



CHALMERS



Kontinuerlig laserskanning vid husproduktion

En experimentell studie för en ökad träffsäkerhet vid uppföljning av tidplan

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet samhällsbyggnadsteknik

DAVID NORDSTRÖM
WILMA JOHANSSON

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2024
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE ACEX20

Kontinuerlig laserskanning vid husproduktion

En experimentell studie för en ökad träffsäkerhet vid uppföljning av tidplan

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

DAVID NORDSTRÖM

WILMA JOHANSSON

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Construction Management

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2024

Kontinuerlig laserskanning vid husproduktion:

En experimentell studie för en ökad träffsäkerhet vid uppföljning av tidplan

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

DAVID NORDSTRÖM

WILMA JOHANSSON

© DAVID NORDSTRÖM & WILMA JOHANSSON, 2024

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2024

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Construction management

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag: Bild av pågående laserskanning på Skanskas projekt Nya Konst.

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Göteborg 2024

Kontinuerlig laserskanning vid husproduktion:
En experimentell studie för en ökad träffsäkerhet vid uppföljning av tidplan

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

DAVID NORDSTRÖM

WILMA JOHANSSON

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Construction Management

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Tidplanen utgör en avgörande roll i produktionsskedet av nybyggnationer. Idag är uppföljningen av utfört arbete låg och baseras till stor del på uppskattningar, vilket skapar utmaningar i samordningen. En ökad transparens och precision vid uppföljningen förbättrar möjligheterna att upptäcka och agera på avvikelser från tidplanen och handlingarna. Detta arbete undersöker potentialen av kontinuerlig laserskanning för att förbättra uppföljningen i syfte att öka kunskapen om hur metoden kan användas för att uppnå en träffsäker uppföljning.

Genom en experimentell studie testas kontinuerlig laserskanning i liten skala under pågående byggnation av ett installationstätt område. Efter regelbundna laserskanningar har punktmoln bearbetats och jämföras mot 3D-modellen för att utvärdera framdriften och identifiera avvikelser.

För att ytterligare förankra rapportens innehåll har dagens arbetssätt beskrivits genom en litteraturstudie, semi-strukturerade intervjuer samt en observationsstudie. Resultaten visar på stor potential för implementering av kontinuerlig laserskanning under produktionsskedet. Samtidigt krävs det vidare utveckling av metoden för att öka användarvänligheten innan tekniken kan implementeras i stor skala. Utöver studiens frågeställningar diskuteras även ytterligare potentiellt värdeskapande tillämpningsområden.

Nyckelord: Laserskanning; tidplanuppföljning; framdriftsuppföljning 4D-planering; husbyggnation; kollisionskontroll

Continuous Laser Scanning in the building production:

An Experimental Study for Improved Accuracy in Schedule Monitoring

Degree Project in the Engineering Programme

Civil and Environmental Engineering

DAVID NORDSTRÖM

WILMA JOHANSSON

Department of Architecture and Civil Engineering

Division of Construction Management

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The schedule plays a decisive role in the production phase of new constructions. Currently, monitoring of completed work is low and largely based on estimates, which creates challenges in coordination. Increased transparency and precision in monitoring improve the ability to detect and respond to deviations from the schedule and actions. This work investigates the potential of continuous laser scanning to enhance monitoring with the aim of increasing knowledge about how the method can be used to achieve accurate monitoring.

Through an experimental study, continuous laser scanning was tested on a small scale during the ongoing construction of an installation-dense area. After regular laser scans, point clouds were processed and compared against the 3D-model to evaluate progress and identify deviations.

To further anchor the report's content, current work practices were described through a literature study, semi-structured interviews, and an observational study. The results show great potential for the implementation of continuous laser scanning during the production phase. At the same time, further development of the method is required to increase user-friendliness before the technology can be implemented on a large scale. In addition to the study's questions, further potentially value-creating application areas are also discussed.

