktskyen afhænger dog af de specifikke egenskaber og muligheder for den bestemte TLS, der anvendes.

Studierne (Agapaki and Brilakis, 2020; Bello et al., 2020; Zhang et al., 2019) blev flere udfordringer ved behandling af punktskyer i Deep Learning beskrevet. Studiet af (Bello et al., 2020) beskrev tre hovedproblematikker:

“Irregularity: Point cloud data are irregular, meaning that the points are not evenly sampled across the different regions of an object/scene, so some regions could have dense points while others have sparse points. Irregularity can be attenuated by sub sampling techniques, but cannot be completely eliminated.

Unstructured: Point cloud data are not placed on a regular grid. Each point is scanned independently, and its distance to neighboring points is not always fixed. In contrast, pixels in images are represented on a two-dimensional grid, and the spacing between two adjacent pixels is always fixed.

Unorderdness: A point cloud of a scene is the set of points (usually represented by XYZ) obtained around the objects in the scene, and these are usually stored as a list in a file. As a set, the order in which the points are stored does not change the scene represented; therefore, it is invariant to permutation.” (Bello et al., 2020)

Udover punktskyers opbygning ses generelt en mangel i forskning og test af store punktsky modeller, hvor størstedelen af forskning enten opdeler modellerne, eller gør brug af små modeller (Bello et al., 2020).

4 Empirisk dataanalyse

I dette kapitel vil en række analyser blive introduceret, disse analyser er udført som segmentering af interviewets transskribering og modeller fra forskellige perspektiver. Analyserne udarbejdes med udgangspunkt i den indsamlede data og har til formål at give forskellige perspektiver.

Litteraturstudiet (3) viste, at anvendelsen af punktskydata er et emne, der bliver forsket i, herunder hvordan automatisering af behandlingen kan foregå ved hjælp af Deep learning. For at finde ud af, hvordan punktskyer anvendes i den danske byggebranche, blev et casestudie blevet udført. Her blev et enkelt projekt udvalgt, ved en virksomhed, som arbejder nysgerrigt med nye arbejdsmetoder. Projektet blev udvalgt efter en kort samtale om undersøgelsens omfang, med en relevant aktør fra virksomheden.

Kapitlet er bygget op således at det starter med en segmentering af hele interviewet. Derefter gives et samlet overblik over arbejdsprocesserne med en flowmodel, hvorefter de efterfølgende modeller vil anvendes til at analysere en detaljeret gennemgang af arbejdsprocesser, kulturelle forskelle mellem aktører, hvilke artefakter der benyttes, og hvilken indflydelse de fysiske rammer har på arbejdet.

Afslutningsvis vil udfordringerne blive opsummeret i et kapitel, og derefter vil en mindre brancheundersøgelse blive gennemgået.

4.1 Analyse af interview

I dette kapitel vil det udførte interview i casestudiet blive analyseret, casestudiets omfang er beskrevet i kapitel 2. Interviewet blev transskriberet og efterfølgende segmenteret i emner, denne opdeling vil fremgå af dette kapitel.

Respondenterne, der deltog i interviewet, var alle fra samme entreprenørvirksomhed. Respondent 1 var ansat som VDC-koordinator og havde ansvar for tidsstyring og "Buildots". Respondent 2 var ansat som VDC-koordinator og havde ansvar for dokumentation og byggeproces. Respondent 3 var praktikant og havde ansvar for at udføre scanninger og klargøre den indsamlede data.

Interviewet blev afholdt ved fysisk tilstedeværelse på respondenternes byggeplads og blev optaget og efterfølgende transskriberet. Transskriptionen er vedlagt som (Bilag 2) .

4.1.1 Scanningsmetoder

For at kunne skabe et overblik over hvilken scanner, der blev anvendt på byggepladsen, blev respondenterne spurgt om, hvordan de udfører scanningerne. Respondent 3 besvarede, at der blev benyttet en TLS til ét formål og en MLS til et andet formål, og uddybede:

"[...] scanneren den skyder de her punkter ud på en rækkevidde op til 10 meter. Men det vi så har fundet ud af, det er, at den skal ligesom have nogle punkter og den kan fange, og det må meget gerne være for hver 5. meter at den ligesom overlapper hinanden. Så du skal egentlig flytte den per femte meter hele tiden, hvor du får det bedste resultat i hvert fald."

Respondent 1 forklarede, hvorfor de ikke kunne nøjes med at anvende en MLS:

"Jeg kunne forestille mig, at det var noget med kameraets opløsning. Det er nærmere der vi har problemerne, det er jo det er nøjagtigheden af kameraerne."

"Det er et efter produkt, af nogle fejl vi har fundet på pladsen, så man kan sige 360 kameraer, det har været til dokumentation og fremdrift og det her det er med at til, det var intentionen i forhold til tolerancer, men der er to forskellige formål på tingene."

Efterfølgende blev det besluttet at anvende en TLS i stedet.



Respondent 3 supplerede med detaljer om deres udfordring:

Respondent 1 og 2 bekræftede og udtalte:

21

er op til 5 centimeter X, Y og Z den kan de ikke finde ud af, det vil sige den ikke kunne fange det her.

Problemstilling med de 360 kameraer, det er at Z koordinaten det noget lort, for at sige det som det er, den kan ikke den kan sgu ikke registrere Z koordinater ordentligt altså X, Y Det er ikke noget problem, en stikkontakt der sidder i forhold til, hvis man sidder her eller her, Det kan den godt finde ud af, Man at se om det der er 2 meter op, det der problemstillingen ligger i 360 graders kamera i dag."

Det viser, at der var et problem med kvaliteten af de punktskyer, en MLS kan oprette. Udfordringerne med datakvalitet løste de ved at anvende en TLS i stedet. Respondent 3 kommenterede at TLS kan ramme en præcision inden for 5 mm, hvilket var acceptabelt i forhold til tolerancerne på byggeprojektet. Respondenten forklarede tolerancerne med udtalelsen:

"[...]der jo meget afledt i det, og der er en betonsøjle tolerance op mod en VVS tolerance og så lige pludselig er den over 20 millimeter."

Programmet Imerso, som blev anvendt til at behandle den punktskydata, der blev indsamlet med TLS, blev anvendt til at tjekke, om der var fejl i det udførte. Programmet kunne respondenterne selv opsætte med de ønskede tolerancer, der skulle tjekkes for. Respondent 3 forklarede:

"[...] hvis de grønne af dem her så vil det sige, så er det noget, vi kan acceptere fordi så er det inden for 5 millimeter, men hvis den er orange og sådan, så kan det være over 6 millimeter og hvis den helt rød så kan vi ikke rigtig regne med. Så derfor er det jeg skal gøre nu her, i dag, der er jeg skal lave en scanning til for at få dem til at merge sammen."

Der kunne vise sig udfordringer med detaljeringsgraden af punktskyen, og det kunne derfor være nødvendigt at foretage en ny scanning. Denne scanning blev samlet med de tidligere scanninger for at danne et anvendeligt datagrundlag til videre behandling i Imerso. Denne udfordring kunne løses, ved at foretage scanningerne med 5 meters afstand. Respondent 1 forklarede:

"Nødvendige principielle strategi, så burde du lægge den meget døråbning og i og i skillevægge generelle krav."

Respondent 3 uddybede:

"Og det der er fundet ud af det er at, det er bedst hvis, at kameraet det kan se sig selv, eller hvis nu jeg laver en scanning, her (referere til given punkt på plantegningen), så dur det ikke, at jeg går om bag en væg og så laver en scanning, det kan godt være den kan fange de samme steder punkter men skal gerne kunne se sig selv."

Når datagrundlaget var tilfredsstillende, kunne behandlingen i Imerso begynde. For at programmet kunne foretage kontrollen, skulle koordinatsystemet og modellen være ens. Dette blev gjort ved at placere punktskyen "oven på" IFC-modellen, så tæt som muligt. Herefter blev en "Best Fit" analyse kørt, som automatisk placerede punktskyen korrekt. Respondent 2 forklarede:

"Når vi loader den op, der lå den op i systemets nulpunkt. Den finder bare et punkt og så rykker man rundt på pilen og så beslutter man den her den passer bedst nu, så der er meget manuelt arbejde i det. Så har de så et program eller en eller anden AI der går ind og laver "Best Fit" analyser, så den kan faktisk rykke på punktskyen, så den passer og når man så har gjort det, så behandler den det og så skal man ind og godkendte igen. Den er rimelig præcis altså Det er millimeter det drejer sig om."

Næste step i denne beslutningsproces var at finde ud af, hvor man har nogle scanninger, som ikke stemmer overens med modellen. Der har "Imerso" lavet et system, hvor man vælger den eller de fag-modeller, som man gerne vil teste punktskyen op imod ud fra de prædefinerede tolerancer, som er indsat.

Når punktskyen var placeret, kunne analysen starte. Her skulle man vælge hvilke fag-modeller, man ville teste punktskyen mod, ud fra de valgte tolerancer.

"[...] man gå ind og vælge det, der hedder "scan deviations", som går ind og scanner alle afvigelser og så går den ind og tager alle punkt, altså punktskyen og så mod alle de modeller man har eller man vælger, det er egentlig bare et flueben i systemet. [...] Så viser den alle afvigelser inden for den tolerance, man beslutter, om vi så skal være en."

4.1.2 Arbejdsmiljø

Interviewet blev drejet over på, hvordan den indsamlede data blev anvendt, og om respondenterne kunne se andre muligheder for at anvende den data. Alle respondenterne havde et ønske om, at den indsamlede data kunne bruges i forhold til arbejdsmiljø. Respondent 1 fortalte:

"Man må sige at Arbejdstilsynet og generelt os herinde internt i (case virksomheden), jo går meget op i at der er ordentlige arbejdsforhold for UE'er. Og en ting som særligt bliver vægtet meget i øjeblikket, er støv for eksempel. Støv er virkeligt et fokusområde i det her år, lige i øjeblikket. På grund af at håndværkerne selvfølgelig ikke skal indånde støv osv. Og der kan man jo så sige at, du kan bruge billederne simpelthen, altså hvis kameraerne de er gode nok osv. Så kan du simpelthen se, når man overdrager et område til en vis dato, hvordan ser det ud? Altså nu ved jeg at de, de går rundt og fotodokumenterer, når det er vores UE'er, når det er, de skal overtage et område og "øh" der ligger lige en palle herover, så vi kan ikke opstarte, for samme arbejde eller what so ever, ikke også. Men også i forhold til sikkerhed og sundhed, altså, er ordentlige arbejdsforhold er? der er der blevet gjort rent i overdragelsen af fællesområdet? Og alle de her forskellige ting. Det er ikke noget vi gør, men det er noget vi kunne gøre."

Hvis dataindsamlingen var god nok, mente respondenterne, at der var flere muligheder. Nogle af eksemplerne lød på automatisk registrering af, om folk bar deres arbejdshjelm, eller om der var støv på jorden. Respondent 2 forklarede:

"Og den data som der ligger i alle videooptagelserne kunne man jo godt køre igennem AI som der netop kunne poppe op med nogle områder, helt automatisk. Og så sige at han ikke har hjelm på, eller han har ikke vest på, at han ikke har det som der er nu krævet. Eller der er ikke værn eller det ene eller det andet."

4.1.3 Implementeringsudfordringer

Respondenterne beskæftigede sig alle tre med digitale værktøjer og var begejstrede for, hvad de kunne bruges til. Denne begejstring var dog ikke delt af projektlederen. Det var ofte besværligt at implementere nye værktøjer og metoder, og de blev ofte implementeret for sent. Der var en manglende tiltro til, at disse værktøjer fungerede. Respondent 2 fortalte:

"Lige præcis, så vi tør ikke prøve de nye fordi vi tager det vi kender det, det er nemmere og det fungerer. På den nye sag jeg sidder på der er Jeg nødt til at sætte mig ind som projekteringsleder, fordi de tror ikke på VDC'er og IKT. Så der er man nødt til at sige, nå, men så jeg projekteringsleder, Og så lave en anden Jeg skal bare være her, og så sidder jeg også med de her tegninger eller sidder også med modellen og sådan nogle ting."

Respondent 1 tilføjede, at det ikke var virksomheden, der stoppede for implementeringen af de digitale ydelser, men det var de projektledere, som var tilknyttet projekterne:

"Og det er ikke en virksomhedskultur. Det er en byggepladskultur. Det må man aldrig nogensinde adskille. Fordi en byggeplads... Det godt være, at vi er enige om i "casevirksomhed", at vi skal køre VDC og VDC på alle, osv. Men hvis den VDC-koordinator, der sidder ude på byggeprojektet, ikke driver det ordentligt, eller ikke er [...] frembrusende. Hvis den VDC-koordinator ikke har de menneskelige kompetencer eller de tekniske kompetencer, så sker der ikke en skid. Sådan er det bare. Det skal være en eller anden, der tør at gå ind og sparke døre op, og sige det her skal jeg være med til."

Respondent 2 tilføjede:

"Der er mange, de begynder lige at stoppe op, når man siger det, Og siger det er fint, du ringer bare når lortet brænder, så skal vi nok kigge på det. Det er ikke et problem. Så kigger de sådan lidt, nårh det kunne være vi ikke ville have det skete. Og det kunne også være de så lige ringede til nogle andre. Det er netop det der med at vi har været her nok til at, de spørger, har det givet værdi, at den her ydelsen der er anvendt eller om ham der har været der, eller hvad det nu er? Og så kan de godt finde på at komme ind alligevel. Som vi også siger med de scanninger her, så har vi det i det mindste. Det er der, så hvis det ikke virker, så har vi i det mindste dokumentation. Så det er ikke fordi de ikke 100% tror på ydelsen. Men de tror på at vi tror på det. Det er jo egentlig meget..."

En udfordring, der også blev oplevet af respondenterne, var, at ledelsen på byggepladserne ikke kunne se behovet for de leverede ydelser, og de blev derfor ofte fjernet. Respondent 2 fortalte:

"Vi har teknologier, der kan gøre det nemmere for os at lave de her scanninger og så måske bruge de scanninger til at faktisk at trække fotos ud og så sende, i teorien, så kunne vi sagtens kunne trække de her fotos ud og så sende ud den teknologi den findes og den Har vi haft, og den er så sendt retur, fordi man ikke havde et behov, det er jo typisk den fejl, vi oplever, det er at de regner ikke med at de har det behov i vores arbejde, så nu går vi ind, og så ved den her ildebrand på den måde her i stedet for at forebygge det."

Ofte kunne de digitale ydelser lettere blive implementeret, hvis de assisterede i dokumentationen af projektet. Respondent 1 var overrasket over mængden af nødvendig dokumentation i et byggeprojekt og forklarede:

"Og jeg vil så sige at efter jeg er kommet til, at det der har overrasket mig, er den mængde af dokumentation. Altså fordi det kan godt være man siger man bruger det til andet end dokumentation, men meget af det egentligt... hvad man sige... Er årsagen til at man begynder at gøre noget. Det er simpelthen for at dokumentere. Man må bare sige at... Jeg er sgu overrasket over hvor meget man egentligt skal dokumentere på en byggeplads."

Respondent 2 tilføjede:

"Det er helt vanvittigt hvor meget vi netop skal dokumentere at redde vores egen røv. Det er det vi bruger det. Så kan vi skubbe efter rådgiverne. Og rådgiverne tør ikke sige noget, for de ved jo vi bruger det mod dem hvis der går et eller andet galt. Det er fuldstændigt sindssygt at vi bygger på mistillid. Det er helt vanvittigt."

4.1.4 Opsummering

Analyserne viste, at kvaliteten af scanningen ikke er ligegyldig. Kvaliteten af den indsamlede data var meget forskellig ved de to anvendte scanningsmetoder. Derfor er det vigtigt at vælge en scanner, der passer til det formål, den indsamlede data skal anvendes til.

Arbejdsmiljø var et fokuspunkt for respondenternes virksomhed, og de så bestemt muligheder for, at den indsamlede data kunne anvendes til mere, end de i forvejen gjorde.

Implementeringen af digitale ydelser kunne være besværlig på projekterne. Det var ikke alle projektledere, der var begejstrede for at benytte sig af dem, og det kunne derfor være udfordrende at anvende nye metoder.

I dette kapitel introduceres en model, der repræsenterer det arbejdsflow, som er mellem aktanterne i det valgte casestudie. Dette giver et holistisk billede af, hvordan forholdene mellem de relevante aktanter er, og giver dermed en forståelse for sammenhængen mellem disse.

[illegible]

Figur 8 illustrerer flowmodellen. Flowmodellen er opbygget af forskellige figurer: Cirkler, der repræsenterer aktører i projektet, heksagoner, der repræsenterer artefakter eller programmer, og firkanter, der repræsenterer en informationsboks, som er til stede for at skabe en bredere forståelse for relationen mellem aktanter.

VDC-praktikanten har relation til VDC-koordinatoren på den måde, at VDC-praktikanten rapporterer tilbage til VDC-koordinatoren. VDC-praktikantens primære opgave er at holde punktskyen opdateret, samt undersøge om det udførte byggeri stemmer overens med den planlagte geometri i 3D-bygningsmodellen. Denne opgave blev udført ved at anvende en TLS til at indsamle den nødvendige data for at kunne oprette en punktsky. Den indsamlede scanningsdata blev trukket ud fra TLS og blev efterfølgende uploadet til programmet Autodesk Recap. I dette program dannes en samlet punktsky ved at sammensætte den indsamlede data. Denne punktsky blev uploadet til programmet Imerso. Her

var projektets geometri uploadet som IFC-fil. Efter punktskyen var blevet uploadet, kunne der blive analyseret for afvigelser mellem den planlagte model og det udførte arbejde. Denne analyse resulterede i en rapport, indeholdende procentuelle afvigelser for, hvor korrekt byggeriet var udført sammenlignet med det planlagte. Rapporten blev videresendt fra VDC-praktikanten til VDC-koordinatoren. Afvigelser rapporterede VDC-koordinatoren videre til relevante aktører. Den oprettede punktsky blev også tilsendt rådgiverne, som kunne anvende den til at oprette en "Som udført" model med eventuelle ændringer i det udførte.

Projektlederen stod til ansvar for bygherre og havde det overordnede ansvar for tid og økonomi for projektet. VDC-koordinatoren tilbød forskellige værktøjer til at hjælpe med denne styring, men projektlederen manglede tillid til disse, hvorfor de blev afvist. Det viste sig dog, at der flere gange havde været behov for værktøjerne og derfor valgte projektlederen senere i projektet at benytte sig af disse værktøjer alligevel. Det blev dog gjort på et tidspunkt i projektet, hvor projektet allerede var efter forsinket i forhold til tidsplanen.

VDC-koordinator stod for oprettelsen af tidsplanen for projektet, som entreprisederen efterfølgende anvendte til at kontrollere samt styre underentreprenørerne i projektet. Tidsplanen blev holdt op mod det byggede for at holde overblik over, hvor langt i byggeprocessen projektet var, og om tidsplanen blev overholdt.

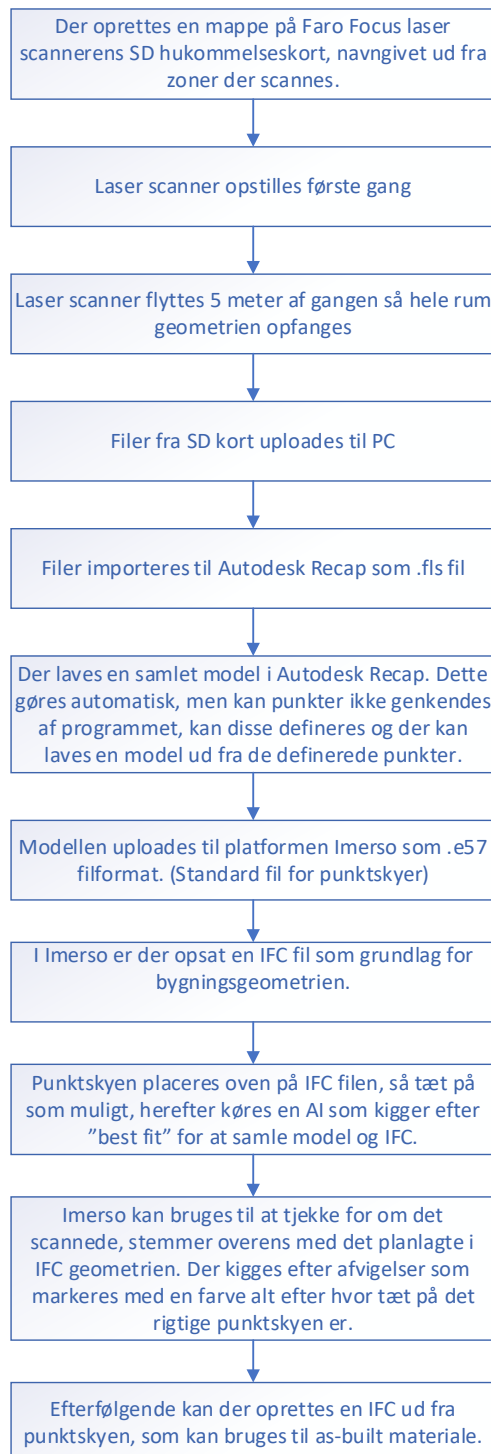
For at holde øje med om tidsplanen blev overholdt, blev programmet Buildots anvendt på projektet. For at anvende dette, var der behov for data af det byggede der kunne uploades til Buildots. Denne data blev indsamlet ved at VDC-praktikanten udførte en 3D scanning med en MLS. Denne scanning blev uploadet til Buildots, som omdannede denne scanning til en punktsky og holdt den op mod tidsplanen. Det resulterede i en staderegistrering, som VDC-koordinatoren kunne anvende til tidsstyring og koordinering.

Processen med Buildots blev oplevet som udfordrende.

Buildots er en international virksomhed som ikke kender til danske byggetakter. Derfor oplevede VDC-koordinatoren udfordringer i at den oprettede staderegistrering, ikke tog hensyn til den byggetakt, som var almindelig i Danmark. Der var også udfordringer hvis der skulle foretages ændringer i projektet, hvis det byggede, var blevet færdigmeldt ved Buildots, kunne det ikke ændres igen.

4.3 Sekvensmodel

I dette kapitel introduceres to sekvensmodeller. For at forstå detaljerne i, hvordan der arbejdes med punktskydata, blev den indsamlede data analyseret for relevante arbejdsprocesser, som opstilles trin for trin i en sekvensmodel. Formålet er at forstå processerne for dataindsamlingen og databehandling, der anvendes i det valgte case studie. Disse processer blev analyseret med henblik på at sammenligne de forskellige metoder, men også hvilke udfordringer de forskellige metoder havde.



Figur 9 - Sekvensmodel for arbejdet med Recap/Imerso

Figur 9 illustrerer sekvensmodellen for processen, der foregår undervejs i arbejdet, fra scanning til færdig punktsky. Processen starter med oprettelse af en mappe på et SD-hukommelseskort. Mappen navngives efter, hvilke zoner der scannes. SD-hukommelseskortet er indsat i en TLS som anvendes til at udføre scanningen. Scanningen udføres ved at opstille TLS på byggepladsen. Efter hver scanning blev TLS rykket ca. fem meter og opstillet til næste scanning. Når zonerne er færdig scannede, uploades filerne fra SD-kortet til en PC. Derefter uploades disse filer til Autodesk Recap.