Key words: Laser scanning; schedule monitoring; progress monitoring; 4D-planning; building construction; collision control

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	III
FÖRORD	V
BETECKNINGAR	VI
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Frågeställningar	2
1.4 Avgränsningar	2
2 METOD	4
2.1 Experimentell studie	4
2.2 Nulägesbeskrivning	4
2.2.1 Litteraturstudie	4
2.2.2 Semistrukturerad intervjustudie	5
2.2.3 Observationsstudie	5
2.2.4 Enkätstudie	5
3 TEORETISKT UNDERLAG	6
3.1 Samband mellan ekonomi och tid	6
3.2 Last Planner System	6
3.3 Earned Value Management	7
3.3.1 EVM i byggbranschen	7
3.4 Digitalisering i byggbranschen	8
3.4.1 Byggnadsinformationsmodellering (BIM)	8
3.4.2 4D-planering	9
3.4.3 Laserskanning idag	9
3.4.4 As designed och as built	9
3.4.5 Modellbaserad framdriftsvisualisering	10
3.4.6 360-kamera	11
4 FÖRSTUDIE	12
4.1 Uppföljning av tidplan idag	12
4.1.1 Samordningsmöten	12
4.1.2 Enskilda discipliners uppföljning av tidplan	13
4.2 Förutsättningar för försök	13
	III

4.2.1	Rumslig avgränsning av skanning	14
4.2.2	Genomförande av experimentell studie	14
4.2.3	Framtagen tidplan för korridorstråk	15
4.2.4	Laserskanning	15
4.2.5	Bearbetning av data	16
4.3	Pilotprojekt	17
5	RESULTAT	19
5.1	Inläsning av IFC-filer i Cyclone	19
5.2	Uppföljning 1	19
5.3	Uppföljning 2	21
5.4	Uppföljning 3	23
5.5	Uppföljning 4	24
5.6	Uppföljning 5	27
6	DISKUSSION	28
6.1	Laserskanning	28
6.2	Hantering av IFC-filer	28
6.3	Bearbetning av punktmoln	29
6.4	Avstämning mot tidplan	30
6.5	Avvikelser från 3D-modell	31
6.6	Användarvänlighet	32
6.7	Arbetsättets potential	33
7	SLUTSATS	34
7.1	Utmaningar	34
7.2	Möjligheter	35
7.3	Framtidsvision	35
8	REFERENSER	37

FÖRORD

Detta projekt representerar examensarbetet för högskoleingenjörsprogrammet i samhällsbyggnadsteknik vid Chalmers tekniska högskola. Arbetet motsvarar 15 högskolepoäng och har genomförts i samarbete med byggföretaget Skanska.

Vi vill rikta ett stort tack till alla på Skanskas projekt Nya Konst, men främst vår handledare Sakarias Hultin. Dessutom vill vi tacka de som ställt upp på intervjuer samt Daniel och Andreas på Leica som lånat ut laserskannern under hela projektet. Slutligen vill vi tacka vår handledare på Chalmers, Mikael Viklund Tallgren.

Göteborg juni 2024

David Nordström, Wilma Johansson

BETECKNINGAR

3D	Tredimensionell
4D-planering	Kombinerar 3D-modellering med tidplanering
BIM	Building Information Model
El	Disciplin för elinstallationer
EVM	Earned Value Management
IFC	Industry Foundation Classes
LPS	Last Planner System
Punktmoln	Hämtat från engelskans Point Cloud, en stor samling av punkter där var punkt har en koordinat i tre dimensioner. Med hjälp av exempelvis laserskannern kan punktmoln skapas genom laserns reflektion på omgivande ytor.
SPR	Disciplin för sprinklerinstallationer
Scan to BIM	När man laserskannar ett område för att skapa en 3D-modell utifrån punktmolnet.
Scan vs BIM	En metod där 3D laserskannade data av den faktiska byggnaden jämförs med den ursprungliga BIM-modellen för att identifiera avvikelser och förbättra uppföljningen.
TLS	Terrester laserskanner
UE	Underentreprenör
VA	Disciplin för vatten- och avloppsinstallationer
Vent	Disciplin för ventilationsinstallationer

1 INLEDNING

Den här rapporten har tagits fram i samarbete med Skanska för att undersöka hur kontinuerlig laserskanning kan bidra under produktionsskedet vid husbyggnation. Användningsområdena för tekniken är många, i rapporten behandlas främst hur laserskanning kan bidra till en bättre uppföljning av tidplan.

1.1 Bakgrund

Byggbranschen genomgår en omfattande förändring där 3D-modeller utgör en alltmer central roll i projekteringen. Kraven på dessa modeller ökar i takt med att deras juridiska status stärks. Trots detta återgår man till äldre metoder under produktionsskedet, där höga krav på användarvänlighet och tidseffektivitet begränsar implementering av nya tekniska hjälpmedel. Uppföljningen av tidplanen och utfört arbete är moment som har identifierats som ineffektiva. Det beror på dagens arbetssätt där enskilda discipliners uppföljning av utfört arbete huvudsakligen baseras på uppskattningar och erfarenheter från tidigare projekt. Potentialen att genom ny teknik uppnå en träffsäkrare uppföljning är därav stor.

För att effektivisera produktionsprocessen har olika projektledningstekniker utvecklats och testats. Gemensamt för de olika projektledningsteknikerna är att man har identifierat tidplanen och dess uppföljning som ett moment med stor utvecklingspotential. Enligt Lean Construction Institute (2024) är idag uppföljningen av tidplanen låg och endast 54% av det planerade arbetet utförs inom avtalad tid. Eftersom framdriften för enskilda discipliner ofta är beroende av varandra leder det till att projektets tidplan påverkas negativt med konsekvenser som förseningar och överskriden budget.

I dagens tidsplanering uppskattas en aktivitets omfattning i antal arbetstimmar, något som Ballard (2000) förklarar i bästa fall baseras på historiska data inhämtat från tidigare erfarenheter. Eftersom byggnadsprojekt sällan är standardiserade, är tidigare erfarenheter inte en tillförlitlig källa för kommande projekts produktion. Disciplinerna ansvarar var för sig att uppskatta hur långt man kommit i de planerade aktiviteterna vilket skapar en stor frihet till aktivitetens utförare. Att den planerade tiden för en aktivitet kommer fyllas oavsett om det hade gått att genomföra effektivare är då en risk vilket Parkinsons lag bekräftar då han menar att "En arbetsuppgift kommer att utvidga sig så att den fyller den tid som är tillgänglig för att utföra den." (Parkinson, 1957, s.3)

Implementering av ny teknik kan uppdatera de utdaterade arbetsmetoderna som idag tillämpas, vilket kommer skapa värde under produktionsskedet. Ökad transparens och precision i uppföljning av tidplanen kan bidra till:

- Tidsbesparingar för dem som ansvarar för uppföljning.
- Tidigare identifiering av avvikelser från tidplanen för att undvika följdförseningar.
- I förlängningen skapa möjlighet att tillämpa prestationsbunden betalning.

I arbetet undersöks om en ökad transparens och precision av uppföljningen kan uppnås genom kontinuerlig laserskanning under produktionsskedet. En förutsättning för att implementera kontinuerlig laserskanning är att kunna skanna av stora områden på kort tid, vilket möjliggörs med en handburen laserskanner. För att följa projektets framdrift jämförs skanningen som resulterar i ett punktmoln med projektets 3D-modell. Målet är att undersöka om detta kan genomföras på ett användarvänligt och värdeskapande sätt för att uppnå en mer tillförlitlig uppföljning av tidplanen och således projektets framdrift.

1.2 Syfte

Syftet med studien är att bidra med mer kunskap om hur digitala hjälpmedel, specifikt kontinuerlig laserskanning kan främja framdriften under produktionsskedet vid husbyggnation. Vidare syftar studien till att skapa förståelse för teknikens möjligheter och utmaningar. Målet är att hitta en arbetsmetodik som ska kunna implementeras för att göra uppföljning av tidplan och kontroll av avvikelser effektivare och noggrannare.

Kunskapen som är ett resultat av de försök som genomförs under studien ska i förlängningen kunna bidra till en bredare implementering av tekniken och arbetssättet. Kontinuerlig laserskanning som framförallt syftar på att bidra till en mer tillförlitlig och transparent uppföljning öppnar upp för ytterligare tillämpningsområden vilka kommer beröras och diskuteras i rapporten. Genom implementering av kontinuerlig laserskanning förväntas produktionen genomföras mer effektivt och transparent, vilket förbättrar både tidsstyrning och resursutnyttjande.

1.3 Frågeställningar

Frågeställningarna är framtagna för att uppfylla arbetets syfte. De centrala delarna i arbetet har lett till följande frågeställningar:

- Hur kan kontinuerlig laserskanning under produktionsskedet förbättra uppföljningen av tidsplanen?
- Vilka ytterligare användningsområden kan kontinuerlig laserskanning medföra?

1.4 Avgränsningar

Det finns många potentiella tillämpningsområden för laserskanning under produktionsskedet, vilket innebär att ämnet kan undersökas ur flera olika perspektiv. För att studien inte ska bli för omfattande kommer avgränsningar att tillämpas.