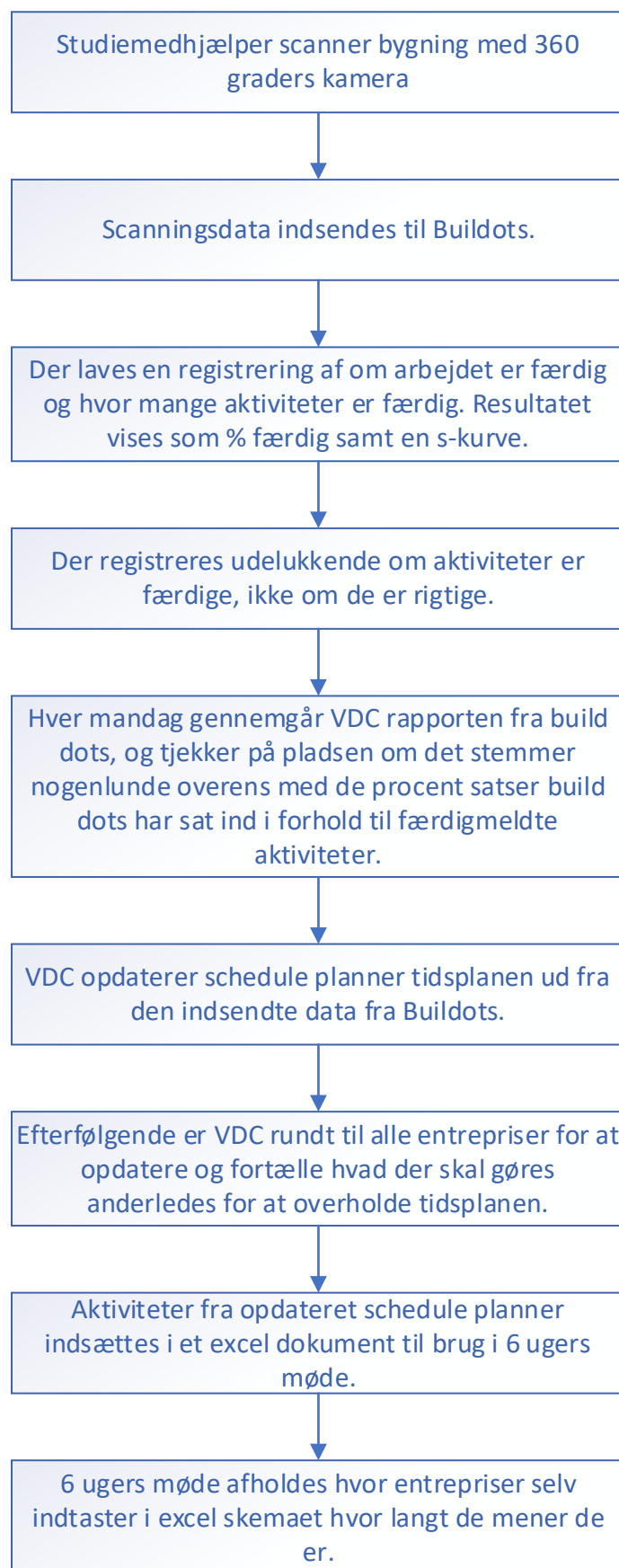
Alle scanningerne blev samlet til en punktsky model i Autodesk Recap, ved at anvende Line-Of-Sight til de samme punkter, der er synlige i to forskellige scanninger. Der kan være enkelte scanninger, programmet ikke selv kan samle efter Line-Of-Sight. Dette kan løses ved at markere et punkt, som er synligt for en ukendt scanning samt en kendt scanning for at markere, at dette er det samme punkt inden for Line-Of-Sight. Kan det ikke lade sig gøre, er det nødvendigt med en ny scanning. Den samlede punktsky blev uploadet til programmet Imerso.

Imerso blev i casestudiet anvendt til at tjekke, om det byggede stemmer overens med det planlagte. I Imerso blev en IFC-model af det planlagte projekt uploadet for at opsætte projektets geometri. Herefter blev punktskyen uploadet til Imerso, hvor denne blev sammenlignet med IFC-modellen. Punktskyen blev manuelt placeret "oven på" IFC-modellen og blev rykket så tæt på som muligt ved en manuel placering. Efterfølgende blev en "Best Fit" algoritme kørt af programmet, som placerede punktskyen præcist i forhold til modellen.

IFC-modellen og punktskyen blev herefter sammenlignet for at finde afvigelser. De fundne afvigelser i modellen blev farvemarkeret, alt efter hvor stor afvigelsen var. Grøn markerer: Ingen afvigelse. Orange eller gul markerer: Lille afvigelse. Rød markerer: For stor afvigelse.

Ved afvigelserne var der mulighed for at oprette en note eller en opgave i modellen og tildele opgaver til relevante aktører. Derudover kunne afvigelserne printes ud i en rapport i PDF-format, med en procentangivelse, der repræsenterer størrelsen på afvigelsen.

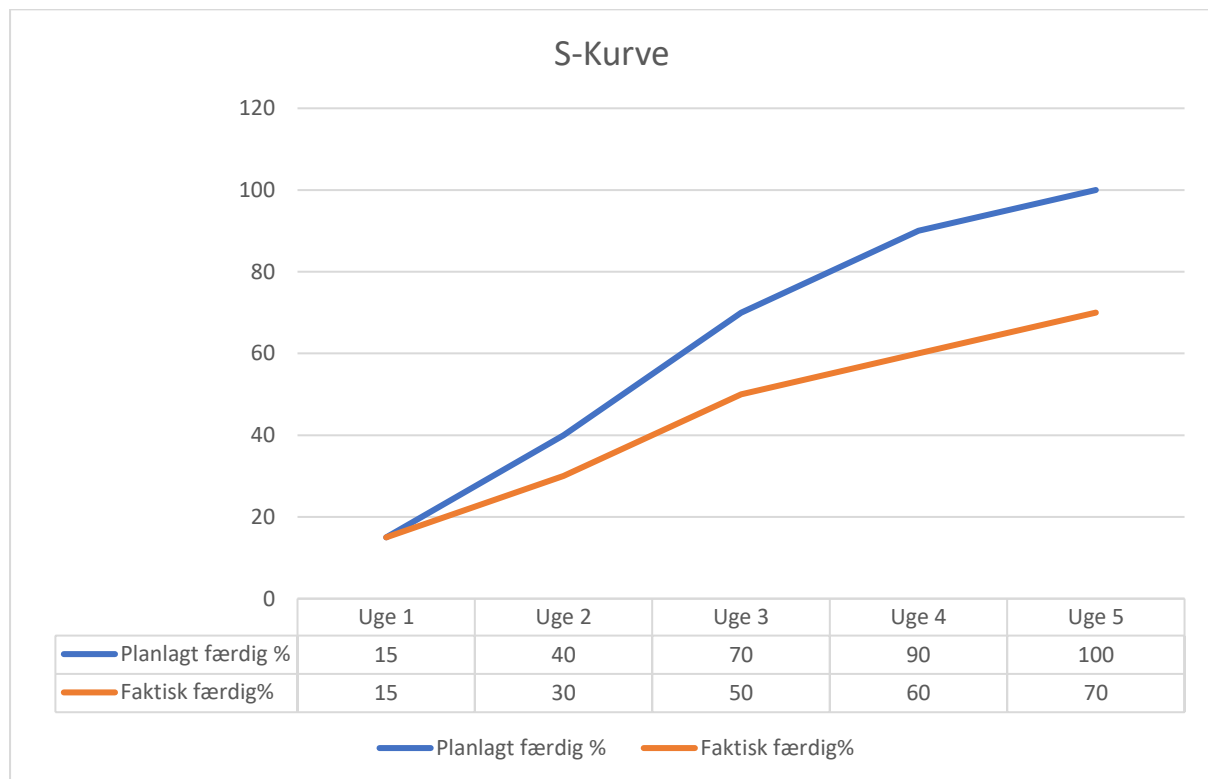
Hvis eventuelle afvigelser blev godkendt af rådgiver, kunne punktskyen blive omdannet til en IFC-model i Imerso og blive fremsendt til rådgivere til oprettelse af "Som udført" materiale.



Figur 10 - Sekvensmodel for arbejdet med Buildots

Figur 10 illustrerer, hvordan processen med anvendelsen af Buildots forløb i casestudiet.

Ud fra den uploadede scanningsdata blev en S-kurve udformet af Buildots. Denne viste afvigelser i planlagt arbejde mod udført arbejde.



Figur 11 - Eksempel på S-kurve

Figur 11 er et eksempel på S-kurven. Kurven blev anvendt til at give et visuelt overblik over, om projektet følger tidsplanen, oftest i forbindelse med samtaler med bygherre, hvor det visuelle overblik gav en god forståelse for, hvor langt projektet var. Bygherren kom med ændringer til projektet undervejs i byggeprocessen, og her blev det nævnt, at S-kurven var effektiv at vise til bygherren, for at give en forståelse for effekten disse ændringer havde på tidsplanen, og dermed kunne det bruges som argument for at projektet ikke kunne blive afleveret til den aftale tid.

Den uploadede data til Buildots, blev udelukkende eftersat i forhold til tidsplanen, og der blev ikke taget hensyn til, om der var bygget korrekt. Registreringen af det udførte arbejde blev udført manuelt af teamet bag Buildots, og det viste sig, at dette team ikke havde indsigt i danske byggeskikke, hvilket viste sig at være en udfordring.

Buildots er en virksomhed lokaliseret i Israel og har ikke danske medarbejdere. Alligevel blev den ønskede data uploadet på dansk, hvorefter Buildots oversatte det. Af og til opstod der imidlertid udfordringer med oversættelsen, hvilken resulterede i misforståelser. Derudover var der en problemstilling i, at firmaets medarbejdere ikke kender til danske byggeskikke og tolerancer. Aktiviteter blev færdigmeldt, selvom de ikke var færdige, og andre blev meldt mindre færdige, end de reelt set var.

Når projektet er færdigregistreret i Buildots, sendes S-kurven samt en rapport med procentsatser på færdigt arbejde tilbage til VDC-koordinatoren.

VDC-koordinatorens opgave var herefter at gå ud på pladsen for at tjekke, om det registrerede i Buildots stemte overens med det, der var udført på pladsen. Hvis der blev opdaget uoverensstemmelser, blev der taget kontakt til Buildots, så de kunne tilrette det i deres system. VDC-koordinatoren har efterspurgt, om de selv kan få lov til at ændre i dette, men det var ikke en mulighed.

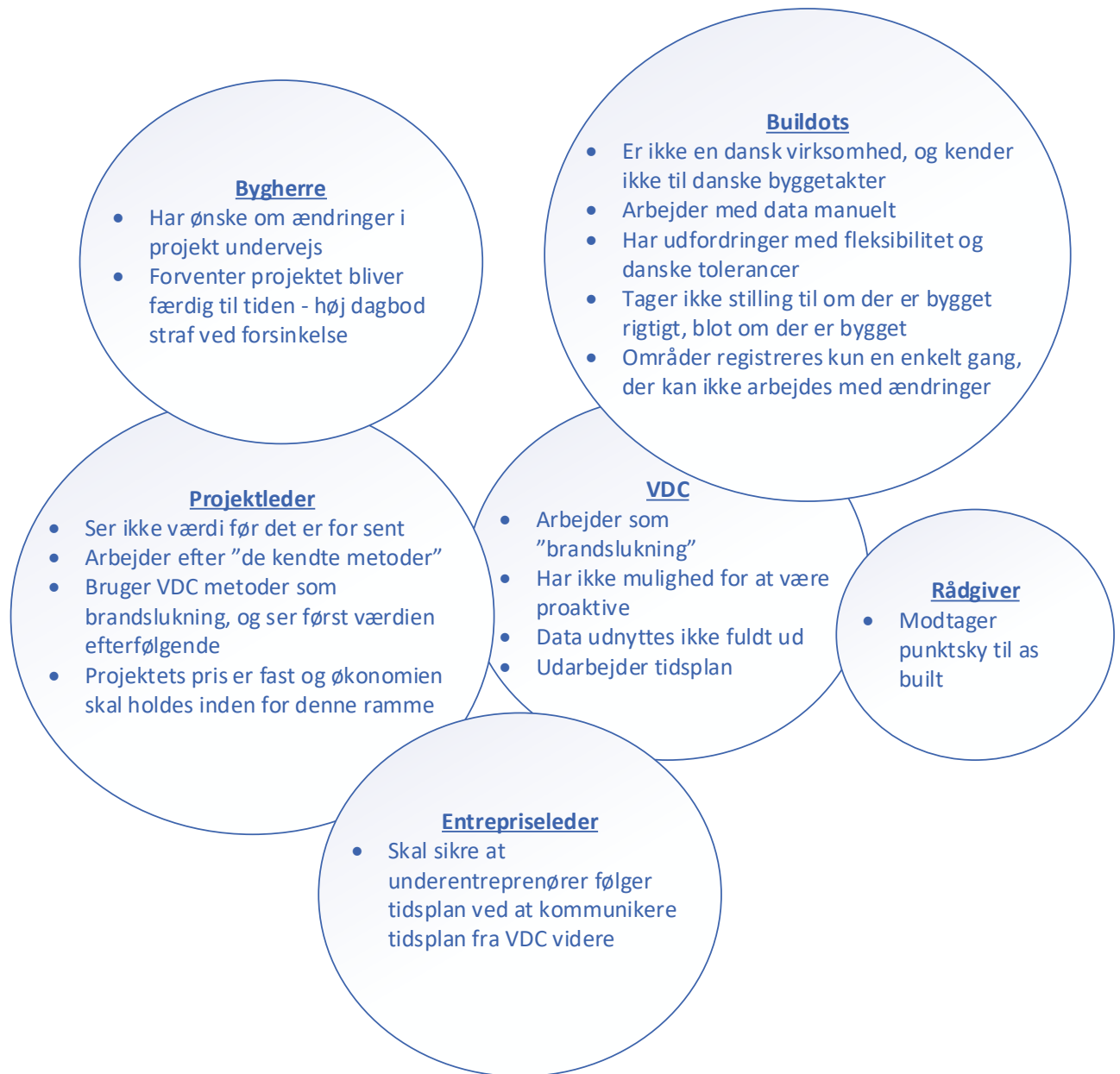
Til projektet blev Schedule Planner anvendt, til styring af den overordnede tidsplan. Staderegistrering fra Buildots skulle derfor manuelt indskrives i Schedule Planner.

Efter Schedule Planner blev opdateret, blev der koordineret med de forskellige entrepriser for at sikre, at der blev sat folk på de opgaver, der var ifølge tidsplanen.

Det blev nævnt i interviewet, at denne proces med hele tiden at skulle koordinere projektet tog ekstremt lang tid, men gav en god indsigt i hele byggeprojektet.

Staderegistreringerne, der blev indført i Schedule Planner, blev overført til et Excel skema, som blev anvendt på seks-ugers møderne. Ved seks-ugers møderne skulle hver enkelt entreprise opdatere Excel skemaet med en procentsats for deres færdige arbejde, eller acceptere den stude Buildots leverede. Herefter kunne studeopførelsen blive fremsendt.

I dette kapitel introduceres en kulturmodel. Kulturmodellen blev anvendt til at analysere forskellige tilgange til arbejdsmetoderne for projektet, for at finde ud af hvilke problemstillinger der kan udfolde sig ved at implementere nye løsninger eller ændre på eksisterende arbejdsmetoder. Modellen blev opbygget af cirkler som hver repræsenterer en aktør. Cirklerne overlapper, hvor der forekommer en kommunikation mellem aktørerne.



Figur 12 illustrerer kulturmodellen og vil i det følgende blive uddybet.

33

projektet var gået galt. Der blev arbejdet efter sædvanlige metoder i projektet, og dette kan skyldes projektlederens ansvar over for bygherren. Bygherren ønskede et projekt, der blev færdigt til tiden, og det var projektlederens opgave at sikre dette. Derfor kan det virke som en usikkerhed i forhold til at afprøve nye metoder, som ikke er kendte af projektlederen, da man ikke stoler på, at disse fungerer eller er værdiskabende nok for projektet, i forhold til udgifterne eller tiden det ville tage at implementere de nye metoder.

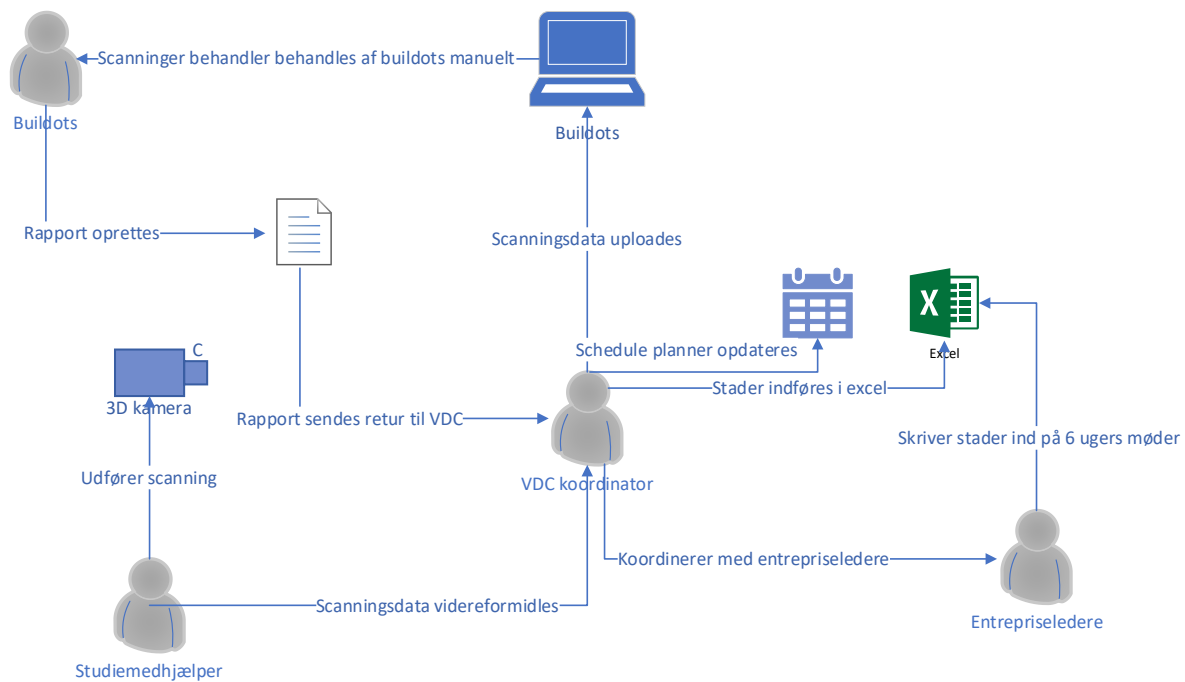
Bygherren havde ofte ønsker til ændringer af projektet undervejs. Dette forårsagede, at tidsplanen blev skubbet, da de ønskede ændringer forudsatte, at der blev lavet om i det byggede. Et eksempel der blev beskrevet i interviewet, var et ønske om at ændre emhætter i et industrikøkken, som allerede var blevet monteret. Loftplader var allerede blevet monteret, og der var her gjort plads til den første version af emhætterne. Denne senere ændring i typen, som viste sig at være større end den første, betød at man var nødt til at lave om i lofterne, for at gøre plads til den nye type. Tidsfristen blev også skubbet som et resultat af dette, idet arbejdsprocesserne blev ændret væsentligt. Dette besværliggjorde muligheden for at følge den oprindelige tidsplan.

Tidsstyringen af projektet blev assisteret af styringsprogrammet Buildots. Buildots havde behov for at få indsendt tidsplanen for projektet samt en punktsky af det udførte. Herefter foretog Buildots en manuel sammenligning af 3D-registrering og tidsplan, hvorpå der blev oprettet en staderegistrering af det udførte. Materialet blev uploadet på dansk efter Buildots ønske, hvorefter de selv oversatte til deres eget sprog. Der opstod af og til udfordringer med oversættelsen som følge af dette. Derudover var der ikke kendskab til danske byggetakter, og der var opgaver, som blev færdigmeldt uden egentlig at være det. Ændringer fra bygherre kunne også give udfordringer, da der ikke kunne ændres i allerede, færdigmeldte aktiviteter.

Dette kapitel introducerer en artefaktmodel. Artefaktmodellen blev anvendt til at danne et overblik over hvilke relevante artefakter, der blev benyttet af aktørerne. Sammenhængen mellem artefakter og aktører blev analyseret for at få en forståelse for, hvilke artefakter der blev anvendt og hvordan.



Efterfølgende kunne VDC-medarbejderen koordinere afvigelser i det byggede med entreprisederen og rådgiveren. Hvis afvigelser i byggeriet blev godkendt, blev en IFC-model fremsendt til rådgiveren, som herefter kunne modellere en "Som udført" model.



Figur 14 - Artefakt model til arbejdsprocessen der foregår med Buildots

Figur 14 illustrerer hvilke artefakter og aktører, der indgår i arbejdsprocessen med Buildots.

To gange ugentligt blev bygningen scannet af et par studiemedhjælpere med en MLS. Denne scanning uploades til Buildots.

Efter Buildots analyserede det uploadede materiale var resultatet en farvelagt model. Farverne grøn, rød og gul repræsenterer, om aktiviteter er færdige til tiden, lidt efter tidsplanen eller langt efter tidsplanen. Den procentuelle forsinkelse blev også markeret på aktiviteten.

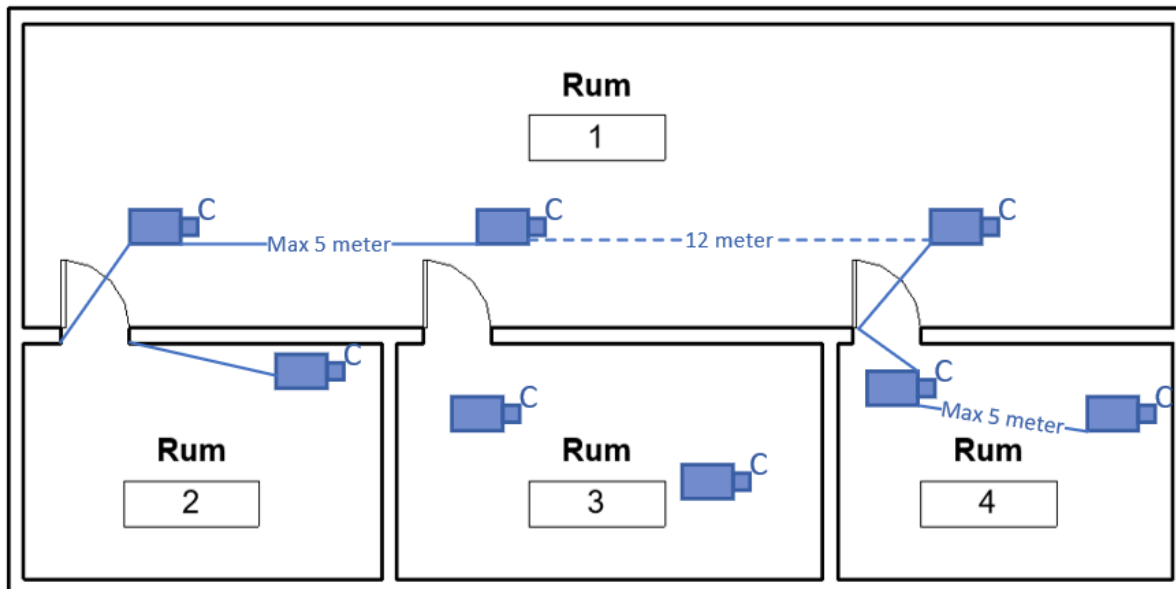
Ud fra dette gav Buildots et procenttal for, hvor langt projektet er i den samlede tidsplan, og holdt det op mod det planlagte. Den data kunne anvendes til at udforme en S-kurve.

Buildots udarbejdede også en rapport med procenter for afvigelser i tidsplanen, den blev fremsendt til VDC hver fredag. Mandag morgen gik VDC-koordinatoren ud på byggepladsen for at tjekke, at den fremsendte staderegistrering stemte overens med det, der var udført på pladsen. Hvis der var opgaver, der ikke stemte overens med dette, måtte VDC-koordinatoren melde tilbage til Buildots for at få det ændret. Når alt var tilrettet, kunne det anvendes til at opdatere tidsplanen for projektet. Dette blev gjort i det lokationsbaserede tidsstyringsprogram Schedule Planner, som blev manuelt tilrettet med den nye data. Efterfølgende skulle der koordineres med entrepriserne for at finde frem til, hvordan tidsplanen kunne blive tilrettet og sikre at alle fulgte tidsplanen. Underentreprenørerne kunne komme med undskyldninger for deres forsinkelser, som for eksempel at der ikke var ryddet op fra tidligere entreprise. Her blev 3D scanningen anvendt som dokumentation til at af- eller bekræfte påstanden.

De samme tal blev tilføjet til et Excel skema, som på seks-ugers møderne blev sendt rundt til entrepriserne, som herefter selv tilrettede eller accepterede procenttallet for deres staderegistrering.

4.6 Fysisk model

Den fysiske model blev anvendt, til at danne et overblik over de fysiske rammer i projektet. Her illustreres de fysiske rammer, som den indsamlede data beskrev. Der analyseres for om der er udfordringer ved disse rammer, som potentielt hæmmer muligheden for en eventuel forbedring.



Figur 15 - Fysisk model

Figur 15 illustrerer den fysiske model for arbejdet med TLS. Scanneren blev flyttet ca. 5 meter ad gangen for at sikre at Line-Of-Sight rammes i to forskellige scanninger. Modellen illustrerer forskellige opsætninger af scanneren. Der kan opstå udfordringer med scanningerne, hvis der ikke er mulighed for at scanne det samme punkt, for eksempel på to forskellige sider af en dør. Derudover viste der sig at være udfordringer, hvis opstillingerne var for langt væk fra hinanden.

4.7 Resultater:

Modellerne gav et overblik over nogle arbejdsmetoder, som bør kunne forbedres eller ændres. De vil i dette kapitel blive beskrevet.

4.7.1 Anvendelse af data

Det viste sig, at der blev gjort brug af to forskellige typer scanning af bygningen, TLS og MLS. Umiddelbart er der ikke nogen grund til at udføre begge scanninger, da TLS vil kunne anvendes til begge dele.

Derudover burde den indsamlede data kunne anvendes til mere end den blev anvendt til. Et eksempel VDC-koordinatoren selv fortalte om, er angående sikkerhed. Scanningerne viste, at flere medarbejdere ikke bærer hjelm, selvom dette er et krav for at være på byggepladsen, men denne data blev ikke anvendt. Det kan dog anvendes som dokumentation efterfølgende, hvis behovet for det opstår.

4.7.2 Projektleders forhold til digitale løsninger

En anden udfordring der viste sig, var projektlederens holdning til digitale løsninger. De digitale værktøjer der findes, blev ikke anvendt, da projektlederen var nervøs for at det ikke var værdiskabende for projektet. Men alligevel spurgte projektlederen efter hjælp ved VDC-afdelingen, når det brændte på, og projektet var ved at komme for langt efter tidsplanen. Her hjalp de foreslåede digitale værktøjer oftest, og efterfølgende kunne projektlederen godt se værdien i at anvende disse løsninger.

4.7.3 Buildots

Tidsstyringsprogrammet, der blev benyttet på projektet, viste sig også at have nogle væsentlige udfordringer. Der blev ved Buildots arbejdet manuelt, og de kendte ikke til det danske sprog, arbejdsmetoder, arbejdstakter og tolerancer. Dette resulterede i misforståelser og fejl i det behandlede data, der sendes retur fra Buildots. Der blev kun arbejdet med tidsstyringen, så der blev ikke tjekket, om der er bygget korrekt, men blot om der er blevet bygget. Derfor var det ikke altid korrekte procenter, der blev tildelt de forskellige aktiviteter, da der kunne være opståede fejl i byggeriet, der ikke blev taget hensyn til ved Buildots. Der blev anvendt et andet program til at tjekke, om der var bygget korrekt ud fra en sammenligning af den indsamlede punktskydata og IFC-modellen. Buildots kunne ikke blive anvendt som tidsplan, da VDC-koordinatoren ikke havde mulighed for at redigere i informationerne programmet. Her blev Schedule Planner anvendt i stedet, hvor data fra Buildots manuelt overføres. Der blev også anvendt Excel, hvor data fra Buildots blev overført manuelt, så underentreprenørerne selv kunne udfylde staderegistrering til 6 ugers møderne.

Det betød for VDC-koordinatoren, at der var utroligt mange platforme, som skulle anvendes, og derfor et stort koordineringsarbejde. Det var essentielt en fuldtidsstilling at få alt dette til at hænge sammen, men det er også en stilling, der ikke kunne undværes på projektet.

Anvendelsen af den indsamlede data, bør dog kunne forbedres ved at automatisere databehandlingen. Formålet skulle være at give bedre tid til koordineringsarbejdet end behandlingsarbejdet.

4.8 Brancheundersøgelse

Interviewet blev kun udført på et specifikt casestudie, Derfor blev der indsamlet supplerende empiri til rapportens indhold for at kunne perspektivere løsningen til branchen.

En række virksomheder, herunder entreprenører, rådgivende ingeniører og en digitaliserings konsulent i byggebranchen, blev adspurgt, om de ville deltage i en kort undersøgelse. Ud af 7 forskellige henvendelser blev to besvaret, disse blev tilsendt syv spørgsmål samt en kort forklaring af projektets omfang, som kan ses i (Bilag 3).

4.8.1 Anvendelse i praksis

Respondent 4 er direktør og stifter af et firma, som indsamler og behandler data med fotogrammetri, 3D LiDAR scanning, droner, IOT-sensorer og robotter.

Respondent 5 er ansat som proces- & innovationschef ved en større entreprenørvirksomhed og beskæftiger sig med anlægsafdelingen af virksomheden, hvor de primære redskaber til dataindsamling var droner og GPS-stokke.

Respondenter blev spurgt om, hvordan de arbejder med 3D scanninger og punktskyer. Respondent 4's besvarelse lød: *"Vi bearbejder dataene, så de bliver let tilgængelige og operationaliserbare for byggeledelsen og byggeriets aktører."* Hvilket bekræftede, at 3D scanninger og punktskyer er et emne der blev brugt i byggebranchen.

Respondent 5 svarede, at de indsamlede data med: *"[...] droner og fotogrammetri. Vi bruger en DJI Mavic 3E RTK sammen med et Aeropoint fra Propeller. Vi uploader til Trimble Stratus hvor data behandles."* Respondent 5 udvidede svaret med, at billederne blev behandlet i Trimble Stratus, hvilket gav mulighed for folk på byggepladsen at kunne måle arealer og volumener på geometrien, ved hjælp af det tilhørende program. Respondent 4 fortalte, at de anvendte Sitemotion som software, hvor dataindsamlingen foregår med robotter, som har monteret det relevante udstyr. Respondent 1 fortalte også at, *"Sitemotion analyserer dataene automatisk mod planlægningsdata, som VDC, herunder 3D BIM, tidsplan og økonomi."* hvorimod arbejdsgangene på anlægssiden er en del mere manuelle. Det beskrev respondent 1 som:

"Staderegistrering. Planlægning af fremtidigt arbejde ud fra en model af virkeligheden. Volumenopmåling til brug for bortkørsel eller tilkørsel af jord/grusmaterialer. Arealopmåling til for eksempel bestilling af asfalt el. lign.

Kranplaceringer kan plottes ind via DXF filer og derved kan punktskyen/droneindmålingen anvendes til logistikhåndtering."

Respondent 4's besvarelse viste, at de anvendte punktskyen til staderegistrering. Denne data blev også anvendt til økonomistyring og bestemmelse af mængder til både afregning og køb af materiale.

Respondenterne blev spurgt ind til hvilke udfordringer, de oplevede i forbindelse med arbejdet med punktskyer. Respondent 4 besvarede med at udfordringen var behandlingen af den store indsamlede datamængde.

For respondent 5 var problematikken kvaliteten af den indsamlede data, punktskyen havde en præcision i forhold til virkeligheden på 3 cm. Denne præcision er udfordrende i forhold til danske tolerancer. Respondent 5 besvarede:

"Vi vil gerne sammenligne punktskyen med modellen for at finde uoverensstemmelser. Det gør vi sådan set også, men manuelt. Vi vil gerne gøre det automatisk. Dog er det svært med 3cm nøjagtighed at få et resultat der kan anvendes."

4.8.2 Forbedring af processer

Respondent 5 besvarede at en punktsky ville kunne forbedre deres arbejdsprocesser væsentligt, hvis automatisering kunne give muligheder for at opdage udfordringer, som de ikke selv ville have fundet frem til. Der var flere ideer til hvordan anvendelsen af punktskydata kunne forbedre arbejdsprocessen. Respondenten besvarede:

"Hvis en AI kunne begynde og analysere på alt muligt data og se sammenhænge som vi ikke selv ville få øje på. Den kunne give feedback i realtid om bedre logistik flow mv. Den kunne også give forslag til en bedre fremgangsmåde på næste byggesag eller på den samme. Sammenligning med tidsplanen både bagudrettet og fremad for at analysere på kadencen og tidsplanen holder. Finde fejl i forhold til modellen."

Respondent 4 fortalte, at muligheden for at opdage uoverensstemmelser mellem det byggede og det planlagte ved at anvende punktskydata, kunne give rigtig god mening. Derudover mente respondenterne også, at det kunne være godt med flere muligheder.

Det blev beskrevet således:

"Rapporteringskonsistens, hyppighed, automatisk kvalitetssikring, opdagelse af uoverensstemmelser tidligere, reduktion af risiko (skal man bygge om, pga. fejl, så har man sikkerhedsrisikoen igen), mulighed for øget kommunikation af stade og deraf bedre flow mellem grænseflader. Byggetransparens, digital erfaringsopsamling - frem for individ. mv."

Respondent 5 beskrev, deres tidsregistrering blev udført således: *"Med en tidsplan og en eller flere arbejdsledere/produktionsledere der rapporterer stade i ca. % angivelser."*, der blev manuelt indsamlet data som en formodet procentsats for, hvor færdigt det udførte arbejde var.

Respondent 5 fortalte, at "Som udført" dokumentation blev udført af eksternt af en landmåler, som både foretog opmåling med totalstation og udførte "Som udført" materialet.

Respondent 4 gjorde det anderledes og fortalte:

"Vi giver byggeledelsen m.fl. visuel rapportering direkte i BIM-modellen, som giver information omkring stade-/toleranceafvigelser, ændringer mv. koblet til tidsplanen for at bibeholde historikken. SiteMotion kontrollerer og flytter også BIM modellens vægge for nøjagtig as-build."

Respondent 4 fortalte, at der blev anvendt sitemotion til at oprette "Som udført" materiale, derudover anvendte de BIM-modellen, til at kommunikere stade og tolerance afvigelser.

5 Løsningsforslag

I dette kapitel introduceres opbygningen af et løsningsforslag på baggrund af metoderne beskrevet i Contextual Design (Holtzblatt and Beyer, 2017). I kapitlet vil prototypen trinvis blive udviklet fra idé til første udkast af en prototype. Der tages udgangspunkt i analyserne i kapitel 4.

Der blev først arbejdet ud fra et idégenererings princip, hvor alt var tilladt, og her var det blot tanker og idéer, der blev samlet til, hvordan et eventuelt løsningsforslag kunne se ud. Her blev der arbejdet ud fra Visioning og Storyboard metoderne, som beskrevet i Contextual Design (Holtzblatt and Beyer, 2017). Der blev udarbejdet tre forskellige forslag for at give plads til forskellige idéer. De tre forslag blev samlet i kapitel 5.4, hvorefter idéer blev sammenholdt og draget med til videreudvikling af prototypen. Disse idéer blev anvendt til at udvikle et User Environment Design efter Contextual Design metoden, dermed blev et grundlag dannet for hvilke funktionskrav, prototypen skulle overholde. Disse funktionskrav ledte videre til udviklingen af User interfacet, som blev udformet ved først at skitsere idéer til udseendet op i papirform. Efter skitseringen blev Figma anvendt til at opsætte en illustrativ prototype, som efterfølgende blev anvendt til test og evaluering.

For at danne grundlaget for hvordan løsningsforslaget skulle udformes, blev tre forslag med forskellige idéer opbygget. Der blev taget udgangspunkt i udfordringer fundet gennem analyserne af casen, samt State-Of-The-Art viden fra litteraturstudiet, i kapitel 3 og 4, til at sætte rammerne for de udviklede løsningsforslag.

5.1 Forslag 1

5.1.1 Vision

Analyserne i kapitel 4 viste, at der blev udført scanninger på byggepladsen med både MLS og TLS.

Her var det nødvendigt at lave mange forskellige opstillinger for at afdække hele byggeriet. Hver scanning tog ca. fire min pr. opstilling for TLS at scanne. I dette scenarie blev der indsamlet to komplette scanninger på forskellige måder og med forskellige datakvaliteter. Da scanningerne foregik på samme lokationer, ville det være en mere rentabel metode at nøjes med den ene teknologi til dataindsamling.

Til den efterfølgende behandling af den indsamlede data, blev flere forskellige programmer til håndteringen og bearbejdning af scanningerne anvendt. I tilfældet med MLS-data, betalte virksomheden et firma for håndteringen af denne data, efterfølgende blev denne data koblet på projektets tidsplan og sendt retur til VDC-koordinatoren. Data, som kommer fra TLS, blev behandlet internt af VDC-koordinatoren. Scanningerne blev først behandlet i ét program, efterfølgende i et andet program, her blev IFC-filen af bygningsmodellen holdt op imod den indsamlede scanningsdata.

Den tid, som blev brugt på behandlingen af en forholdsvis lille mængde materiale, opbruger en fuldtidsstilling alene ved håndteringen af denne datamængde. Eftersom den indsamlede data ikke anvendes bedre, er det en stor arbejdsmæssig ressource. Der er potentiale for at få mere ud af den allerede indsamlede data. Udfordringen ligger ikke i, at de eksisterende produkter ikke fungerer optimalt, men tidsforbruget kontra udnyttelsen af den indsamlede data kunne forbedres markant.

MLS har udfordringer med præcision i scanning af Z-aksen, og kan derfor ikke anvendes til at skabe en god nok datakvalitet til efterbehandling. MLS kan derfor ikke anvendes til "Som udført" eller

kvalitetssikring. Udfordringen ved TLS var, at den datakvalitet der blev produceret, var redundant til de formål, datakvaliteten blev anvendt til, når tiden for indsamlingen af data blev taget med i betragtningen.

Den næste udfordring er behandlingen af den indsamlede data. I casestudiet blev den sendt ud af huset eller skulle behandles med en række programmer for at etablere brugbare data. Programmerne modvirker dermed et effektivt arbejdsflow, for håndteringen af den indsamlede data.

Løsningsforslaget er bygget op af to dele, indsamling af data og behandling af data. Den første del af løsningsforslaget erstatter scanningsmetoderne, der blev anvendt i casestudiet med LiDAR SLAM MLS. Teknologien er kompakt og kan anvendes på droner, til scanning af bygningen indendørs eller udendørs, hvilket bringer et nyt perspektiv ind i løsningen. Scanning af de omkringliggende omgivelser som facade, tag og byggeplads giver muligheden for at få den dokumentation ind i tids- og ressourcestyringen.

Bearbejdningen af den indsamlede data samt analysen af den pågældende data, skal foregå i et samlet program. Analyserne i casestudiet i kapitel 4 viste, der blev anvendt mange platforme, og dette blev set som en udfordring. Med et samlet program, er der ingen skift mellem de forskellige platforme og dette vil effektivisere den samlede proces og skabe en ensartethed. Således vil den data som bliver indsamlet med SLAM-systemet, blive ledt direkte ind i et samlet system, som håndterer databehandlingen, opretter 3D geometrien og opsætningen af tids- og ressourcestyringen af projektet.

Det nye system skal være et genkendeligt program for håndværkerne og formændene på byggepladsen. Det kunne for eksempel være et program, hvor de udførte kontrollerer dokumentation til byggeledelsen og bygherren. Det vil også betyde, at håndværkerne og formænd kunne få adgang til de scannede data, og dermed vil flere fra forskellige faggrupper gøre brug af denne data. Den indsamlede data får hermed mulighed for at blive anvendt i flere sammenhænge og dermed skabe en bedre udnyttelse af den indsamlede data.

På Figur 16 og Figur 17 ses to scenarier. Det ene er udendørs, hvor byggepladsen scannes af en drone med et monteret LiDAR SLAM-system. I det andet scenarie anvendes LiDAR SLAM-systemet til indendørs scanning.



I stedet for at anvende to forskellige typer scannere, vil LiDAR SLAM teknologien kunne erstatte disse og gøre den videre behandling mere strømlinet. Scanningerne trækkes ud fra LiDAR SLAM modulet, og overføres til computeren, hvor det nye system udfører bearbejdning af scanningerne.

5.1.2 Storyboard

På Figur 18 bliver et scenarie illustreret, hvor en drone med LiDAR SLAM-systemet monteret flyver rundt og scanner hele byggepladsen og byggeriet udvendigt.



Figur 18 - Storyboard til forslag 1

Figur 18 illustrerer seks billeder i et storyboard, som herunder er beskrevet.

1. Første hændelse er indsamling af data ved anvendelse af LiDAR SLAM monteret på en drone.
2. Efter scanningen er udført, uploades den indsamlede data til en computer.
3. Efterfølgende vælger brugeren, hvad scanningen skal benyttes til.
4. Der er mulighed for at vælge hvilke analyser, der skal være resultatet af efterbehandling.
5. Efterbehandlingen er fuldført, og der leveres et output.
6. Resultaterne kan blive anvendt til at tjekke for eventuelle afvigelser i tidsplanen.

5.2 Forslag 2

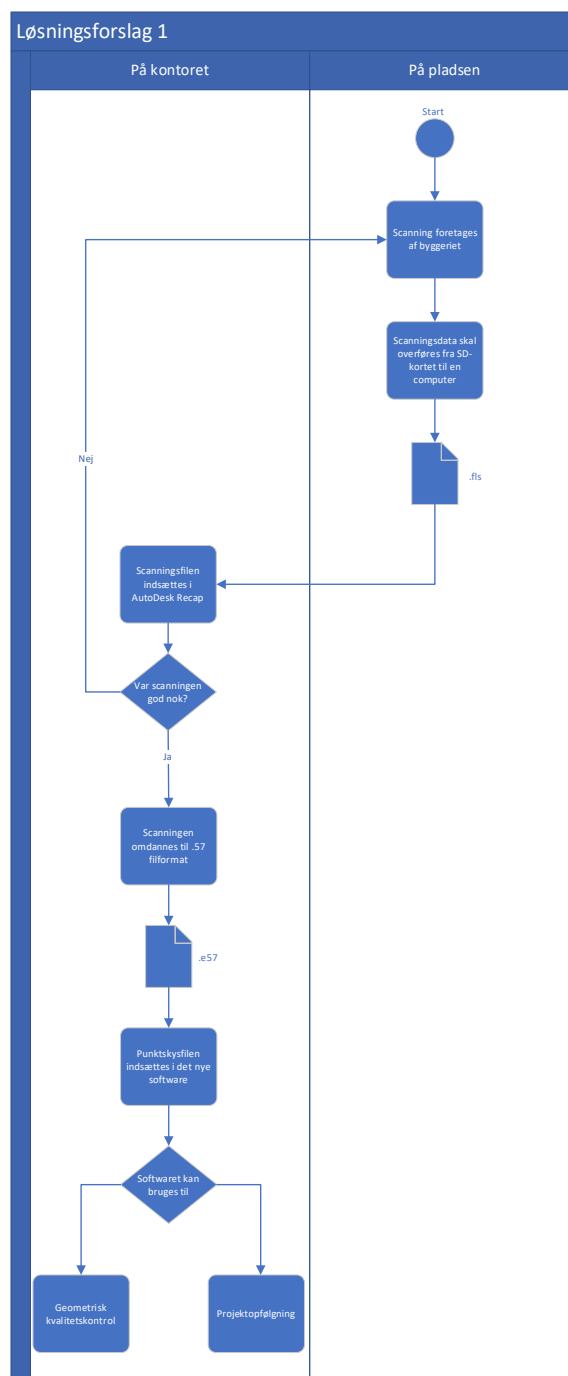
5.2.1 Vision

Ud fra analysen af casestudiet blev det belyst, at den geometriske kvalitetssikring er in-house med det anvendte TLS og programmet Imerso. Det geometriske i den planlagte 3D-model, blev sammenholdt med scanningerne af det byggede, på den måde blev afvigelserne kontrolleret. Virksomheden outsourcede tidsstyring og projektopfølgning til Buildots, men analyserne i kapitel 4 viste sproglige udfordringer med kommunikationen samt en manglende forståelse for dansk byggeskik.

Der blev anvendt to forskellige slags scanningsudstyr til byggeriet, MLS til Buildots og TLS til Imerso.

Idéen er derfor bygget op om at udvikle et nyt software, som indeholder kvaliteterne fra både Imerso og Buildots. Dermed kan der foretages geometrisk kvalitetsstyring, samt tids- og projektstyring i samme applikation. Tanken er, at entreprenørselskabet skal holde dette in-house og dermed eliminere de sproglige barrierer og undgå de fejl, der kan opstå på grund af manglende forståelse for dansk byggeskik. Dette vil fjerne de omkostninger der er i forbindelse med Buildots' service og betyde, at det kun er nødvendigt med en type scanning. For at simplificere den geometriske kvalitetskontrol samt præcisere tidsstyringen er ideen, at det nye software skal anvende Deep Learning til semantisk segmentering.

Dette ledte frem til idéen til det nye software, som skal bruges til at genkende og klassificere objekter i de segmenterede punktskyer. Det nye arbejdsflow illustreres i Figur 19, i et BPMN-diagram.