Denna rapport fokuserar på hur laserskanning kan förbättra uppföljningen av tidplan. Resultatet av experimentet kan motivera ytterligare användningsområden för laserskanning i produktionsskedet. Dessa kommer diskuteras i syfte att väcka intresse för framtida studier, men utgör inte den primära frågeställningen för studien. För att utföra ett verklighetstroget experiment, men samtidigt reducera insamling och bearbetning av data till en genomförbar nivå, kommer skanningen att utföras på ett

begränsat område. Det huvudsakliga kriteriet för det valda området är involvering av flera discipliner, då utmaningar med samordningen ofta uppstår.

2 METOD

I detta kapitel beskrivs och motiveras val av metoder för studien. Studien består huvudsakligen av en experimentell studie som stärks av litteraturstudie, semistrukturerade intervjuer och en observationsstudie. Alla delar har varit viktiga för att lyfta olika synvinklar och bemöta de svårigheterna som finns i att tolka resultaten från den experimentella studien som ligger till grund för arbetet.

2.1 Experimentell studie

Carlström & Carlström Hagman (2006) beskriver den experimentella studien som en metod där effekterna av en viss påverkan undersöks. I rapporten undersöks effekterna på framdriften med påverkan av noggrannare uppföljning av tidplan med hjälp av kontinuerlig laserskanning. Då arbetet syftar på att förändra en väletablerad arbetsmetod i produktionen krävs en nära koppling till verkligheten för att kunna se det holistiska perspektivet av förändringen. Rapporten bygger således på en jämförelse mellan experiment och dagens arbetssätt för uppföljning av tidplan, som lämnas opåverkad. Valet av den experimentella studien stärks genom behovet att testa, mäta och analysera effekterna av förändringarna i arbetssättet.

Carlström & Carlström Hagman (2006) belyser att en experimentell studie kan struktureras på flera olika sätt. Friheten att strukturera upp studien utefter förutsättningarna har möjliggjort ett verklighetstroget scenario för implementering av arbetssättet. Experimentet genomförs i ett provrum där uppföljningen utförs genom kontinuerlig laserskanning som jämförs mot en fristående tidplan. Experimentet inkluderar därmed arbetssättet, likt hur det hade fungerat vid en verklig produktion.

2.2 Nulägesbeskrivning

Genom tidigare forskning, intervjuer med yrkesverksamma samt observation under pågående projekt beskrivs det nuvarande arbetssättet gällande uppföljning av tidplan. Vidare har tidigare användning av tekniken för laserskanning undersökts vilket redovisas i rapporten.

2.2.1 Litteraturstudie

Litteraturstudien har pågått löpande och anpassats till de problemställningar som identifierats i den aktuella verksamheten och branschens utmaningar. Den iterativa processen vid inhämtning av teoretiskt underlag har styrts av de samtal och intervjuer som har ägt rum med yrkesverksamma personer i branschen.

Initialt inhämtades teoretiskt underlag från erkända teorier och metoder kopplade till tidsplanering. Detta för att skapa en övergripande förståelse om vad som har forskats på och implementerats i verkligheten. Efter att intervjuerna specificerades sökningarna för att anpassas till verklighetsproblemet vilket har varit underlag för att besvara frågeställningarna. Med anledning av bristen på tidigare forskning om laserskanning i syfte att följa upp tidplanen har teoretiskt underlag för laserskanning

inhämtats separat. Databaser som använts under litteraturstudien är Scopus och Google Scholar.

2.2.2 Semistrukturerad intervjustudie

Med grund i litteraturstudien utformades en intervjumall för att koppla forskningsunderlag till den faktiska användningen av laserskanning och tillämpning av ny teknik under produktionsskedet. Intervjuerna genomfördes med yrkesverksamma inom husbyggnation och digital utveckling. Intervjuformen som har tillämpats är semistrukturerade intervjuer där förberedelserna består av förslagna frågor kopplade till ett givet tema, men att det finns utrymme för nya frågor utefter vad intervjuobjektet berättar (Kvale, 1996). Metoden har tillämpats i syfte att styra mot relevanta områden för studien men samtidigt lämna utrymme för ytterligare informationsinhämtning kopplade till intervjuobjektets expertområde.

Intervjuernas syfte var att ge en nulägesbeskrivning av dagens tillämpning av:

- Uppföljning av tidplan
- Laserskanning under produktionsskedet
- Andra digitala verktyg kopplade till användningsområdet

2.2.3 Observationsstudie

Genom deltagande under samordningsmöten på projekt Nya Konst har det nuvarande arbetssättet för tidplanering och uppföljning observerats. Studien har genomförts som fullständig observatör där man inte interagerar med människor, utan förlitar sig på en diskret observation (Bryman & Bell, 2011). Det har bidragit till en övergripande uppfattning om vilka utmaningar och möjligheter som finns med dagens metoder. Det skall tilläggas att arbetssättet som observerats är kopplat till det aktuella projektet och kan variera mellan olika företag och projekt. Observationsstudien främsta syfte är därför att skapa ökad förståelse över hur det kan se ut idag, det är inte facit på hur en uppföljning av framdrift fungerar på alla projekt. Observationsstudien kommer utgöra en grund för slutsatser i syfte att jämföra dagens arbetssätt med experimentet.