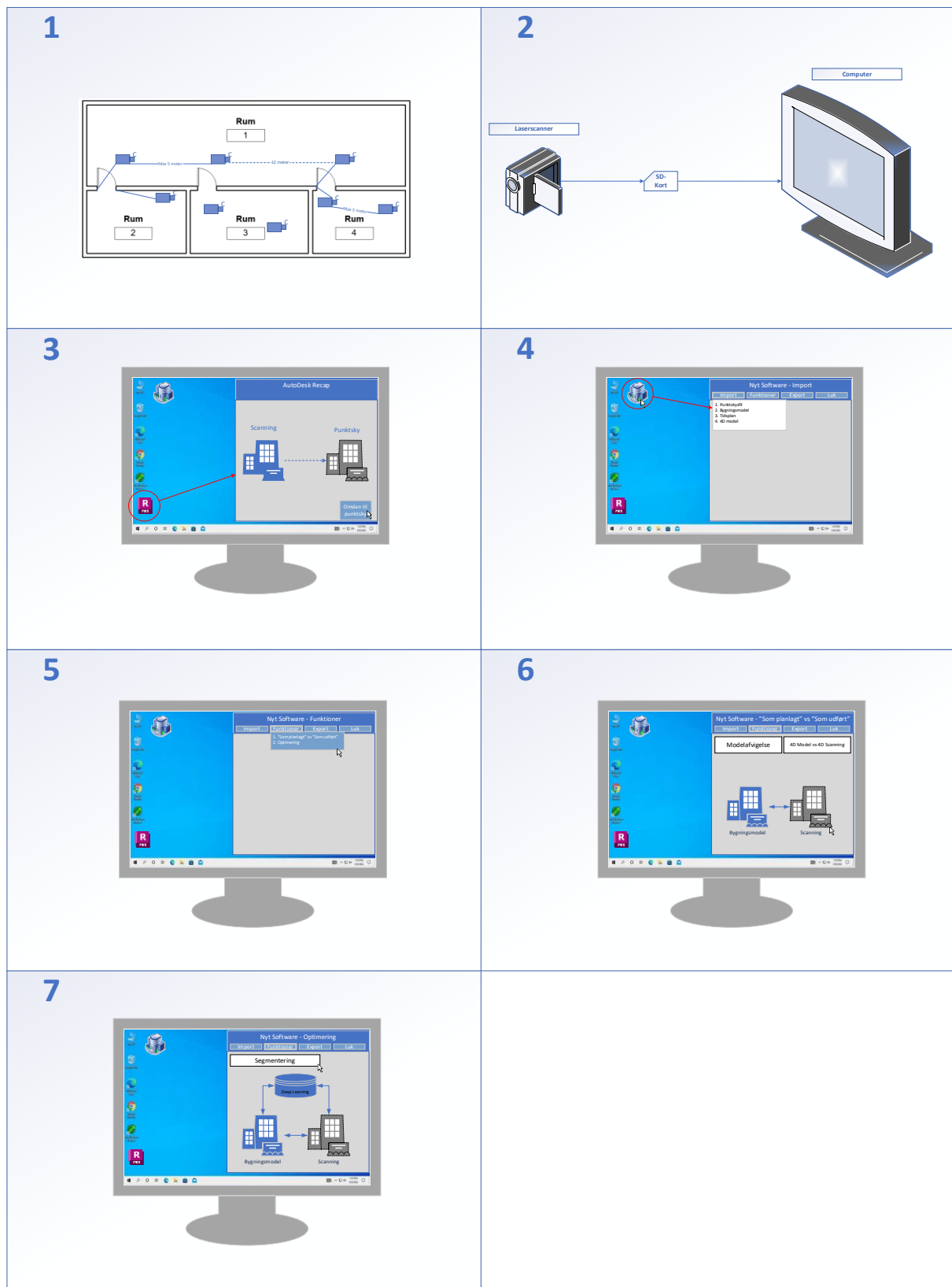


Figur 19 - BPMN af forslag 2

I Figur 19 illustreres det nye arbejdsflow, der er i arbejdsprocessen for VDC-koodinatoren. Figuren er inddelt i to baner. Den ene bane er "På kontoret", og den anden bane er "På pladsen". Arbejdsflowet starter på byggepladsen, hvor scanningsdata bliver indsamlet med TLS, og derefter bliver den indsamlede data overført til arbejdscomputeren på kontoret. Herfra bliver scanningsfilen behandlet for punktskyer og indsat i det nye tiltænkte software, hvor der kan udføres enten geometrisk kvalitetskontrol eller projektopfølgning ved hjælp af semantisk segmentering.

5.2.2 Storyboard

I dette kapitel vil et anvendt scenario af forslag 1 blive illustreret som et storyboard, hvor den nye arbejdsproces vil fremgå trinvis.



Figur 20 - Storyboard for forslag 2

1. Regelmæssige scanninger med laser scanner.

Det første trin i Figur 20, er indsamling af scanningsdata. I løsningsforslaget er det tiltænkt, at der skal gøres brug af TLS. Der bliver allerede anvendt en TLS i casestudiet, dermed ville dette ikke ændre de eksisterende arbejdsgange.

2. Fra scanner til computer

Derefter skal den udførte scanningsdata uploades til en computer. Her kommer den indsamlede scanningsdata, som ".fls" filformat. Denne proces er også en del af de eksisterende arbejdsgange i casestudiet.

3. Omdannelse af scanningsfilen

Efterfølgende skal den scannede data omdannes til en punktsky med AutoDesk Recap. Her kan ".fls" filformat omdannes til ".e57" filformat.

4. Import og Export i softwaren

Når filen er blevet omdannet til ".e57" filformatet, kan den importeres til det nye software. Softwaren skal kunne importere bygningsmodeller, tidsplan og 4D-modeller. Ligeledes skal softwaren kunne eksportere åbne standarder eller live synkroniseres med linkede programmer.

5. Vis softwares funktioner

Det nye software har flere indbyggede funktioner, som kan findes under fanen funktioner. Den første er "'Som planlagt' vs. 'Som udført'", hvor programmet kan sammenligne projekteringsmodellen med scanningsmaterialet. Den anden funktion udvirker, at den semantiske segmentering af punktskyer, gør det muligt for VDC-koordinatoren at analysere på den indsamlede punktskys data.

6. "Som planlagt" vs. "Som udført"

Efter "Som planlagt vs. "Som udført" er valgt, kan punktskyen behandles for flere funktioner. Her er der mulighed for enten at finde modelafvigelser eller 4D-model afvigelser. Funktionen "*Modelafvigelse*" skal kunne fremvise afvigelser mellem den projekterede bygningsmodel og punktskyen. Den anden funktion er "*4D-Model vs. 4D-Scanning*". Til denne funktion skal en 4D-model af bygningsmodellen anvendes. 4D-Modellen, skal repræsentere hvordan det kommer til at se ud fra start til slut, og 4D-modellen af scanningen vil således repræsentere den procentvis stude byggeriet er i.

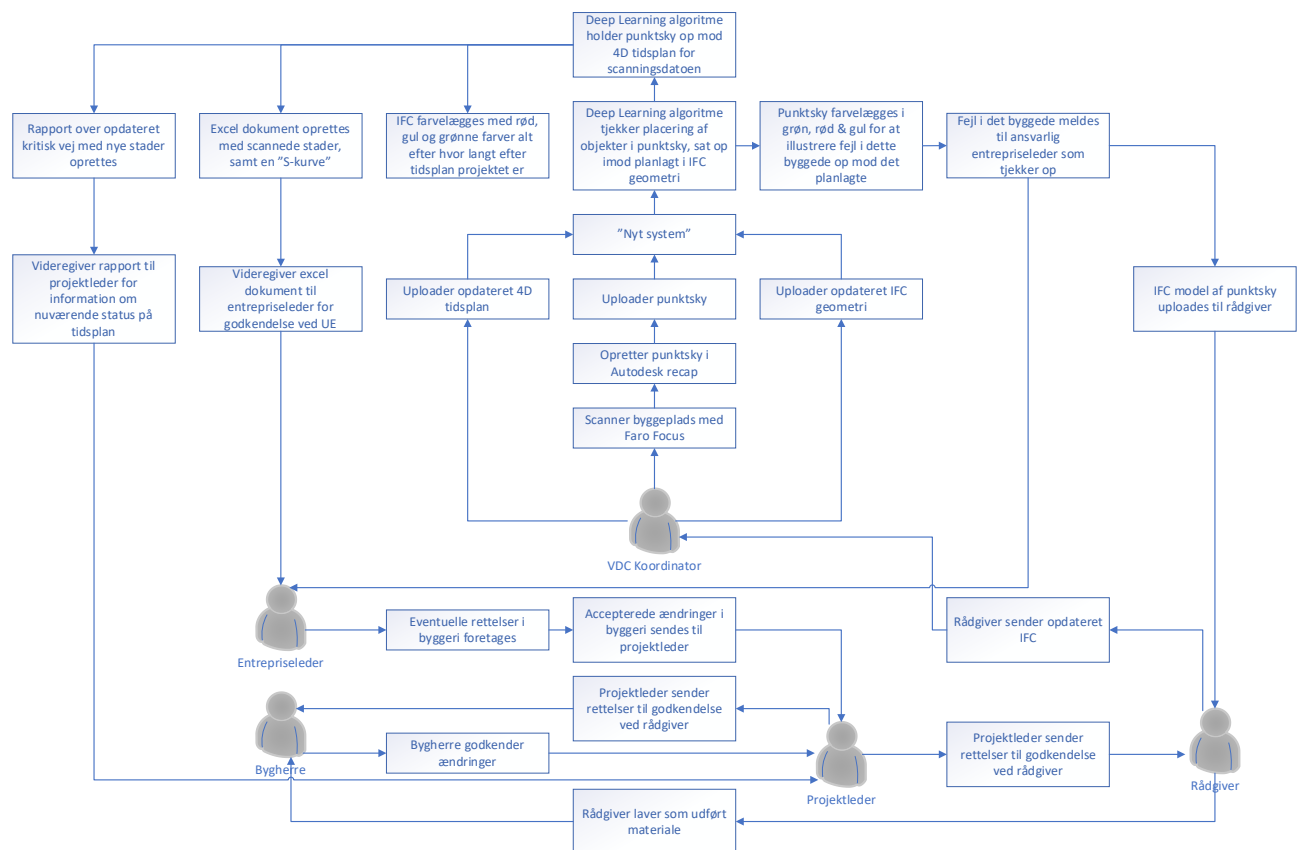
7. Optimering

Den anden funktion i det nye software er Optimering. Her skal softwaren automatisk segmentere og klassificere punktskyen ved hjælp af Deep Learning.

5.3 Forslag 3

5.3.1 Vision

Idéen er bygget op med intentionen om at anvende samme metode til dataindsamling, som blev anvendt i casestudiet. Der blev taget udgangspunkt i de egenskaber, som de indhentede data, i forvejen blev anvendt til. Casestudiet viste, at virksomheden anvendte flere forskellige softwareplatforme, derfor sammensættes disse i dette forslag med henblik på at samle det hele til en platform.



Figur 21 - Arbejdsflow for forslag 3

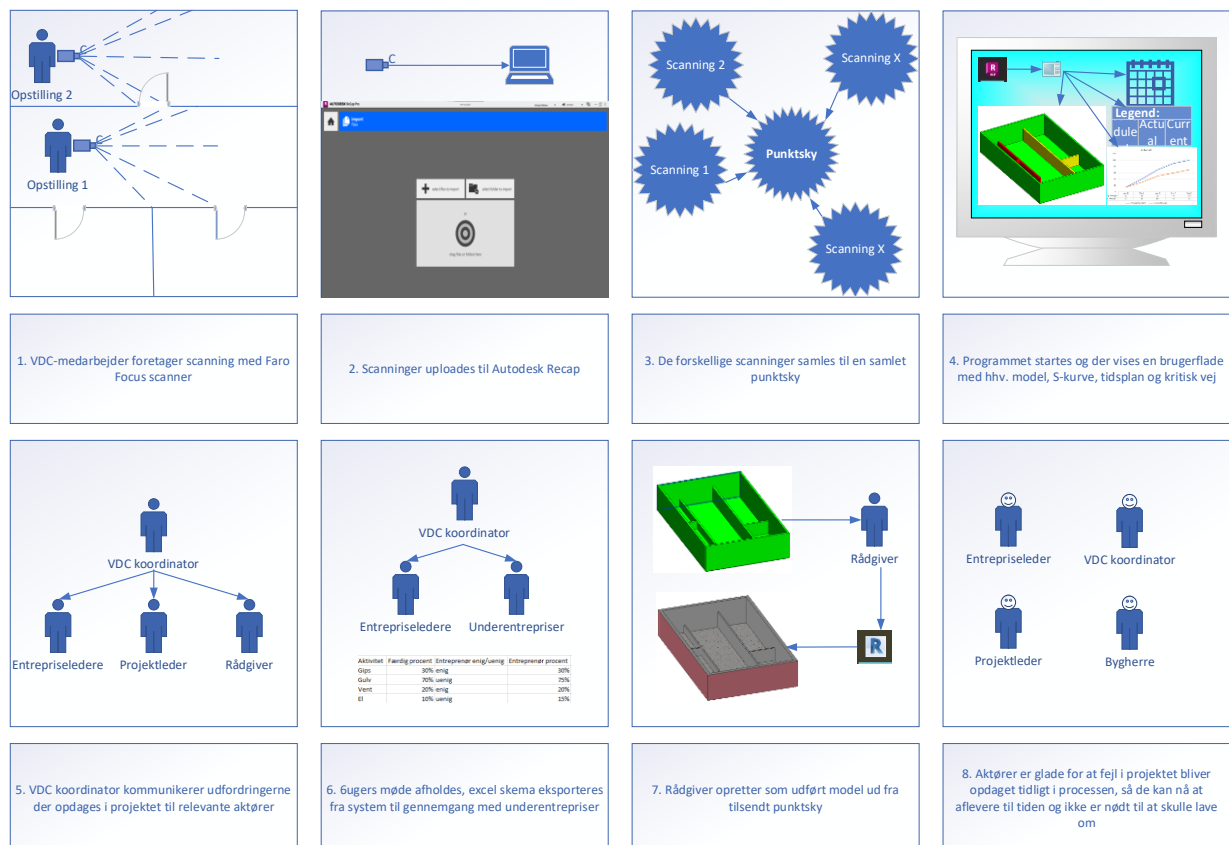
Figur 21 illustrerer arbejdsflowet i løsningsforslaget til et nyt system.

Systemet blev udarbejdet med to hovedfunktioner. Den ene er at tjekke for fejl i det udførte, og den anden er at tjekke om tidsplanen bliver overholdt. Processen starter med en scanning af byggepladsen med en TLS, derefter bliver punktskyen behandlet og samlet i Autodesk Recap.

Det forudsættes, at der kan uploades en 4D-tidsplan, en IFC-geometri og den oprettede punktsky til dette nye system.

Efter de forskellige elementer er blevet uploadet til systemet, har brugeren mulighed for at igangsætte en algoritme baseret på semantisk segmentering. Formålet med dette vil være at tjekke, om det byggede stemmer overens med det planlagte. Herefter vil den uploadede punktsky blive farvelagt af henholdsvis grønne, gule og røde farver, og dermed visualisere hvor tæt på det planlagte, scanningerne forholder sig.

På Figur 22 afbildes en historie for, hvordan forløbet ville foregå med det nye system opbygget som et storyboard.



Figur 22 illustrerer storyboardet for forslag 3. Figuren skal give et billede af, hvordan et forløb ville foregå med den foreslåede løsning.

Processen starter med en scanning med TLS. Herefter uploades disse scanninger til Autodesk Recap, hvor punktskyen behandles og oprettes. Efterfølgende uploades punktskyen til det nye foreslåede system, som igangsætter algoritmerne. Der tjekkes nu for tid og fejl i projektet med resultatet vist som en farvelagt model, en S kurve, en kritisk vej og rapport over tidsplanen.

Efterfølgende kan VDC-koordinatoren koordinere med de relevante aktører om resultaterne af scanningen. Det illustreres også, hvordan et seks-ugers møde kan foregå med et automatisk oprettet Excel-skema, som anvendes til opfølgning med underentrepriserne. Den opdaterede punktsky kan sendes til rådgiver til oprettelse af "Som udført" materiale.

Det nye software skulle gerne resultere i et mere velorganiseret projekt for byggeriets aktører.

5.4 Opsamling på løsningsforslag

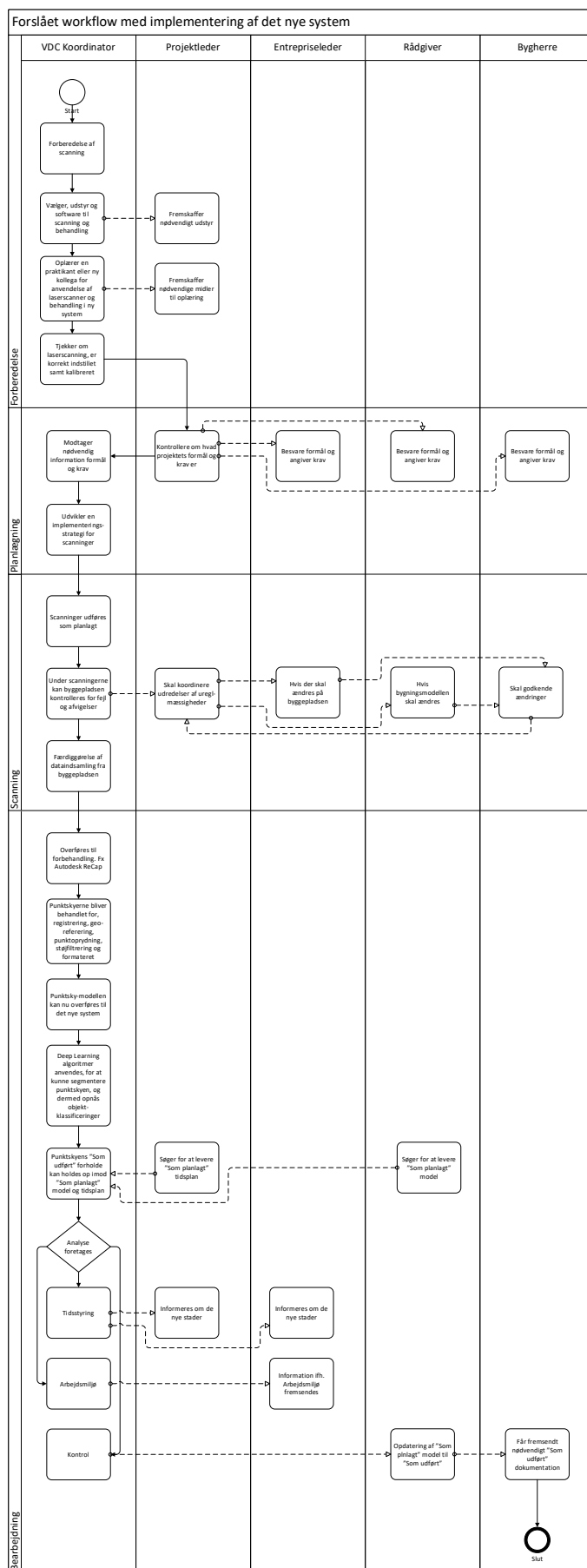
Efter tre forslag var blevet udformet med Visioning og Storyboard processerne, blev der samlet op på hvilke funktioner, som skulle føres videre til udvikling af den første prototype.

Forslagene tog udgangspunkt i arbejdsprocesser fra casestudiet, herunder hvilke funktioner, brugeren anvendte, men også hvad der kunne tilføjes for at øge anvendeligheden af punktsky scanninger.

Idéforslagene ledte frem til disse funktionskrav:

- "Sammenfletning af platformene Imerso og Buildots"
Der er en klar sammenhæng mellem alle tre forslag, som omhandler at få samlet disse to platforme, til en. Den nuværende dataindsamling til Imerso kan sagtens anvendes til Buildots funktionen, og derfor ses der ingen grund til at anvende to forskellige platforme.
Løsningsforslaget skal kunne benytte en punktsky baseret på en 3D scanning og en LiDAR scanning til at tjekke for fejl i projektet, men skal også holdes op mod 4D-tidsplanen, og kunne returnere en procentsats for færdiggørelse af aktivitet.
- S-kurve
Beskrives som en funktion i Buildots, og vises i kapitel 4.3. Denne gav stor værdi for brugerne til at give et hurtigt overblik over færdigt arbejde sat op imod planlagt arbejde.
- Rapport over kritisk vej
Dette ses ikke som en funktion i de nuværende systemer men kunne være med til at give overblikket over, hvor ressourcerne skal rokeres hen, hvis projektet er bagud, i forhold til tidsplanen.
- Farvelagt geometri
Systemet skal vise en farvelagt geometri for henholdsvis tidsstyring og fejl i projekt, med farverne grøn/rød/gul afhængig efter afvigelsens størrelse. Dette er også en funktion i både Imerso og Buildots, som bør tages med videre til et system, der skal erstatte disse to.
- Arbejdsmiljø
For at anvende den indsamlede data til mere, integreres arbejdsmiljø som en del af systemet. Scanningen skal tjekkes for henholdsvis rod, støv, medarbejdere uden hjelm eller mangel på sikkerhedsforanstaltninger.

For at skabe et overblik over hvordan de nye løsningsforslag kan blive integreret i brugerens eksisterende arbejdsprocesser, blev der udarbejdet et workflow med BPMN, som kan ses på Figur 23. Dette workflow, er udarbejdet ved at integrere elementer fra Figur 5, fra litteraturstudiet, som er udarbejdet af (Wu et al., 2022) og de nye løsningsforslag fra denne opsamling. Figur 23 er opdelt i fem "Swim Lanes", der repræsenterer de forskellige roller, der er involveret i processen: VDC-koordinator, projektleder, entrepriseder, rådgiver og bygherre. Figuren er også opdelt i fire faser: forberedelse, planlægning, scanning og behandling. Ved at opdele processen i adskilte faser og "Swim Lanes" er det muligt at forstå hver rolles ansvar og afhængigheder såvel som det overordnede flow i processen.



Figur 23 - BPMN over foreslået workflow med implementering af det nye system

I forberedelsesfasen, på Figur 23, har VDC-koordinatoren ansvaret for at udvælge laserscanner samt vælge softwarepakker, som er egnet til bearbejdningen af punktskydata. Derudover skal der forberedes en bruger af scanningsudstyret samt software. Hertil fremskaffer projektlederen de nødvendige midler, som VDC-koordinatoren har vurderet hensigtsmæssige til formålet. Efter at udvalget af scanneren og de nødvendige programmer er fundet, og der er foretaget oplæring af VDC-koordinatoren, kan planlægningsfasen påbegyndes.

I planlægningsfasen har VDC-koordinatoren ansvaret for at udvikle en strategi for implementering af scanningerne. Dette involverer alt fra frekvensen af antal scanninger på byggepladsen til planlægning af ruter og afstande mellem scanninger. For at dette kan udarbejdes af VDC-koordinatoren, præciserer projektlederen relevante formål og krav til scanningerne og anvendelsen af punktskyer ved at være i kontakt med entreprisederen, rådgiveren og bygherren.

Efter planlægningsfasen kan scanningsfasen påbegyndes. Her udføres scanninger som planlagt, og samtidigt kan byggepladsen kontrolleres løbende under scanningerne. Hvis der fanges fejl eller uregelmæssigheder såsom konstruktionsfejl eller modelafvigelser eller mangel på sikkerhedsforanstaltning, kan disse meldes til projektlederen, som kan koordinere en handling med de relevante aktører.

Når scanningerne er blevet foretaget på byggepladsen, kan bearbejdsfasen påbegyndes. De indsamlede punktskyer blev overført til et bearbejdningsprogram, hvor punktskyerne blev behandlet for registrering, georeferering, punktoprydning, støjfiltrering og formateret til et egnet filformat. Herefter skal det nye system anvendes. Med Deep Learning algoritmer kan punktskyen segmenteres og dermed få objekt-klassificeringer, som gør punktskyen egnet til flere analyser. Punktskyen afspejler de scannede forhold, som kan holdes op imod forhold fra planlagt model og tidsplan. Det er tiltænkt, at det nye system skal være i stand til at foretage analyser for tidsstyring, arbejdsmiljø og kontrol af bygningsmodel. Analyserne kan videreformidles til de relevante aktører som vist i figuren.

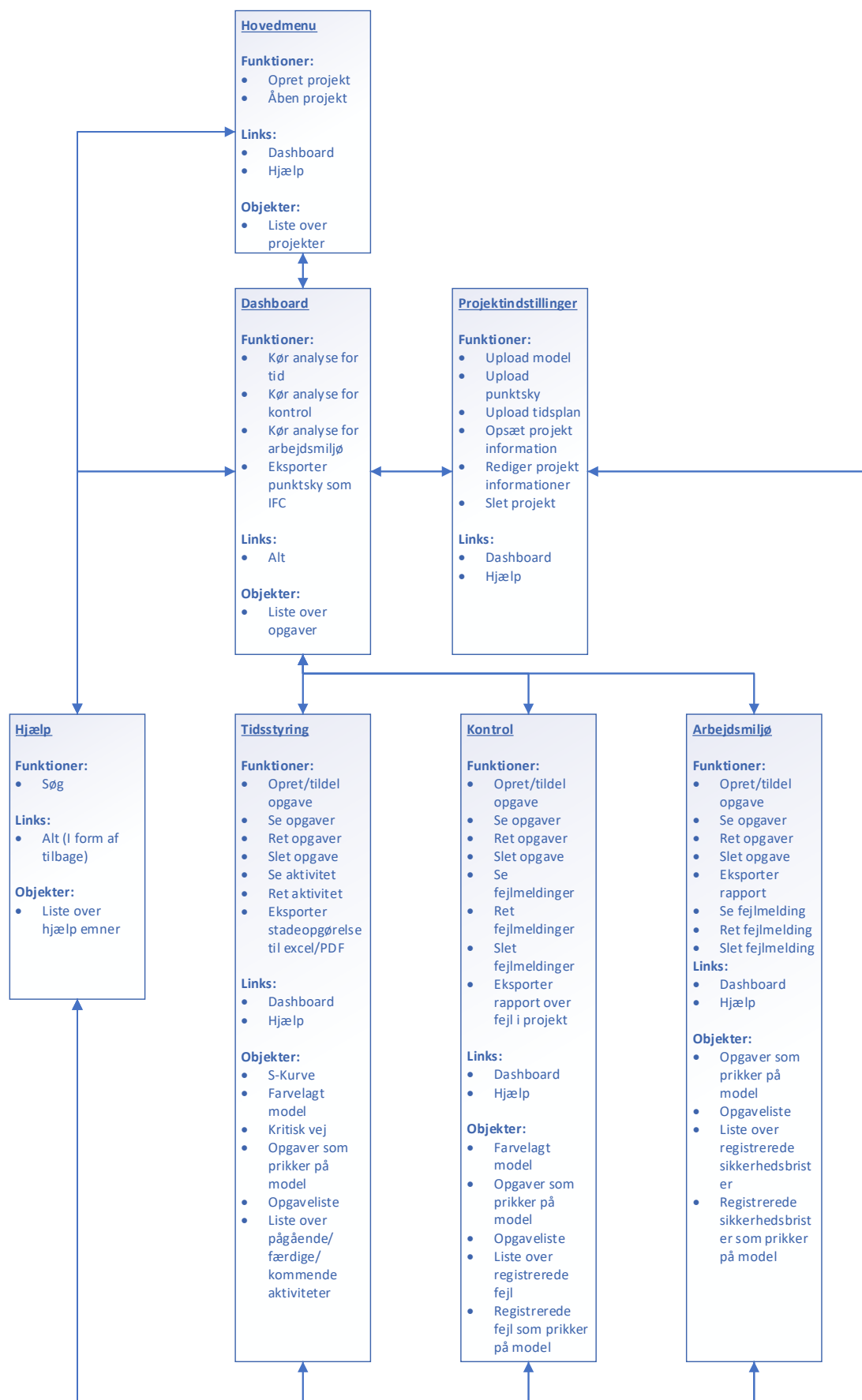
6 Udvikling af prototype

For at bearbejde de funktionskrav der blev fundet frem til, blev der udviklet en visuel prototype. Denne danner grundlaget for test og evaluering af løsningsforslaget.

6.1 Funktionskrav

I dette kapitel vil en arkitektur for løsningsforslagets udformning blive introduceret. Arkitekturen blev anvendt til udvikling af en prototype af løsningsforslaget, hvor funktionskravene, opstillet i User Environment Designet, blev anvendt som ramme for udviklingen.

Arkitekturen blev opbygget af forskellige "kasser", der er bundet sammen i et hierarki. I kasserne er beskrevet, hvad den specifikke del af designet indeholder. "Kasserne" er opbygget af en overskrift som hovedtema for denne del af designet, funktioner som bestemmer, hvad brugeren skal kunne gøre i denne del af designet, links som bestemmer, hvilke andre dele af designet denne "kasse" er linket til og objekter, som bestemmer, hvad brugeren skal se i denne del af designet. "Kasserne" er bundet sammen af pile, en pil der peger begge veje, illustrerer muligheden for at bevæge sig begge veje i systemet, der vil derudover også fremgå af "Links", hvilke andre "kasser", brugeren kan bevæge sig hen til.



Figur 24 - User Environment Design diagram

Det første brugeren møder er en *"Hovedmenu"*. Denne har til formål at give et overblik over igangværende projekter samt mulighed for at oprette et nyt projekt eller åbne et eksisterende. Hovedmenuen er linket til *"Dashboard"* og *"Hjælp"*.

Hvis brugeren vælger funktionen *"Hjælp"*, åbnes en ny *"kasse"*. Denne indeholder en søgefunktion til at søge efter det emne i systemet, der ønskes hjælp til. Derudover findes en liste over emner, der findes hjælp til. *"Hjælp"* er linket til alt i systemet og kan lukkes ned for at komme tilbage til tidligere visning.

Vælger brugeren funktionen *"Dashboard"*, åbnes styringsområdet for systemet. Her har brugeren funktioner til at køre en analyse for henholdsvis tid, kontrol og arbejdsmiljø. Disse analyser skal køres, før brugeren kan tilgå data omhandlende det valgte emne. Derudover kan den uploadede punktsky eksporteres til IFC. *"Dashboard"* er linket til alt andet i projektet, og brugeren har derfor mulighed for at bevæge sig videre i systemet alt efter, hvad brugeren har behov for herfra. Derudover findes en liste af åbne opgaver i projektet i *"Dashboard"*.

Fra *"Dashboard"* kan brugeren vælge at gå til *"Projektindstillinger"*. Her har brugeren mulighed for at uploade en model, uploade en punktsky, uploade en tidsplan, opsætte projekthinformationer, som for eksempel navn, bygherre, projekt-ID mv. samt redigere i disse projekthinformationer og slette projektet. For at analyserne i *"Dashboard"* kan køres er det nødvendigt, at brugeren har uploadet de relevante informationer, for at algoritmen for analysen kan udføres. Brugeren vil derfor blive mødt af en fejlbesked, hvis dette ikke er gjort og derpå blive henvist til den relevante upload-mulighed. Fra *"Projektindstillinger"* kan brugeren gå til *"Dashboard"* og til *"Hjælp"*.

Fra *"Dashboard"* har brugeren også mulighed for at tilgå *"Tidsstyring"*, *"Kontrol"* og *"Arbejdsmiljø"*. De linkes alle tre til *"Hjælp"* og *"Dashboard"*. Hver af disse faner giver brugeren mulighed for at arbejde med emnerne.

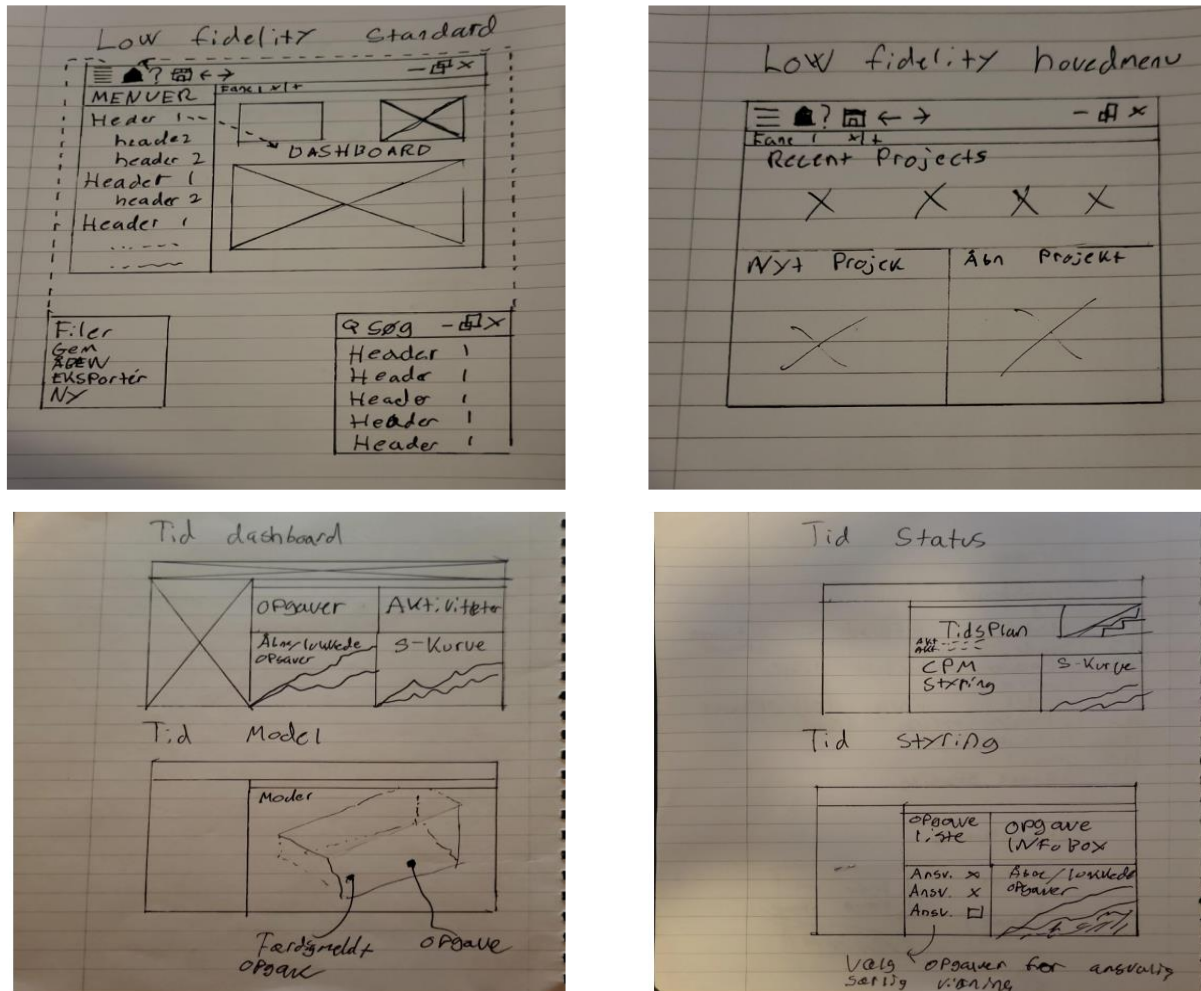
Under *"Tidsstyring"* finder brugeren funktionerne: Opret/tildel opgave. Her kan brugeren oprette en opgave ved fundne udfordringer i tidsplanen og tildele denne. Der er også mulighed for at se oprettede opgaver, redigere eller slette dem. Der er også mulighed for at se en bestemt aktivitet i tidsplanen og redigere den. Det kunne være relevant for brugeren, hvis systemet har registreret en udfordring i tidsplanen, som viser sig ikke at være en reel udfordring ved tilsyn på byggepladsen. Der er herudover også mulighed for at eksportere en stadeopgørelse til PDF/Excel filtyper, som kan anvendes til at opdatere staderegistreringer på styringsmøder. I *"Tidsstyring"*-fanen finder brugeren en S-kurve, en farvelagt model i rød, grøn, gul farver, bestemt ud fra om projektet følger tidsplanen. Derudover vises den kritiske vej, oprettede opgaver med lokation (som prikker på model), en opgaveliste over igangværende opgaver oprettet for tidsstyring og en liste over pågående, færdige og kommende aktiviteter.

Under *"Kontrol"* finder brugeren funktionerne, opret/tildel opgave. Her kan brugeren oprette en opgave ved fundne udfordringer i forbindelse med kontrollen og tildele den oprettede opgave. Der er også mulighed for at se oprettede opgaver, redigere eller slette dem. Der er mulighed for at se fejlmeldinger fundet i kontrollen, samt slette og redigere dem. Derudover kan en rapport over fejl i projektet eksporteres. Brugeren vil i fanen *"Kontrol"* se en farvelagt model i rød, grøn, gul farver, bestemt ud fra hvor stor en afvigelse fra det planlagte, det byggede har. Derudover findes oprettede opgaver som prikker placeret på lokationen for opgaven. En opgaveliste, en liste over registrerede fejl og de registrerede fejl findes også som prikker på modellen med lokationen for fejlen.

Under "*Arbejdsmiljø*" fanen, finder brugeren funktionerne, opret/tildel opgave. Her kan brugeren oprette en opgave ved fundne udfordringer, i forbindelse med arbejdsmiljøudfordringer og tildele den oprettede opgave, til relevante aktører. Der er også mulighed for at se oprettede opgaver, redigere eller slette dem. Derudover har brugeren mulighed for at eksportere en rapport over fundne arbejdsmiljøudfordringer. Denne rapport indeholder fejlmeldinger i forhold til arbejdsmiljø og oprettede samt færdigmeldte opgaver. Brugeren kan se fejlmeldinger, redigere og slette dem. Brugeren finder en model i denne fane, som indeholder opgaver fordelt som prikker på denne, en opgaveliste, en liste over registrerede sikkerhedsbrister. Disse registrerede sikkerhedsbrister findes også som prikker på modellen.

6.2 Low-Fidelity prototype

Før udviklingen af prototypen startede, blev ønsker til en brugerflade skitseret på papir. Dette blev gjort for at danne et grundlag for opbygningen af en reel prototype, der kunne blive anvendt til brugertest og den fortsatte iterative proces.



Figur 25 - Skitser af brugerflade

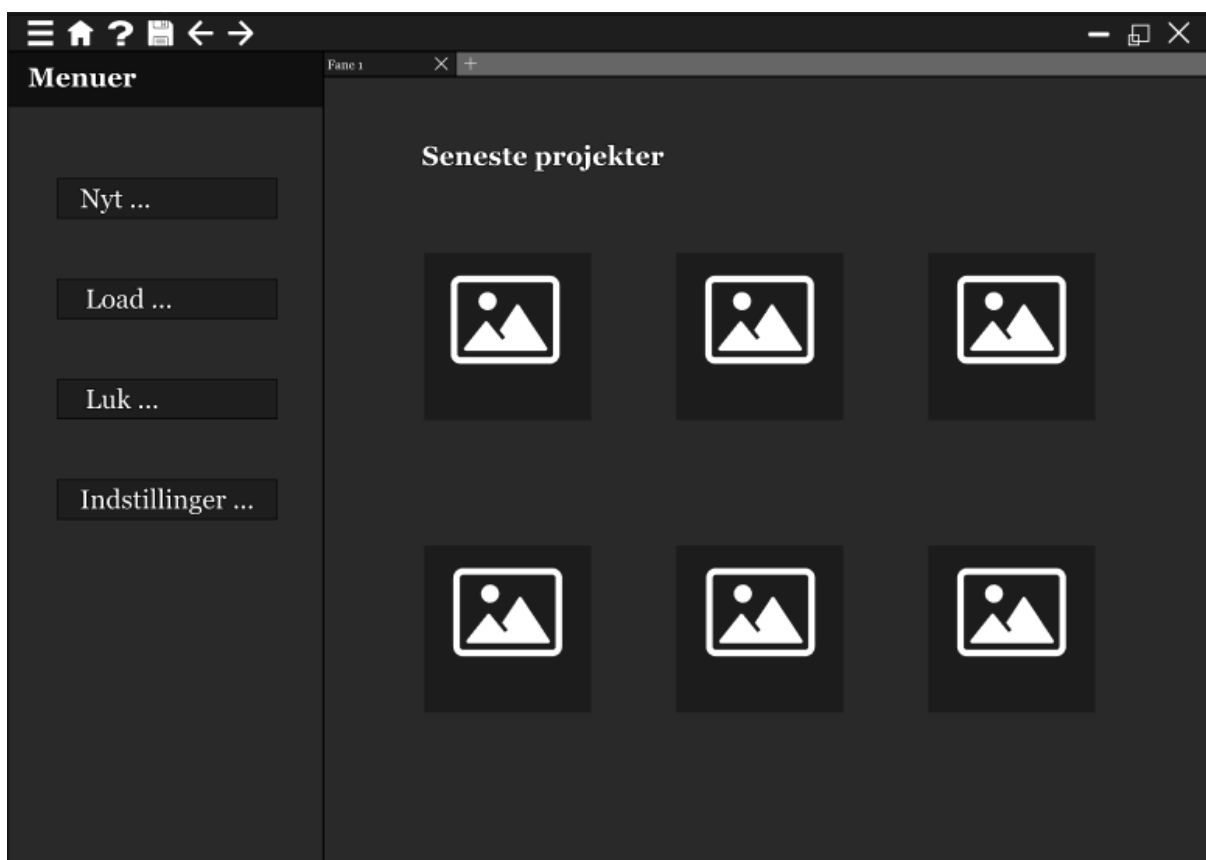
Figur 25 illustrerer de indledende tanker og idéer til brugerfladen som skitseform. Systemet skal sættes op med en værktøjslinje i toppen, som er kendt fra mange andre programmer. I venstre side, vil være en fane med de forskellige overskrifter. Ved at trykke her ledes brugeren hen til et dashboard, der indeholder informationer relateret til overskriften. Dette ses i øvre venstre hjørne på Figur 25. Til højre for menufanen findes selve dashboardet for de forskellige funktioner i systemet. Visningen, når programmet åbner, vil være anderledes. Her har brugeren et overblik over de seneste projekter, der har været åbnet samt mulighed for at åbne et projekt eller starte et nyt projekt.

6.3 Prototype

På baggrund af forslagene i kapitel 5 og funktionerne i kapitel 6.1, blev der opbygget en prototype. Dette blev gjort i programmet Figma, hvor de forskellige visninger blev opbygget enkeltvis og efterfølgende linket sammen for at give brugeren en oplevelse af, hvordan programmet vil fungere. I kapitlet vil hver del af den opstillede prototype blive beskrevet for at give en forklaring af de bagvedliggende tanker om hvordan prototypen fungerer.

Til udvikling af prototypen blev en række ikoner fra (Noun Project Inc., 2010) benyttet, referencer til disse vil fremgå i (Bilag 4).

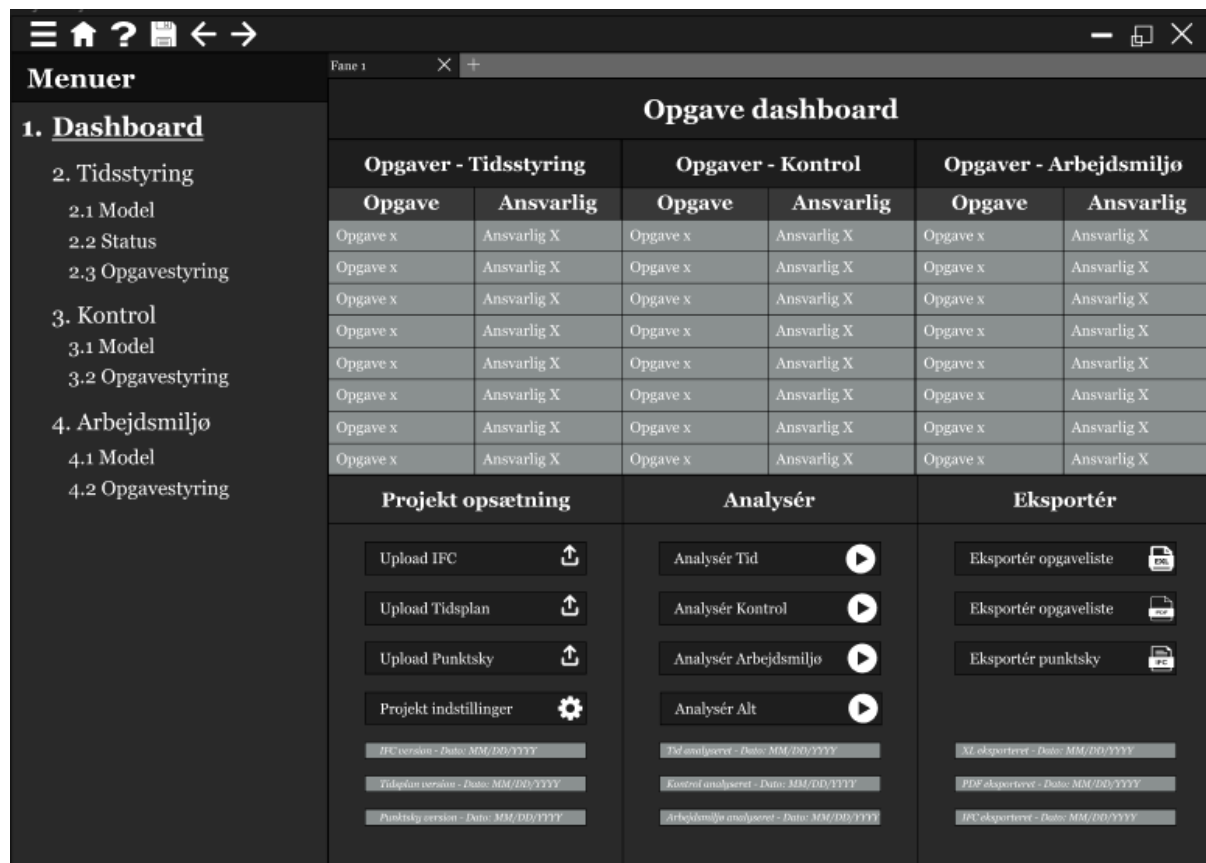
Prototypen er tilgængelig ved at trykke på dette forkortede link: [Prototype](#) - Det fulde link kan findes i (Bilag 5).



Figur 26 - Åbningsview

Figur 26 er den første visning brugeren introduceres for, ved åbning af programmet. En standard for alle views er værktøjslinjen i toppen samt fanestyringen. Dette vil gå igen på de kommende figurer.

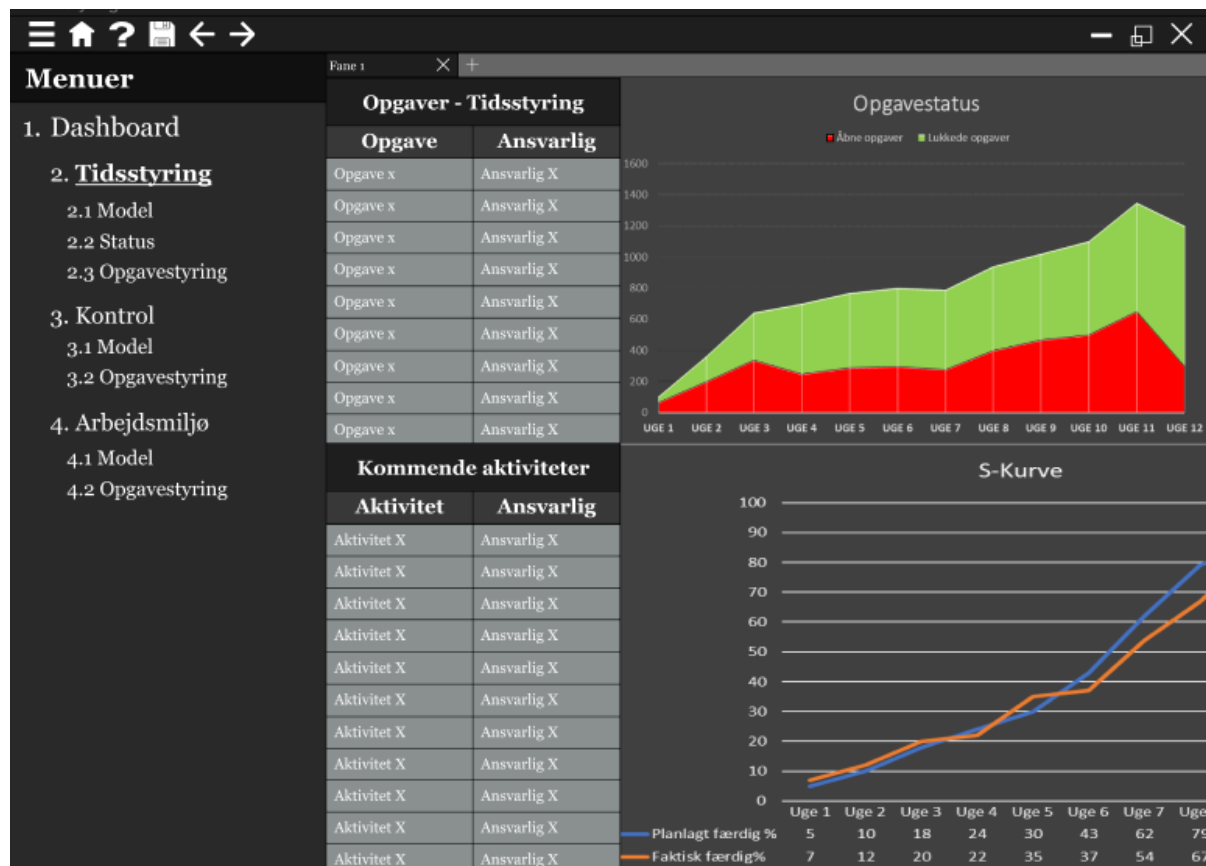
I denne menu har brugeren mulighed for at åbne seneste projekter ved at klikke på kasserne under "Seneste projekter". Derudover har brugeren mulighed for at starte et nyt projekt, åbne et projekt, lukke programmet og åbne indstillinger for programmet i menu fanen til venstre.