2.2.4 Enkätstudie

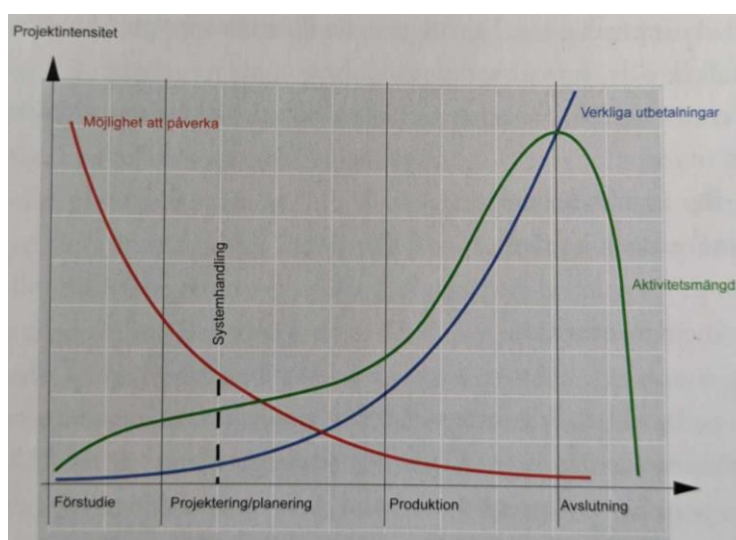
Som komplement till observationsstudien genomfördes en enkätstudie. Enkätstudien främsta syfte är att bidra till en tydligare förståelse av hur informationsinhämtningen av olika discipliners framdrift går till. Deltagarna bestod av yrkesverksamma med erfarenhet inom uppföljning av tidplan. Enkäterna genomfördes anonymt och bestod av flervalsfrågor relaterat till hur de arbetar med uppföljning idag samt hur väl de upplever att samordningen vanligtvis fungerar. Enkät och resultat redovisas i tabellform.

3 TEORETISKT UNDERLAG

I följande kapitel behandlas det teoretiska underlag som ligger till grund för studien. Erkända metoder och ramverk för uppföljning av tidplan behandlas tillsammans med underlaget från nulägesbeskrivningen.

3.1 Samband mellan ekonomi och tid

Fel som upptäcks under produktionen är betydligt kostsammare att återgälda än om de upptäcks under projekteringen. En ändring som kostar 1 000 kr under systemhandlingsskedet kostar 100 000 kr under produktionsskedet (Ottosson, 2009). Figur 1 visar hur kostnaden för ändringar ökar med tiden under ett projekt. Kollisioner och andra fel kan dessutom orsaka betydande förseningar och stopp i produktionen, vilket gör det nödvändigt att upptäcka och åtgärda dessa problem i ett tidigt skede. En lösning som tillämpas idag är att skapa en gemensam 3D-modell där de olika discipliners IFC-filer sammanfogas för att se projektet i sin helhet. I den gemensamma modellen kan man utföra kollisionsskontroller för att upptäcka fel, avgöra byggarhet och se hur olika system fungerar tillsammans innan byggstart.



Figur 1. Möjligheten att påverka kostnader (röd) under projektets olika skeden i förhållande till tid (blå) och intensitet (grön). (Ottosson, 2009) s.179. Återgiven med tillstånd.

Trots noggrant förarbete är det i slutändan människor som ska färdigställa en byggnad utifrån handlingarna. Den mänskliga faktorn och sena ändringar är två faktorer som kan göra att det uppstår kollisioner trots korrekta handlingar, vilket kan bli väldigt kostsamt. Om fel upptäcks i tidiga skeden även under produktion kan tilläggs-kostnader och förseningar minimeras (Ottosson, 2009).

3.2 Last Planner System

Last Planner System (LPS) är en metod utvecklad inom Lean Construction som fokuserar på att förbättra planeringsprocesser i byggbranschen (Ballard, 2000). Syftet med metoden är att skapa en transparent och samarbetsinriktad planeringsmiljö för att undvika förseningar och överskridna budgetar under produktionsskedet.