Figur 27 - Dashboard

Figur 27 er visningen, brugeren bliver introduceret for, som det første når et projekt åbnes. Her findes et overblik over de forskellige åbne opgaver for de tre temaer, der arbejdes med i programmet. Det er også her, der er mulighed for at uploade og analysere den nødvendige data, for at programmet kan anvendes. Når der trykkes på en af upload-knapperne, har brugeren mulighed for at vælge en fil til at uploade i programmet. Efterfølgende har brugeren mulighed for at anvende en af analysér-knapperne til at køre de bagvedliggende algoritmer, som tjekker om der for eksempel er fejl i byggeriet ud fra punktskyen kontra modellen. Der er også mulighed for at eksportere data, som for eksempel opgavelisten eller punktskyen. Derudover vises et overblik i bunden over, hvornår en funktion sidst er udført.

I venstre side findes en fane, som brugeren kan anvende til at navigere rundt i systemet. Herfra kan brugeren bevæge sig rundt i alle de forskellige menuer, der eksisterer i programmet, og denne fane vil være gennemgående for alle menuerne.

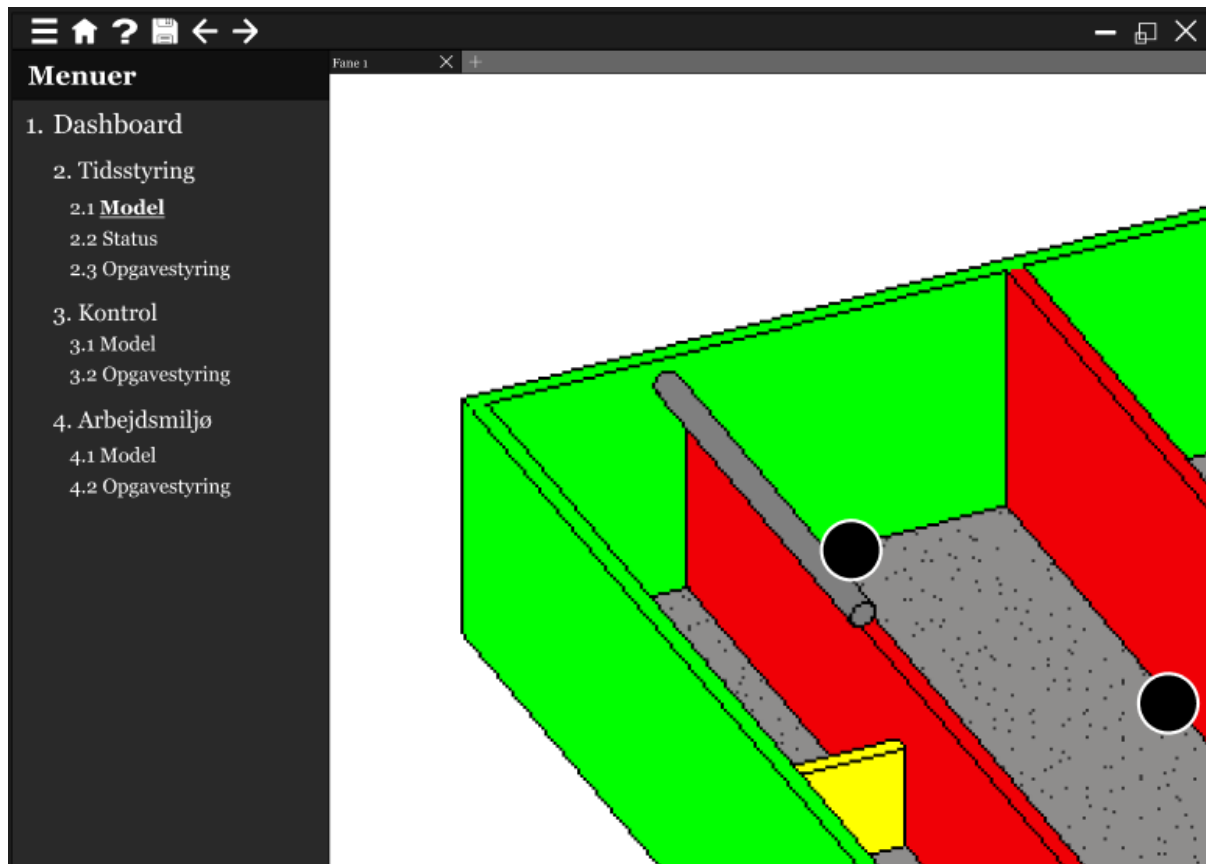


Figur 28 - Tidsstyring

I Figur 28 vises hovedmenuen for tidsstyringen i programmet. Formålet med denne menu er at danne et overblik over status i projektet.

Her findes en opgaveliste og et diagram over lukkede og åbne opgaver. De kommende aktiviteter i tidsplanen vises ligeledes på en liste, og S-kurven vises også her for at danne et visuelt overblik for, om tidsplanen for projektet følges.

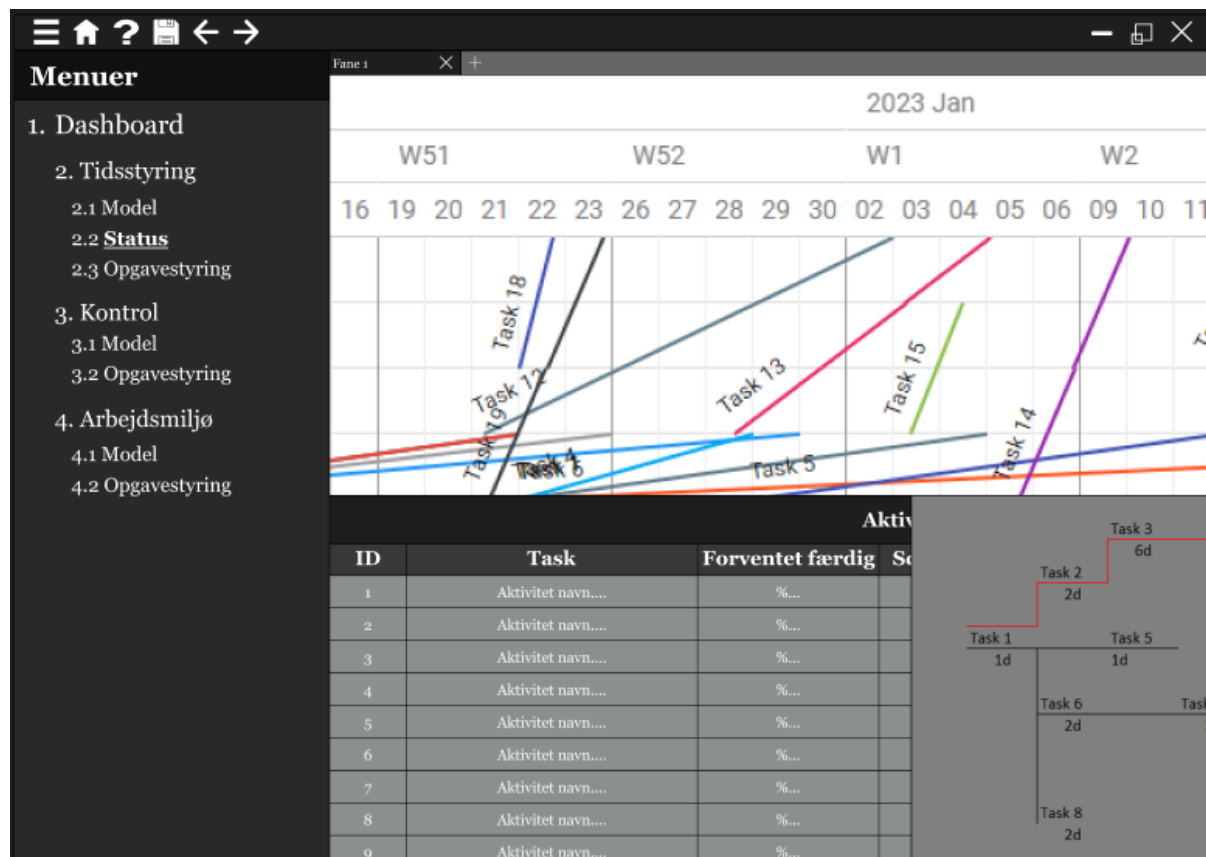
Opsætningen for hovedmenuen for tidsstyring, er næsten identiske med opsætningen af menuerne "Kontrol" og "Arbejdsmiljø". Disse vil derfor ikke fremgå af dette kapitel, men kan ses i prototypen, eller i (Bilag 5). Dog er der et par forskelle, der er værd at nævne. S-kurven, der har tid som parameter, har naturligvis ikke noget at gøre inden for de to andre temaer, og denne er derfor erstattet af en plantegning med et overblik over zoner, som i "model" menuerne, findes opgaver og fejlmeldinger, som er fremgået af scanningerne på byggepladsen. Dertil er "kommende aktiviteter" også erstattet af en liste over netop disse fejlmeldinger og hvilken zone de er placeret i.



Figur 29 - Model under Tidsstyring

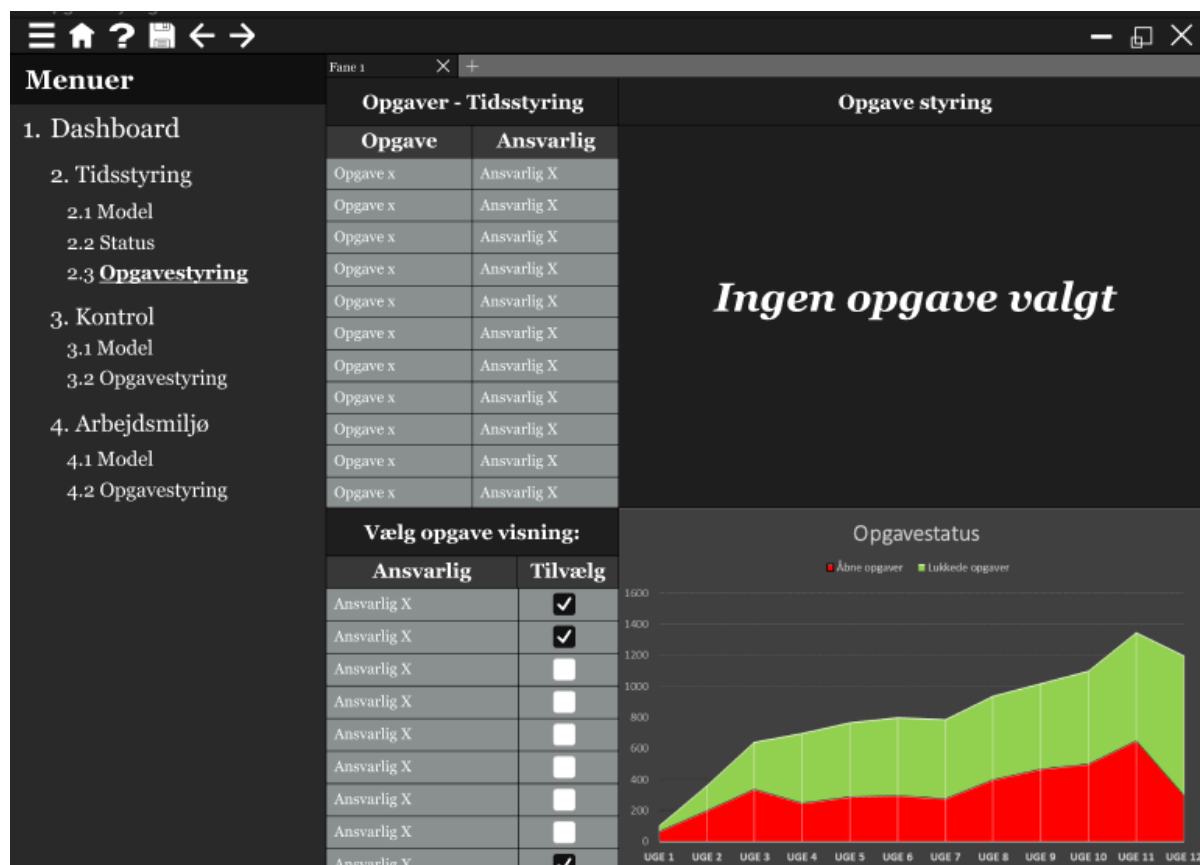
I Figur 29 vises model-menuen for tidsstyringen. Her findes den uploadede punktsky af det byggede projekt med mulighed for at trække rundt i modellen, for at se hele byggeriet. Det er også tiltænkt, at der skal kunne vælges enkelte dele, og isolere eller skjule dem. Der skal også være en sektionsboks for at styre, hvor meget af projektet brugeren kan se. I modellen fremgår opgaver som prikker, som brugeren ved et klik kan åbne og finde yderligere information om. Det er intentionen, at brugeren også selv kan oprette opgaver ved at trykke et vilkårligt sted i modellen, uden en opgave, i modellen.

Modellen for tidsstyring indeholder kun opgaver inden for temaet, tidsstyring. Men i de andre menuer hvor modellen indgår (Arbejdsmiljø og Opgavestyring), er der principielt den samme visning. Her er blot tilføjet opgaver for henholdsvis arbejdsmiljø og opgavestyring. Derfor vil disse ikke fremgå af denne rapport, men kan ses i (Bilag 5) eller i linket til prototypen, som fremgår i starten af dette kapitel.



Figur 30 - Status under Tidsstyring

I Figur 30 ses status i tidsstyringsmenuen. Her vil brugeren finde data uploadet fra tidsplanen. Der vises et cyklogram. Tanken er, at det skal være interaktivt og linket til tidsplansprogrammet, der anvendes (For eksempel Schedule Planner/Tactplan), så der er et samspil mellem dette program og det benyttede tidsstyringsprogram for projektet. Der findes også en liste af aktiviteter, hvor der vises en forventet færdig-procentsats, og en scannet færdig-procentsats. Dette giver mulighed for at se, hvor der er udfordringer i forhold til at få projektet færdigt til tiden. Derudover er tanken, at der vises en kritisk vej, som opdateres løbende, når uploadede punktskyer, analyseres. Dermed har brugeren altid et overblik over, hvor det er mest hensigtsmæssigt at gribe ind, hvis tidsplanen skrider.



Figur 31 - Opgavestyring under Tidsstyring

Figur 31 anvendes til opgavestyring. Her kan opgaver tilrettes, afsluttes eller fjernes, men også tildeles til en ansvarlig der skal udføre den valgte opgave. Der er også mulighed for at vælge, hvilke ansvarlige opgaverne skal vises for, samt et diagram for udvalgte ansvarliges opgavemængder, der er lukket/åbne.

I opgavestyring for arbejdsmiljø og kontrol er visningen principielt den samme som denne visning, men selve opgavestatusdiagrammet er udskiftet med en liste over scannede "fejl", som kan tildeles som opgave til en ansvarlig eller redigeres.

Derfor vil disse ikke fremgå af denne rapport, men kan ses i (Bilag 5) eller i linket til prototypen, som fremgår i starten af dette kapitel.

6.4 Brugbarhedstest

Efter at prototypen var udviklet, blev prototypen testet for brugbarhed (se (Bilag 6)). Testen var struktureret som en Remote and Unmoderated Usability test, ifølge (Carroll and Hertzum, 2020). Formålet med at teste for brugbarhed var at evaluere, enkeltheden ved at anvende produktet og identificere eventuelle funktions- eller designproblemer. Testning af prototyper udføres ofte tidligt i udviklingsprocessen, før et produkt frigives for at identificere og løse eventuelle problemer (Holtzblatt and Beyer, 2017). Ved at udføre testen på en prototype kan der indsamles værdifuld indsigt i, hvordan brugerne interagerer med produktet, hvilket kan hjælpe med at forbedre den samlede brugeroplevelse. Brugbarhedstesten blev udført af tre testpersoner, som i det følgende kapitel vil være identificeret som Testperson 1, 2 og 3.

6.4.1 Teststruktur

Testen blev udført af tre studerende på studiet Byggeledelse og Bygningsinformatik. Disse testpersoner blev udvalgt på baggrund af deres kendskab til byggebranchen og viden om projektstyring. Testpersonernes besvarelse af testen kan ses i (Bilag 6).

Til testning af prototypen var der udarbejdet et vejledende dokument, som indeholdt en introduktion, formål for testen, instruktioner til anvendelsen af prototypen og selve testen, efterfulgt af et evalueringsskema. Opgaverne var suppleret med vejledning, som beskrev trinvis hvordan opgaven skulle udføres. Opgaver var struktureret således:

"Opret opgave og eksportér en opgaveliste som PDF for et nyt projekt.

1. *Opret et nyt projekt.*
2. *Upload IFC, Tidsplan og Punktsky, fra Dashboard.*
3. *Tilføj projekt navn og ID under Projekt indstillinger.*
4. *Analysér tid, fra Dashboard.*
5. *Opret en opgave samt tilskriv den ansvarlige for opgaven i 2.3 Opgavestyring.*
6. *Eksportér opgaveliste som PDF, fra Dashboard.*

Kontroller igangværende opgaver og arbejdsmiljø-risiko i modellen for et allerede eksisterende projekt.

1. *Load eller vælg et af de seneste projekter.*
2. *Analysér arbejdsmiljø fra Dashboard.*
3. *Tjek igangværende opgaver ud i modellen under 4.1 Model.*
4. *Tjek for arbejdsmiljø-risiko i modellen under 4.1 Model." (Bilag 6)*

Opgaverne simulerede virkelige anvendelsesscenarier for testpersonerne, og de supplerende hjælpetrin skulle tilsikre, at flere af funktionerne blev afprøvet.

Efter testpersonerne havde udført testene, skulle de udfylde et spørgeskema. Det anbefales i metoden (Carroll and Hertzum, 2020) at anvende System Usability Scale (SUS) (Brooke, 1996). SUS er et Likert-skala baseret spørgeskema med ti udsagn. SUS spørgeskemaet kan også ses i (Bilag 6).

I spørgeskemaet blev testpersonerne bedt om at bedømme på en skala fra 1 til 5, hvor 1 er "meget uenig" og 5 er "meget enig". SUS gør brug af ti foruddefinerede udsagn. Udsagnene er designet til at vurdere testpersonernes samlede tilfredshed med systemet, samt specifikke aspekter af dets brugbarhed såsom indlæringssevne, effektivitet og kompleksitet. De ti udsagn i spørgeskemaet er beskrevet i Tabel 2.

System Usability Scale (SUS)	
1.	Jeg vil gerne bruge dette system ofte.
2.	Jeg fandt systemet unødvendigt komplekst.
3.	Jeg synes, at systemet var nemt at bruge.
4.	Jeg tror, at jeg ville have brug for støtte fra en teknisk person for at kunne bruge dette system.
5.	Jeg fandt, at de forskellige funktioner i dette system er godt integreret.
6.	Jeg syntes, der var for meget inkonsistens i dette system.
7.	Jeg kunne forestille mig, at de fleste mennesker vil lære at bruge dette system meget hurtigt.
8.	Jeg fandt dette system meget besværligt at bruge.
9.	Jeg følte mig meget sikker på at bruge systemet.
10.	Jeg skulle lære en masse ting, før jeg kunne komme i gang med dette system.

Tabel 2 - SUS' 10 udsagn

Svarene på de ti udsagn blev derefter anvendt til at beregne en sammensat score. For at beregne SUS-scoren blev hvert spørgsmål analyseret. For spørgsmål med ulige numre bedømmes en score ved at tage den givne bedømmelse minus 1. For eksempel vil scoren være 4, hvis spørgsmål 1 angives som 5, meget enig. For spørgsmål med lige numre, bedømmes en score ved at tage den givne bedømmelse minus 5. Så lægges de ti bedømmelser sammen, og summen ganges med 2,5. Den resulterende SUS-score er et tal mellem 0 og 100. En score på 70 anses for at være acceptabelt, hvor en score på 80 anses for at være god, og en score på 90 anses som værende exceptionel. En score under 70 kan indikere, at systemet kan drage fordel af yderligere forbedringer af brugbarhed (Bangor et al., 2009; Brooke, 1996).

Udover de ti udsagn, var der et felt, som gav testpersonerne mulighed for at beskrive med egne ord, hvilke ændringer de fandt nødvendige eller ønskede til prototypen.

6.4.2 Testresultater

Testresultaterne viste, at der var store uenigheder om prototypens brugbarhed. SUS-resultaterne kan ses i (Bilag 6). Testperson 1's besvarelse fik en SUS-score på 97,5, hvilket blev betragtet som exceptionelt. Testperson 1 beskrev, at det var en god måde at skabe oversigt over et projekt. Der blev dog beskrevet, at der savnes nogle funktioner. Som illustreret på Figur 300, kan det ses, at flere vinduer var åbnet. Testperson 1 savnede funktioner, som tillod lukning af vinduerne. Derudover var der et ønske om funktioner, som tillader, at man kan lave sine egne faner. For eksempel at man kan lave en ny fane under hovedfanen "2. Tidsstyring". At have "1. Dashboard" som en hovedfane, finder Testperson unødvendigt, hertil tilbagemeldte Testperson 1: *"1. Dashboard" er projektopsætning, som man måske kun har brug for at bruge en gang og derved lidt unødvendig at vise på "1. Dashboard" og måske en knap til at Reloade alle filerne, hvis de er blevet ændret.*" (Bilag 6)

Testperson 2's besvarelser har fået en score mellem 27,5 og 37,5. Scoren var varierende, fordi der var blevet angivet flere kryds på samme spørgsmål. Dette var tilfældet for spørgsmål 1, 2 og 6. Af denne grund var der udregnet en SUS-score for det værste tilfælde og det bedste tilfælde, hvori scorerne, 27,5 og 37,5 fremkom. Begge scorer kunne betragtes, som at brugbarheden af prototypen var uacceptabel. Testperson 2 besvarede spørgsmål 1 med svarmulighederne 2, 3 og 4. Dette tyder på, at testpersonen havde en uvished om formålet med anvendelsen af prototypen. Testperson 2 fandt systemet svært at bruge. Dette kommer til udtryk gennem udsagn 2, 3 og 4. Testperson 2 var enig i udsagnet "Jeg fandt systemet unødvendigt komplekst" og var uenig med udsagnet "Jeg synes systemet var nemt at bruge" og følte sig stærkt enig med udsagnet "Jeg tror, at jeg ville have brug for

støtte fra en teknisk person for at kunne bruge dette system.” Derudover fandt Testperson 2 sig uenig med udsagn, 5, 6 og 7, hvilket indikerer, at funktionerne ikke oplevedes velintegrerede, og at der var mangel på konsistens i systemet, samt at systemet vil være svært for folk at anvende og lære. Testperson 2 kommenter følgende:

”Jeg ville gerne have mulighed for at navngive ansvarspersoner, opgaver osv. Ville være fedt at kunne skifte imellem flere visninger i tidsplanen, for eksempel også at se gantt diagram. Klikke direkte på andre opgaver i opgavestyring, så det ikke er nødvendigt først at lukke den man kigger på før man kan klikke på en anden.” (Bilag 6)

Testperson 2 ønskede at funktionen skulle kunne skifte imellem flere visninger. Testperson 1 ønskede en lignende funktion i forhold til at kunne åbne flere vinduer i programmet. Testperson 2 ville gerne have et mere interaktivt system, såsom at kunne skrive i prototypen, men dette var ikke muligt for den version af prototypen, der blev testet.

Testperson 3's besvarelse havde en SUS-score på 77,5, hvilket blev betragtet som acceptabelt for brugbarhed. Testperson 3 fandt sig meget uenig med udsagnene, ”Jeg tror, at jeg ville have brug for støtte fra en teknisk person for at kunne bruge dette system”, og ”Jeg fandt dette system meget besværligt at bruge”. Dette indikerer at Testperson 3 ikke havde nogle besværligheder med at navigere i systemet ved testningen af prototypen. Testperson 3, kommenterede dog, at systemet mangler en vigtig funktion, for at systemet kan blive implementeret i byggebranchen. Der blev nævnt følgende: *”Hvis systemet kommer til at være for afhængig af manuel indtastning, så vil det ikke blive anvendt. Så jo mere automatisering der kan indbygges desto bedre. Automatisk lokationsregistrering kunne være et eksempel”* (Bilag 6). Som Testperson 3 nævnte, skal systemet være uafhængig af manuelle indtastninger, hvilket også var tanken med systemet. Ved at importere data ind, såsom bygningsmodeller, tidsplaner og punktskydata, skal systemet indhente data og dermed automatisk udfylde de tilgængelige informationer.

Samlet set på de tre besvarelser har der været en meget blandet oplevelse af prototypen. For at skabe et samlet billede af de tre besvarelser blev et gennemsnit for SUS-scorerne beregnet. Grundet Testperson 2's varierende svar, blev der beregnet et gennemsnit minimum og maksimum, som lå på henholdsvis 67.5 og 70.83. Ved at forholde sig til det maksimale gennemsnit på 70,83, kan prototypen betragtes som brugbar, men for at tage højde for alle udfaldsrum i testene, blev det minimale gennemsnit antaget som konklusion på testningen. Det kan vurderes, at prototypen skal videreudvikles og inddrage nogle af de ønskede funktioner, før næste brugertest kan blive udført.

7 Diskussion

I dette kapitel introduceres en diskussion af analysernes resultater ud fra indsamlede i litteraturstudiet i kapitel 3 og den empiriske dataanalyse i kapitel 4. Kapitlet er delt op i fem underkapitler.

7.1 Behandling af punktskydata

Gennem de seneste år, er punktskyer blevet en større integreret del af byggebranchen og hjælper for eksempel byggeledelsen og projektledelsen med at dokumentere forskellige processer, viste et studie af (Wang and Kim, 2019). Afvigelser fra det byggede til det planlagte kan registreres ved at anvende punktskydata. En sammenligning af de scannede forhold med de planlagte forhold kan vise hvilke afvigelser, der er, og gøre ledelsen af projektet opmærksom på udfordringerne. Dette blev i et studie af (Bosche and Haas, 2008) undersøgt, de kaldte begrebet "Scan-to-BIM".

Forskning udført af (Wang and Kim, 2019; Wu et al., 2022) viste, at det er muligt at øge anvendelsen af punktskyerne og den data, som ligger heri, ved at strukturere den. Derfor skal denne data omdannes til noget, som er mere håndterbart end en masse punkter, og netop bearbejdelsen af denne proces er et stort arbejde, hvor forskning har fokuseret på denne proces (Braun et al., 2020; Mirzaei et al., 2022; Moon et al., 2019; Wang et al., 2022). Håndteringen af denne datamængde ville være upraktisk som en manuel proces, og det er derfor essentielt, at denne proces foregår automatisk.

Efter punktskyen er blevet behandlet, er resultatet en 3D-model, der repræsenterer de scannede forhold. Denne punktsky 3D-model kan sammenlignes op mod 3D-model-projekteringsgrundlaget for byggeprojektet. Denne proces kan foregå manuelt, hvor man systematisk gennemgår og analyserer efter forskellige parametre, der er opstillet. For eksempel kunne det være gennemgang af ventilation på et større byggeri, som skulle tjekke alle deres rørføringer, om de er placeret som projekteret. Denne proces ville forventeligt være besværlig og tidskrævende, med risiko for at der kunne blive overset noget. Processen kunne automatiseres ved at anvende et stykke software til at holde disse to modeller op imod hinanden og belyse de steder, hvor model og virkelighed ikke stemmer overens. Der kan man manuelt afdække, om det er en scanningsfejl, eller om der er sket en ændring på byggepladsen, samt hvorfor fejlen er opstået.

Der kan være forskellige holdninger til manuel og automatisk behandling af den indsamlede data. Der er projektledere, som mener, at det vil gavne de forskellige medarbejdere at arbejde konkret med modellerne for at opnå et unikt kendskab til bygningen. Analysen af casestudiet i kapitel 4 viste, at aktøren, der behandlede modellen manuelt, fik et enormt kendskab til byggeprojektet, men det krævede også utrolig lang tid at sætte sig ind i projektet og holde sig opdateret. Der kan derfor være en stor tidsmæssig besparelse ved at få mulighed for at automatisere denne gennemgang af projektet. Samtidig kan der gå en viden tabt, når den menneskelige gennemgang forsvinder. Det kan have sine fordele og ulemper, men hvis datakvaliteten er tilstrækkeligt høj, og Deep Learning algoritmer er tilstrækkeligt gode, vil de formentlig kunne opfange de fleste udfordringer i den indsamlede punktskydata.

Men denne databehandling kræver, at grundlaget for dataindsamlingen er god nok.

7.2 Indsamling af punktskydata

Analyserne af casestudiet i kapitel 4 viste, at der blev anvendt to former for scanningsmetoder til indsamlingen af punktskydata. Disse to scanningsmetoder var MLS og TLS, som resulterede i to forskellige datakvaliteter. Analyserne viste, at datakvaliteten er et afgørende forhold, uanset om den indsamlede data skal anvendes til Deep Learning eller manuel håndtering.

Den punktskydata, der blev indsamlet med MLS, blev anvendt til programmet Buildots. Det kom til udtryk i analyserne af casestudiet, at præcisionen af MLS ikke var acceptabel. Her var oplevelsen, at den ikke fangede de fejl, der opstod, når der blev sammenholdt mellem bygningsmodel og punktsky. Men det blev ikke oplevet som den største udfordring med MLS. Det var derimod udfordringen med at scanne i Z-aksen: *"[...] de 360 kameraer, det er at Z koordinaten det noget lort, for at sige det som det er, den kan ikke den kan sgu ikke registrere Z koordinater ordentligt altså X, Y Det er ikke noget problem [...]"* (Bilag 2). Disse forklaringer er modstridende. På den ene side blev det beskrevet, at præcisionen på 5 cm ikke var acceptabel. Det blev også beskrevet, at det blot var Z-aksen, der var en udfordring: *"en stikkontakt der sidder i forhold til, hvis man sidder her eller her, det kan den godt finde ud af, man at se om det der er 2 meter op, det der problemstillingen ligger i 360 graders kamera i dag."* (Bilag 2). Dette understøtter påstanden om, at X- og Y-akserne fungerede, og at det blot var Z-aksen, der gav udfordringer. Uanset akse blev det beskrevet, at præcisionen var på 5 cm, hvilket er væsentligt over toleranceniveau. Buildots var ikke i stand til at registrere, om objekter var placeret 5 cm forkert i forhold til det planlagte, ud fra den data de bearbejdede.

Den TLS der blev anvendt i casestudiet, havde en præcision på ned til 4 mm. Dette er i overensstemmelse med undersøgelserne udført af (Moon et al., 2019). Den anvendte TLS i casestudiet var en nyere model, end den der blev undersøgt af (Moon et al., 2019), men det antages at den nyere version kunne producere mindst lige så høj datakvalitet som sin forgænger.

Analysen af casestudiet viste, at det tog ca. 4 minutter per opstilling med TLS, hvor MLS blot krævede, at brugeren gik en tur rundt på byggepladsen. Til sammenligning viste et studie, at forskellen i tidsforbruget, for at udføre scanninger med henholdsvis MLS og TLS, tog op til 4 timer for en TLS, og maksimalt 10 minutter for en MLS for det samme område (Lehtola et al., 2017). Det bekræfter at der er en væsentlig forskel i tidsforbruget for scanningerne.

Studie af (Lehtola et al., 2017) viste derudover, at der i byggebranchen har været udfordringer med MLS. Disse scanninger anvender GNSS-positionering, hvilket har været udfordrende, da GPS-signalerne kan blive blokeret af omkringliggende bygningsdele. Udfordringerne med GNSS-positionering kan blive løst, viste et studie af (Ellmann et al., 2021) ved at benytte SLAM teknologien. Her kortlægges ruten for scanneren, samtidig med at der scannes, hvilket åbner muligheden for brugen af MLS indenfor i byggeriet.

For at kunne anvende Deep-Learning, skal punktskyen være i en bestemt datakvalitet. Analyserne af casestudiet i kapitel 4 viste at den MLS der blev anvendt, ikke kunne leve op til kravene til datakvalitet. Den anvendte TLS i casestudiet, ville kunne levere en tilstrækkelig datakvalitet.

Datakvaliteten var dårligere i MLS, herunder også SLAM teknologien, viste studie af (Ellmann et al., 2021). Forskningen beskrev dog ikke hvornår datakvaliteten var acceptabel til brug i Deep Learning. Her kunne branchespecifikationer eller standarder, der definerer hvilken datakvalitet, der er nødvendig til hvilket formål, give mening til udvælgelse af scanningsmetode.

7.3 Anvendelsesområder

Analysen af casestudiet i kapitel 4, viste, at anvendelsen af punktskydata kunne blive forbedret ved at overveje at udvide anvendelsesområdet for den indsamlede data. Den indsamlede datakvalitet med TLS havde en præcision på 5 mm, men blev ikke anvendt i et betydeligt omfang, selvom der er potentiale for at få et større udbytte af denne indsamlede data. Studier udført af (Wang and Kim, 2019; Wu et al., 2022) viste, at der er et uforløst potentiale i arbejdet med punktskydata. Studiet viste, at der var en mulig værdiskabelse ved at segmentere punktskyen.

Analysen af casestudiet i kapitel 4 viste også, at respondenterne selv mente, at der var mulighed, for at udnytte den indsamlede data til mere og kom med forslaget: *"Og den data som der ligger i alle videooptagelserne kunne man jo godt køre igennem AI som der netop kunne poppe op med nogle områder, helt automatisk."* (Bilag 2). I citatet blev der refereret til anvendelsen af MLS-dataindsamlingen, som har en mangelfuld datakvalitet. Studierne (Dong et al., 2020; Liu et al., 2021; Maté-González et al., 2022; Rebolj et al., 2017) viser, at dette kan resultere i udfordringer med behandlingen af denne data med Deep Learning.

Anvendelsen af den indsamlede data fra MLS ville måske kunne blive anvendt til automatisk billedgenkendelse, for at registrere om folk på byggepladsen er iført hjelm. Men hvis Deep Learning skal anvendes til automatisk behandling og registrering af andre udfordringer med arbejdsmiljø, vil det formentlig være nødvendigt med en væsentligt bedre datakvalitet. Den lave datakvalitet fra indsamlingen med en MLS ville for eksempel ikke være i stand til at registrere støv, som også blev nævnt i casestudiet som et fokuspunkt for arbejdsmiljø, ved case virksomheden. Hvis ikke datakvaliteten er acceptabel til automatisk behandling med Deep Learning, kunne manuel behandling være et alternativ, hvor den indsamlede data undersøges manuelt, for at tjekke for støv, rod, hjelme eller andet. Men i test og evaluering af prototypen i kapitel 6.4, lød en tilbagemelding på, at det var vigtigt, at det kunne automatiseres, ellers ville det ikke blive anvendt. Derfor er det nødvendigt at sikre en datakvalitet, som kan behandles med Deep Learning. Dette kan gøres ved at anvende TLS til dataindsamling. Studierne (Braun et al., 2020; Mirzaei et al., 2022; Moon et al., 2019; Wang et al., 2022) viser, at automatisk databehandling kan lade sig gøre med den kvalitet, TLS kan producere.

Dataindsamlingen med TLS, er dog tidskrævende, men kan der findes flere anvendelsesmuligheder, end det analyserne i casestudiet 4 fandt frem til, kunne dette måske være værdiskabende for den danske byggebranche, ved at sikre et bedre arbejdsmiljø og projekter der lettere kan blive styret.

7.4 Branchestandard

Et studie udført af (Sepasgozar et al., 2018) viste, at der er mange forskellige muligheder for scannere af forskellige kvaliteter, og det kan dermed være besværligt at finde ud af, hvilken scanner der passer til hvilket formål. Analysen af casestudiet i kapitel 4 viste også, at der blev anvendt forskellige metoder til både dataindsamling og behandling, hvilket bekræfter det (Sepasgozar et al., 2018) fandt i studiet.

Der er en udvikling i byggebranchen, og branchen er ved at modnes til at anvende forskellige teknologier og muligheder til at løse de udfordringer, der opstår. I de senere år har byggebranchen været mere villige til at adaptere nye løsninger, for eksempel AI, viste et studie at (Wang et al., 2020). Men der er behov for, at aktørerne i byggebranchen skal have et kendskab til de muligheder, der eksisterer, og hvilke digitale løsninger der kan bruges i hvilke situationer. Analysen af casestudiet viste,

at der blev anvendt to forskellige scanningsmetoder, TLS og MLS, da der blev stillet forskellige krav til datakvaliteten i behandlingsværktøjerne. MLS blev udelukkende anvendt til dokumentation og var en hurtig dataindsamlings metode, mens TLS blev anvendt til at fange detaljerede forhold af byggeriet, men var en tidskrævende proces. Den datakvalitet, som TLS producerede, blev ikke anvendt i særlig høj grad. Analyserne af casestudiet viste, at der var potentiale for stor udvinding af data, hvis databehandlingen blev forbedret.

Det bevidner, at der kunne være et behov for en slags branchestandard for dataspecifikationer i en punktsky. Denne branchestandard kunne opsættes efter hvilken datakvalitet, der kan bruges til hvilken databehandling. Det kunne blive opbygget som BIM-verdenens "Level of Detail(LOD)", hvor en LOD 100 har meget få kvaliteter og er i et tidligt stadie, men har specifikke anvendelsesområder, og en LOD 500 har høj kvalitet og repræsenterer et færdigt produkt. På samme måde kunne en standard for specifikationer af datakvaliteten en scanner kan producere blive udviklet.

Det kunne være fire kategorier; "lav", "mellem", "høj" og "præcis", hvor hver kategori tildeles en række opgaver, som kan udføres med den pågældende datakvalitet i kategorien. Derudover skulle hver kategori stille krav til mængden af punkter, som minimalt og maksimalt er indeholdt i punktskyen for at kunne blive placeret i kategorien.

Tabel 3 er et eksempel for hvordan en branchestandard kunne se ud, opbygget med eksempler på scannerne i Tabel 1.

Kvalitet lav	Kvalitet mellem	Kvalitet høj	Kvalitet præcis
Krav til datakvalitet: 0 – 20.000.000 punkter Intet krav om RGB	Krav til datakvalitet: 20.000.000 – 30.000.000 punkter Intet krav om RGB	Krav til datakvalitet: 30.000.000 – 100.000.000 punkter Krav om RGB	Krav til datakvalitet: 100.000.000 – 10.000.000.000 punkter Krav om RGB
Scannere der kan anvendes: TLS 2 (Leica Nova MS50 Multistation)	Scannere der kan anvendes: HMS2 (GeoSlam ZEB1)	Scannere der kan anvendes: TLS1 (FARO X330)	Scannere der kan anvendes: TLS3 (Leica ScanStation C5)
Anvendelsesmuligheder: Procesdokumentation	Anvendelsesmuligheder: - Procesdokumentation - Mængdeberegning i terræn	Anvendelsesmuligheder: - Procesdokumentation - Mængdeberegning i terræn - Sammenligning af det byggede med det planlagte	Anvendelsesmuligheder: - Procesdokumentation - Mængdeberegning i terræn - Sammenligning af det byggede med det planlagte "Som udført" materiale

Tabel 3 - Eksempel på en branchestandard for punktskydata

Eksemplet viser at en datakvalitet på 0 – 20.000.000 kun er god nok til at kunne anvendes til procesdokumentation, men kommer man op i en datakvalitet på 100.000.000 – 10.000.000.000 kan punktskyen anvendes til alt fra procesdokumentation til "Som udført" materiale.

En standard opbygget på denne måde kunne give et overblik over, hvilken scanner, der kan anvendes til hvilket formål. Dermed kunne man undgå, at datakvaliteten er mangelfuld eller redundant.

7.5 Vurdering af prototype

I dette kapitel bliver resultaterne fra udviklingen og testningen af prototypen vurderet og diskuteret. Dette indebærer de anvendte metoder og værktøjer såsom Contextual Design, skitsering til Low-Fidelity prototype og anvendelse af Figma til udvikling af prototypen, som er blevet diskuteret for fordele og ulemper. Efterfølgende er brugbarhedstestene blevet diskuteret, derudover er resultaterne fra SUS-spørgeskemaet blevet vurderet.

Til både identificering af problemområder samt udvikling af løsningsforslag er metoden Contextual Design blevet anvendt. Dette fremgik af kapitel 4 og 5. I disse kapitler bliver faserne Workmodellering, Visioning, Storyboarding, User Environment Design, Paper Mock-Up og Interaction & Visual Design, fra Contextual Design anvendt til at specificere og udvikle en prototype. Contextual Design er beskrevet som en brugercentreret designproces (Holtzblatt and Beyer, 2017). Ved udvikling af en prototype har denne brugercentrerede proces flere fordele samt nogle potentielle ulemper.

En af de største fordele ved at anvende metoden Contextual Design til udvikling af en prototype er, at det fokuserer på brugernes behov og mål. Ved at involvere brugerne i designprocessen og indsamle detaljeret feedback og indsigt kan der skabes en prototype, der opfylder brugernes behov og forventninger. Dette kan være med til at sikre, at prototypen er mere effektiv og brugbar og kan forbedre den samlede brugeroplevelse. Der kan argumenteres for, at den manglende iterative brugercentrerede proces for dette specialeprojekt reflekteres i de middelmådige resultater fra brugbarhedstesten i kapitel 6.4.2. Med et svingende testresultat mellem 67.5 og 70.83 ligger testresultatet under eller lige over minimumskravet for en brugbar prototype. Hvis der havde været et løbende samarbejde eller kontakt med casestudiets aktører, var der muligvis en større sandsynlighed for, at resultaterne for brugbarheden af prototypen havde været vurderet højere. Ved at de fundne problematikker og udviklingsområder havde været fremlagt til de interviewede VDC-koordinatorer, kunne disse områder blive be- eller afkræftet samt blive uddybet med yderligere information, som kunne have indflydelse på udviklingen af løsningsforslaget.

I kapitel 6.2, blev udarbejdelsen af en Low-Fidelity prototype introduceret. Her bliver det tiltænkte systems brugerflader skitseret, baseret på forslagene fra Visioning, Storyboarding og de specificerede funktioner fra User Environment Designet. En Low-Fidelity prototype skal anses for at være en grov, tidlig version af det tiltænkte endelige produkt. Denne Low-Fidelity prototype blev opbygget af papir skitseringer. Disse tidlige prototyper har almindeligvis til formål at blive anvendt til tidlige test- og evalueringer. Der er både fordele og ulemper ved anvendelsen af Low-Fidelity prototyping.

Der kan argumenteres for, at en af de største fordele ved at anvende en Low-Fidelity prototype er, at det giver udvikleren mulighed for hurtigt og billigt at teste ideer og indsamle feedback. Dette er gjort, hvor der internt er blevet givet ustruktureret feedback til Low-Fidelity prototypen. Der kan argumenteres for, at denne interne feedback kunne have været under indflydelse af personlige bias, hvilket kan have resulteret i mangelfuld feedback til prototypen. Denne form for prototyping har dog en anden fordel, som ikke er gjort brug af. Low-Fidelity prototyping, giver en god mulighed for at involvere brugeren i designprocessen. Ved at dele prototypen med brugeren og indsamle feedback får man en bedre forståelse af, hvad brugeren ønsker og har brug for. Der er dog også nogle begrænsninger ved at anvende Low-Fidelity prototyper. Grundet prototypens grove og ufærdige rammer giver de muligvis ikke en præcis gengivelse af det endelige produkt. Dette kan gøre det vanskeligt at få en præcis fornemmelse af, hvordan produktet eller tjenesten vil se ud, føles og fungere.

Efter udviklingen af Low-Fidelity prototypen og bearbejdningen af feedback kan en reel prototype blive udviklet, denne prototype blev udviklet med platformen Figma og kan ses i kapitel 6.3.

Figma er en cloudbaseret platform, der giver mulighed for at oprette og samarbejde om design- og prototype projekter. Figma tilbyder en bred vifte af designmuligheder, herunder en redigering af billeder, designkomponenter og muligheden for at oprette interaktive prototyper med animationer og bevægelser. En af de største fordele ved at anvende Figma er dens lette tilgængelighed, samt den Plug-and-Play funktionalitet programmet har. Fordi Figma er cloudbaseret, kan man som udvikler få adgang til projektet fra enhver enhed med en internetforbindelse, hvilket har gjort det nemt som en gruppe at samarbejde og gennemgå arbejdet eksternt. Figma giver dermed mulighed for kunne dele disse prototyper med andre uden besvær, enten ved at sende et link eller ved at invitere testpersoner til at samarbejde om projektet. Figma har dog nogle begrænsninger. Ud fra brugbarhedstesten, ses der kommentarer, som nævner manglende funktioner for reelle input, såsom at skrive input data for projektbeskrivelse, som er med til at forringe brugeroplevelsen.

Til testningen af den reelle prototype er der udarbejdet en brugbarhedstest. Til testen blev tre testpersoner bedt om at udføre en række opgaver ved hjælp af prototypen fra deres egen lokation, uden tilstedeværelse af en moderator. Udførelsen af brugbarhedstesten blev introduceret i kapitel 6.4. Denne metode har flere fordele og ulemper.

Der kan argumenteres for, at en af de største fordele ved denne form for brugbarhedstest er, at den giver mulighed for en større og mere forskelligartet mængde af deltagere, da den ikke er begrænset af geografi. En anden fordel ved denne type test er, at den typisk er billigere og mindre tidskrævende end andre former for brugertest. Fordi der ikke er behov for at have en moderator til stede, kan testen udføres udelukkende online, hvilket reducerer omkostningerne forbundet med rejser og logistik. Derudover giver manglen på en moderator deltagerne mulighed for at udføre opgaverne i deres eget tempo, hvilket kan spare tid og gøre testprocessen mere effektiv, men dette kan ligeledes have modsat effekt, hvilket var tilfældet for dette projekt. Grundet disse fordele og kendskabet til de tiltænkte testpersonernes tidsplan blev denne type valgt. Flere testpersoner blev spurgt om deltagelse til testen, men kun tre havde mulighed. En af de største ulemper er, at det kan være svært at sikre, at testpersonerne udfører opgaverne efter hensigten. Dette kan føre til upålidelige eller unøjagtige resultater, hvilket kan gøre det vanskeligt at drage konklusioner eller foretage forbedringer baseret på de indsamlede data. Det er i metoden foreslået at anvende skærmoptagelse, da det kan tilsikre, at udførelsen bliver gennemført efter hensigten (Carroll and Hertzum, 2020), hvilket er fravalgt grundet forøgelse af kompleksitet og tid for testpersonen, hvilket er vurderet til at ville resultere i færre villige testpersoner. Ifølge metoden er der en risiko for, at testpersonerne kan blive forvirrede eller frustrerede over ikke at forstå instruktionerne, hvis der ikke er en moderator til at observere og guide dem. Denne forvirring opstod, da testpersonerne skulle evaluere brugbarheden af prototypen, til testen skulle man angive, hvorvidt man er enig i ti forskellige udsagn. Her havde en af testpersonerne angivet flere forskellige grader af enighed, til det samme udsagn. Hvilket kunne have været undgået, hvis instruktionen havde tydeliggjort, at man kun skulle afsætte et kryds per udsagn.

Analysen af evalueringerne fra de tre testpersoner viste fire forskellige SUS-score på 97,5, 77,5 og 27,5 eller 37,5. De to sidste resultater skyldes testperson 2's flertydige enighed af samme udsagn. Samlet set tyder disse resultater på, at der er en bred vifte af brugbarheds niveauer inden for prototypen, og at der kan være nogle væsentlige problemer, der skal løses for at forbedre brugeroplevelsen. Men på grund af at der kun er blevet testet på tre testpersoner, er det usikkert at konkludere brugbarheden af prototypen. Især fordi resultaterne er så differentierede, er det svært at kunne generalisere ud fra den indsamlede feedback.

Der kan argumenteres for, at testen skulle have anvendt flere testpersoner. Dette kunne have øget den statistiske styrke og øget pålideligheden af den indsamlede feedback. Ved at have flere testpersoner er det muligt at indsamle et større besvarelse, hvilket kan øge testens statistiske effekt, hvilket betyder, at resultaterne er mindre tilbøjelige til tilfældige udsving eller variationer og dermed øge pålideligheden af testene. Endelig kunne testning på flere testpersoner have givet en mere detaljeret og nuanceret feedback om brugeroplevelsen og brugbarheden af prototypen. Det ville have givet en større mulighed for at skabe en generalisering for byggebranchen. Dette kan være særligt nyttigt til at identificere specifikke problemer eller områder, der kan forbedres, og kan således bidrage til at give en mere komplet forståelse af brugeroplevelsen. Da den samlede feedback kun er baseret på tre testpersoner, som har vurderet brugbarheden meget differentieret, er det besværligt at kunne skabe en generaliserende forståelse for problemer og udfordringer af prototypen.

8 Konklusion

I dette kapitel vil konklusionen på problemformuleringen blive introduceret. For at lede frem til denne vil resultaterne af undersøgelserne i specialet blive opsummeret.

I indledningen blev det beskrevet, hvordan punktskyer bliver anvendt til at fange fysiske forhold i udførelsen af et byggeri, bearbejdningen af punktskyer foregår manuelt og er en tidskrævende proces. For at forsøge at gøre dette arbejde mere effektivt er der blevet forsket i, om AI og nærmere Deep Learning kan anvendes til at automatisere dette arbejde. Denne forskning fremgår af litteraturstudiet i kapitel 3.

For at kunne finde frem til hvilke muligheder, der findes inden for 3D scannere og punktskyer, der kan anvendes i byggebranchen, blev der i litteraturstudiet i kapitel 3, introduceret muligheder inden for behandling og indsamling af punktskydata. I kapitlet blev to scanningsmetoder undersøgt: Terrestrial laser scanning (TLS) og Mobile laser scanning (MLS). Undersøgelsen viste, at TLS kan have en præcision med en difference på 4 mm i punktskyen i forhold til de fysiske forhold. MLS kan have en præcision på mellem 10-20 cm i punktskyen. Denne præcision er en fejlmargen, der anses som værende for stor, til at kunne anvendes, når der arbejdes med byggebranchens tolerancer.

Behandlingen af punktskyen er todelt i forbehandling og efterbehandling. Forbehandlingen har formålet at gøre den indsamlede data anvendelig ved at rense og organisere punktskyen. Efterfølgende kan den organiserede data anvendes i efterbehandling til segmentering med Deep Learning.

Undersøgelserne viste, at der er potentiale for forbedringer med automatisering af efterbehandlingen af en punktsky ved hjælp af Deep Learning til at segmentere og klassificere data i punktskyen. Men punktskyers data er irregulær, ustruktureret og usystematisk, derfor kan der opstå udfordringer, med behandlingen af punktskyer, ved anvendelsen af Deep Learning.

For at finde frem til hvad der er praksis i branchen, blev der taget udgangspunkt i et casestudie. Her blev respondenter fra en entreprenørvirksomhed interviewet, respondenternes arbejdsområde var at arbejde med digitale værktøjer på byggeprojektet, herunder indsamling og behandling af punktskydata. Den indsamlede data blev segmenteret og analyseret efter forskellige metoder, for at forstå den indsamlede data gennem forskellige perspektiver. Dette ledte frem til konklusionen, at respondenterne i det udvalgte casestudie, havde muligheder for at udvide deres anvendelse af punktskydata. En anden udfordring var, at der blev benyttet to forskellige typer scanninger, TLS og MLS. Disse scanninger blev benyttet til to forskellige formål, staderegistrering og kvalitetssikring af udført arbejde. Respondenterne nævnte både fordele og ulemper ved anvendelsen af disse typer scanninger, men analyserne viste klare muligheder for forbedring.

For at kunne forbedre anvendelsen af punktskydata i udførelsen er det nødvendigt, at grundlaget for punktskyens datakvalitet er tilstrækkeligt for formålet for opgaven. Undersøgelserne viste, at der ses en tydelig difference i de mange forskellige scanners datakvalitet, dette blev også bekræftet i studiet (Sepasgozar et al., 2018). En branchestandard over informationsniveau af datakvaliteten kunne derfor blive udviklet for at hjælpe byggebranchen med valg af scanningsmetode, som er tilstrækkeligt for opgavens formål, fremgik af diskussionen i kapitel 7.4.

For at få en brancheindsigt, blev syv virksomheder i byggebranchen adspurgt om deres anvendelse af punktskydata i udførelsesfasen. Spørgsmålene blev besvaret af to virksomheder, som beskrev, at de anvender punktskydata til opgaver som staderegistrering og uoverensstemmelser mellem bygget og planlagt. Det konkluderes derfor, at det er en metode, der bliver benyttet i branchen, og ikke blot ved den undersøgte virksomhed, dette speciale fokuserer på.

Til udvikling af en prototype, der forsøger at løse de fundne udfordringer i analyserne af casestudiet benyttes metoden Contextual Design. Udviklingen af prototypen begyndte med et løsningsforslag i kapitel 5, hvor emner fra flere forskellige forslag blev opsummeret til viderebehandling. Forslagene blev i kapitel 6, konkretiseret ved at lave en arkitektur for de bagvedliggende funktioner, der var ønsket af prototypen. Den første version af prototypen blev sendt ud til en brugertest for at danne en forståelse for, hvilke funktioner forbrugeren har behov for. Evalueringen af testen viste, at testpersonerne oplevede manglende funktioner i prototypen. Der var positiv tilbagemelding til idéen, men der stilles krav fra testpersoner om, at programmet kan anvendes uden at skulle arbejde med det manuelt. Der er behov for at funktioner i systemet behandles automatisk, ellers mente testpersoner ikke, at programmet ville blive anvendt. Det er derfor vigtigt at få styr på Deep Learning aspekterne med henblik på videre arbejde med prototypen.

Brugbarheden blev vurderet til tæt på acceptabel men kræver flere iterationer hvor yderligere funktioner og brugervenlighed tilføjes.

Dette leder frem til besvarelsen af problemformuleringen:

Hvordan kan anvendelsen af punktskydata forbedres i udførelsesfasen af et byggeri ved at anvende Deep Learning til at segmentere og klassificere punktskydata?

Ved at undersøge anvendelsen af punktskydata i udførelsesfasen af et byggeri viste der sig udfordringer med både indsamlingen og behandlingen af punktskydata. For at forbedre anvendelsen af punktskydata blev en prototype til et system udviklet. Formålet med systemet er at skabe et styringsværktøj til aktører i udførelsesfasen af et byggeri. Dette system giver et overblik over tidsstyring, arbejdsmiljø og geometrisk kvalitetskontrol ved hjælp af punktskydata. For at automatisere analyserne i systemet anvendes Deep Learning til at segmentere og klassificere den indsamlede punktskydata. Prototypen viste i testresultaterne at have en brugbarhed. Det kan derfor konkluderes, at det færdige system ville kunne anvendes til at forbedre de eksisterende arbejdsgange i udførelsesfasen af et byggeri.

9 Perspektivering

Kapitlet introducerer en perspektivering af specialets resultater, herunder en reflektering over de nye spørgsmål der er opstået som resultat af undersøgelserne.

Dette studie har taget udgangspunkt i et enkelt casestudie fra en entreprenør, der benytter sig af metoder med indsamling og behandling af punktskydata. Der er indhentet udtalelser fra andre, der beskæftiger sig med behandling af punktskydata. Der mangler dog yderligere data for at kunne generalisere analyseresultaterne fra casestudiet. For at nå frem til en løsning, der kan generaliseres for branchen, vil der være behov for et videre iterativt arbejde med prototypen, hvor slutbrugere fra forskellige virksomheder deltager i test og evaluering af prototypen. Når prototypen er tilfredsstillende i teststadiet, kan videreudvikling af systemet begynde ved at koble programmører på projektet.

Undersøgelserne i litteraturstudiet viste, at der er et behov for yderligere forskning og test af anvendelsen af Deep Learning til segmentering og klassificering af objekter i en punktsky. Undersøgelserne i studiet af (Lehtola et al., 2017) blev udført med mindre datasæt, som for eksempel en gang, eller et rum. De viste, at der er tre hovedproblematikker i behandlingen af punktskyer. Den indsamlede data er irregulær, ustruktureret og usystematisk. For at kunne skalere dette op til større byggeprojekter er der behov for yderligere forskning og test af anvendelsen af Deep Learning.

Litteraturstudiet viste, at anerkendte træningsdata sæt er blevet testet for præcision og brugbarhed i forhold til segmentering af punktskydata. Men der er behov for at undersøge, hvordan disse træningsdatasæt, kan anvendes i relation til undersøgelserne i dette studie. Den foreslåede prototype i dette studie bruger Deep Learning til automatisk detektion af fejl, arbejdsmiljø risici og overskridelser af tidsplan. Den forskning, der er fundet frem til i litteraturstudiet, beskæftiger sig primært med segmentering og klassificering af objekter, og dermed vil det være nødvendigt at viderearbejde med disse algoritmer, så de kan anvendes til de ønskede funktioner i prototypen. Dertil er det nødvendigt at indsamle et datasæt til træning af modellen, som indeholder data fra den danske byggebranche, så datasættet kan benyttes i den kontekst, der er tiltænkt med prototypen.

10 Litteraturliste

- Agapaki, E., Brilakis, I., 2020. CLOI-NET: Class segmentation of industrial facilities' point cloud datasets. *Advanced Engineering Informatics* 45, 101121. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101121>
- Alexovič, S., Lacko, M., Bačík, J., Perduková, D., 2022. Handheld 3D Scanner Based on Intel RealSense Depth and Tracking Cameras. *Lecture Notes in Networks and Systems* 502 LNNS, 226–235. https://doi.org/10.1007/978-3-031-09076-9_22/FIGURES/5
- Bangor, A., Kortum, P., Miller, J., 2009. Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. *J Usability Stud* 4, 114–123. <https://doi.org/10.5555/2835587.2835589>
- Bello, S.A., Yu, S., Wang, C., Adam, J.M., Li, J., 2020. Review: Deep learning on 3D point clouds. *Remote Sens (Basel)* 12, 1–34. <https://doi.org/10.3390/rs12111729>
- Bosché, F., Ahmed, M., Turkan, Y., Haas, C.T., Haas, R., 2015. The value of integrating Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM techniques for construction monitoring using laser scanning and BIM: The case of cylindrical MEP components. *Autom Constr* 49, 201–213. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.014>
- Bosche, F., Haas, C.T., 2008. Automated retrieval of 3D CAD model objects in construction range images. *Autom Constr* 17, 499–512. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2007.09.001>
- Bosche, F., Haas, C.T., Akinci, B., 2009. Automated Recognition of 3D CAD Objects in Site Laser Scans for Project 3D Status Visualization and Performance Control. *Journal of Computing in Civil Engineering* 23, 311–318. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0887-3801\(2009\)23:6\(311\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0887-3801(2009)23:6(311))
- Braun, A., Tuttas, S., Borrmann, A., Stilla, U., 2020. Improving progress monitoring by fusing point clouds, semantic data and computer vision. *Autom Constr* 116. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2020.103210>
- Brilakis, I., Fathi, H., Rashidi, A., 2011. Progressive 3D reconstruction of infrastructure with videogrammetry. *Autom Constr* 20, 884–895. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2011.03.005>
- Brinkmann, S., Tanggaard, L., 2020. *Kvalitative metoder - En grundbog*, 3rd ed. Hans Reitzels Forlag.
- Brooke, J., 1996. SUS - A quick and dirty usability scale.
- Carroll, J.M., Hertzum, M., 2020. Usability Testing: A Practitioner's Guide to Evaluating the User Experience. *Synthesis Lectures on Human-Centered Informatics* 1, i–105. <https://doi.org/10.2200/S00987ED1V01Y202001HCI045>
- Charles, R.Q., Su, H., Kaichun, M., Guibas, L.J., 2017. PointNet: Deep Learning on Point Sets for 3D Classification and Segmentation, in: *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. IEEE, pp. 77–85. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.16>
- Chen, J., Kira, Z., Cho, Y.K., 2019. Deep Learning Approach to Point Cloud Scene Understanding for Automated Scan to 3D Reconstruction. *Journal of Computing in Civil Engineering* 33, 1–10. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0000842](https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000842)

- Claes Wohlin, 2014. Guidelines for Snowballing in Systematic Literature Studies and a Replication in Software Engineering.
- Czerniawski, T., Sankaran, B., Nahangi, M., Haas, C., Leite, F., 2018. 6D DBSCAN-based segmentation of building point clouds for planar object classification. *Autom Constr* 88, 44–58. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.029>
- Darko, A., Chan, A.P.C., Adabre, M.A., Edwards, D.J., Hosseini, M.R., Ameyaw, E.E., 2020. Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities. *Autom Constr* 112, 103081. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103081>
- Dimitrov, A., Golparvar-Fard, M., 2015. Segmentation of building point cloud models including detailed architectural/structural features and MEP systems. *Autom Constr* 51, 32–45. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.12.015>
- Dimitrov, A., Golparvar-Fard, M., 2014. Vision-based material recognition for automated monitoring of construction progress and generating building information modeling from unordered site image collections. *Advanced Engineering Informatics* 28, 37–49. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2013.11.002>
- Dong, Z., Liang, F., Yang, B., Xu, Y., Zang, Y., Li, J., Wang, Y., Dai, W., Fan, H., Hyppä, J., Stilla, U., 2020. Registration of large-scale terrestrial laser scanner point clouds: A review and benchmark. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.03.013>
- Ekanayake, B., Wong, J.K.W., Fini, A.A.F., Smith, P., 2021. Computer vision-based interior construction progress monitoring: A literature review and future research directions. *Autom Constr* 127, 103705. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103705>
- Ellmann, A., Kütimets, K., Varbla, S., Väli, E., Kanter, S., 2021. Advancements in underground mine surveys by using SLAM-enabled handheld laser scanners Advancements in underground mine surveys by using SLAM-enabled handheld laser scanners. *Survey Review*. <https://doi.org/10.1080/00396265.2021.1944545>
- Fobiri, G., Musonda, I., Muleya, F., 2022. Reality Capture in Construction Project Management: A Review of Opportunities and Challenges. *Buildings* 2022, Vol. 12, Page 1381 12, 1381. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS12091381>
- Foreningen af Rådgivende Ingeniører, Danske Arkitektvirksomheder, 2022. “SOM UDFØRT.”
- Frías, E., Pinto, J., Sousa, R., Lorenzo, H., Díaz-Vilariño, L., 2022. Exploiting BIM Objects for Synthetic Data Generation toward Indoor Point Cloud Classification Using Deep Learning. *Journal of Computing in Civil Engineering* 36, 1–15. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0001039](https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0001039)
- Golparvar-Fard, M., Bohn, J., Teizer, J., Savarese, S., Peña-Mora, F., 2011. Evaluation of image-based modeling and laser scanning accuracy for emerging automated performance monitoring techniques. *Autom Constr* 20, 1143–1155. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.04.016>
- Gruen, A., 1997. Fundamentals of videogrammetry — A review. *Hum Mov Sci* 16, 155–187. [https://doi.org/10.1016/S0167-9457\(96\)00048-6](https://doi.org/10.1016/S0167-9457(96)00048-6)

- Guo, Y., Wang, H., Hu, Q., Liu, H., Liu, L., Bennamoun, M., 2021. Deep Learning for 3D Point Clouds: A Survey. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell* 43, 4338–4364. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2020.3005434>
- Holtzblatt, K., Beyer, H., 2017. *Contextual Design: Design for life*, 2nd ed.
- Huang, M.Q., Ninić, J., Zhang, Q.B., 2021. BIM, machine learning and computer vision techniques in underground construction: Current status and future perspectives. *Tunnelling and Underground Space Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103677>
- Jung, J., Hong, Sungchul, Jeong, S., Kim, S., Cho, H., Hong, Seunghwan, Heo, J., 2014. Productive modeling for development of as-built BIM of existing indoor structures. *Autom Constr* 42, 68–77. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.021>
- Kim, P., Chen, J., Cho, Y.K., 2018. SLAM-driven robotic mapping and registration of 3D point clouds. *Autom Constr*. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.01.009>
- Klein, L., Li, N., Becerik-Gerber, B., 2012. Imaged-based verification of as-built documentation of operational buildings. *Autom Constr* 21, 161–171. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.05.023>
- Lehtola, V. v., Kaartinen, H., Nüchter, A., Kaijaluoto, R., Kukko, A., Litkey, P., Honkavaara, E., Rosnell, T., Vaaja, M.T., Virtanen, J.P., Kurkela, M., el Issaoui, A., Zhu, L., Jaakkola, A., Hyypä, J., 2017. Comparison of the selected state-of-the-art 3D indoor scanning and point cloud generation methods. *Remote Sens (Basel)* 9, 1–26. <https://doi.org/10.3390/rs9080796>
- Liu, S., Zhang, M., Kadam, P., Kuo, C.-C.J., 2021. *3D Point Cloud Analysis*, 3D Point Cloud Analysis. Springer International Publishing, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-89180-0>
- Lu, Q., Lee, S., 2017. Image-Based Technologies for Constructing As-Is Building Information Models for Existing Buildings. *Journal of Computing in Civil Engineering* 31. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0000652](https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000652)
- Maté-González, M.Á., di Pietra, V., Piras, M., 2022. Evaluation of Different LiDAR Technologies for the Documentation of Forgotten Cultural Heritage under Forest Environments. *Sensors* 22. <https://doi.org/10.3390/s22166314>
- Mirzaei, K., Arashpour, M., Asadi, E., Masoumi, H., Bai, Y., Behnood, A., 2022. 3D point cloud data processing with machine learning for construction and infrastructure applications: A comprehensive review. *Advanced Engineering Informatics*. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101501>
- Moon, D., Chung, S., Kwon, S., Seo, J., Shin, J., 2019. Comparison and utilization of point cloud generated from photogrammetry and laser scanning: 3D world model for smart heavy equipment planning. *Autom Constr* 98, 322–331. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.020>
- Noun Project Inc., 2010. Noun Project: Free Icons & Stock Photos for Everything [WWW Document]. Noun Project. URL <https://thenounproject.com/> (accessed 1.11.23).
- Object Management Group, 2013. *Business Process Model and Notation (BPMN)*. Object Management Group.

- Omar, T., Nehdi, M.L., 2016. Data acquisition technologies for construction progress tracking. *Autom Constr* 70, 143–155. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2016.06.016>
- Perez-Perez, Y., Golparvar-Fard, M., El-Rayes, K., 2021. Scan2BIM-NET: Deep Learning Method for Segmentation of Point Clouds for Scan-to-BIM. *J Constr Eng Manag* 147, 1–14. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0002132](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0002132)
- Pučko, Z., Šuman, N., Rebolj, D., 2018. Automated continuous construction progress monitoring using multiple workplace real time 3D scans. *Advanced Engineering Informatics* 38, 27–40. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2018.06.001>
- Qi, C.R., Su, H., Mo, K., Guibas, L.J., 2017. PointNet: Deep learning on point sets for 3D classification and segmentation. *Proceedings - 30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2017* 2017-January, 77–85. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.16>
- Rebolj, D., Pučko, Z., Babič, N.Č., Bizjak, M., Mongus, D., 2017. Point cloud quality requirements for Scan-vs-BIM based automated construction progress monitoring. *Autom Constr* 84, 323–334. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.021>
- Sacks, R., Girolami, M., Brilakis, I., 2020. Building Information Modelling, Artificial Intelligence and Construction Tech. *Developments in the Built Environment* 4. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100011>
- Sarker, I.H., 2021. Deep Learning: A Comprehensive Overview on Techniques, Taxonomy, Applications and Research Directions. *SN Comput Sci* 2. <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00815-1>
- Sepasgozar, S.M.E., Asce, M., Forsythe, ; Perry, Shirowzhan, S., 2018. Evaluation of Terrestrial and Mobile Scanner Technologies for Part-Built Information Modeling. *J Constr Eng Manag* 144. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001574](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001574)
- Sharif, M.M., Nahangi, M., Haas, C., West, J., 2017. Automated Model-Based Finding of 3D Objects in Cluttered Construction Point Cloud Models. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 32, 893–908. <https://doi.org/10.1111/mice.12306>
- Softwaretestinghelp, 2022. Alpha Test - Softwaretestinghelp [WWW Document]. URL <https://www.softwaretestinghelp.com/alpha-testing/> (accessed 12.31.22).
- Son, H., Kim, C., Asce, A.M., Cho, Y.K., Asce, M., 2017. Automated Schedule Updates Using As-Built Data and a 4D Building Information Model. *Journal of Management in Engineering* 33. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000528](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000528)
- Tang, X., Wang, M., Wang, Q., Guo, J., Zhang, J., 2022. Benefits of Terrestrial Laser Scanning for Construction QA/QC: A Time and Cost Analysis. *Journal of Management in Engineering* 38. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0001012](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0001012)
- Thomson, C., Boehm, J., 2015. Automatic geometry generation from point clouds for BIM. *Remote Sens (Basel)* 7, 11753–11775. <https://doi.org/10.3390/rs70911753>
- Wang, B., Wang, Q., Cheng, J.C.P., Yin, C., 2022. Object verification based on deep learning point feature comparison for scan-to-BIM. *Autom Constr* 142, 104515. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104515>

- Wang, B., Yin, C., Luo, H., Cheng, J.C.P., Wang, Q., 2021. Fully automated generation of parametric BIM for MEP scenes based on terrestrial laser scanning data. *Autom Constr* 125. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2021.103615>
- Wang, Q., Kim, M.K., 2019. Applications of 3D point cloud data in the construction industry: A fifteen-year review from 2004 to 2018. *Advanced Engineering Informatics* 39, 306–319. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.02.007>
- Wang, Z., He, B., Yang, Y., Shen, C., Peña-Mora, F., 2020. Building a Next Generation AI Platform for AEC: A Review and Research Challenges 27–45. <https://doi.org/10.46421/2706-6568.37.2020.paper003>
- Wu, C., Yuan, Y., Tang, Y., Tian, B., 2022. Application of terrestrial laser scanning (Tls) in the architecture, engineering and construction (aec) industry, *Sensors*. <https://doi.org/10.3390/s22010265>
- Xu, Y., Zhou, Y., Sekula, P., Ding, L., 2021. Machine learning in construction: From shallow to deep learning. *Developments in the Built Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2021.100045>
- Zhang, J., Zhao, X., Chen, Z., Lu, Z., 2019. A Review of Deep Learning-Based Semantic Segmentation for Point Cloud. *IEEE Access* 7, 179118–179133. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2958671>

11 Bilagsliste

Bilag 1 – Interview guides

Bilag 2 – Transskribering af interviews

Bilag 3 – E-mailkorrespondance 1 – Rådgiver

Bilag 4 – Referenceliste Thenounproject

Bilag 5 – Udformning af prototype

Bilag 6 – Fjern- og umodereret brugbarhedstest