Inom LPS utgör den sista personen som utför arbetet en nyckelroll i planeringsprocessen och har ansvaret för att skapa en detaljerad och realistisk tidplan för arbetet (Ballard, 2000). Metoden innefattar delmomenten, identifikation av aktivitet, uppskattning av tid och resurser, och fastställande av relationer mellan olika aktiviteter. Genom regelbunden kommunikation och uppföljning av framsteg kan eventuella hinder eller förändringar identifieras och åtgärdas i tid innan ändringen blir för kostsam.

Genom att utnyttja metoden LPS skapas en kultur av kontinuerlig förbättring genom att uppmuntra till reflektion och utvärdering av utförda aktiviteter (Ballard, 2000). Genom att integrera principer från Lean Management och Lean Construction strävar Last Planner System efter att skapa effektivare och mer hållbara projektprocesser, vilket i förlängningen leder till ökad produktivitet och kundnöjdhet.

3.3 Earned Value Management

Earned Value Management (EVM) är en väletablerad projektledningsteknik som kopplar tidplan till budget och omfattning. Den moderna tolkningen introducerades enligt Fleming & Koppelman (2014) av amerikanska flygvapnet på 1960-talet. Denna moderna tolkning kan tillämpas på projekt av alla storlekar och komplexitet oavsett industri. Metoden kräver att man skapar en plan utifrån vilka aktiviteter som ska vara slutförda vid en viss tidpunkt. Det planerade värdet från projektplanen jämförs med prestationen under projektets gång, vilken möjliggör en jämförelse mellan det intjänade värdet och den faktiska kostnaden för det som genomförts. Detta ger en uppskattning av den slutgiltiga kostnaden för projektet.

EVM syftar på att ge en tydligare bild över hur projektet faktiskt fortlöper och vilket slutresultatet som kan förväntas. Metoden kommer enligt Fleming & Koppelman (2014) inte kunna motverka att projekt går över budget men kan ge tidiga varningstecken under projektens framfart. Det skapar således möjlighet att tidigare kunna påverka och fatta beslut om åtgärder som kan vara nödvändiga för att slutföra projektet.

3.3.1 EVM i byggbranschen

Fleming & Koppelman (2014) har observerat metoder likt EVM i byggbranschen och uttrycker att "Oavsett vilket term som används, har det centrala fokuset för Earned Value varit konsekvent genom åren: den exakta mätningen av det fysiska arbetet utfört mot en baslinjeplan" (s. 16).

Även fast EVM inte alltid varit ett aktivt val att arbeta med under projekt så menar Fleming & Koppelman (2014) att en enkel form av EVM uppkommer naturligt under produktionsskedet. När kalkylingenjören kontrollerar att arbetet faktiskt är genomfört, jämförs det intjänade värdet innan fakturan för arbetet godkänns, vilket är en tillämpning av EVM.

Uppföljningen baseras ofta på kvalificerade gissningar vilket lämnar utrymme för påverkan av individers egna erfarenheter. Lipke (2013) belyser att det största hindret för implementering av EVM har varit bristande rapporteringen av intjänat värde.

Samtidigt menar Ballard (2000) att aktiviteters omfattning i bästa fall baseras på historiska data. När man slår samman osäkerheterna kopplade till dessa påståenden blir felmarginalen stor och resultaten av EVM når inte önskad precision.

Med osäkerheten kring huruvida resultaten är sanningsenliga får motståndare till EVM mer vatten på sin kvarn. Motståndarna har enligt Fleming & Koppelman (2014) motiverat att implementeringen av EVM är mer krävande än vad man får ut av den. Fleming & Koppelman (2014) avvisar däremot påståendet och motiverar att man genom att bryta ner konceptet till sin enklaste form kan minimera omfattningen av implementeringen men fortfarande få ut värdefulla resultat.

Som tidigare nämnt förekommer idag tillämpning av EVM i produktionsskedet, till viss del omedvetet. Potentialen är däremot stor att utvidga dess användning, vilket skulle resultera i en mer kvalitativ uppföljning av projekt. En förutsättning för att lyckas är att mer precisa metoder för uppföljning av framdriften kan tillämpas.

3.4 Digitalisering i byggbranschen

Under de senaste åren har byggbranschen genomgått en omfattande digitalisering och idag är implementering av 3D-modeller snarare regel än undantag. Dessa modeller producerar en stor mängd data som kan användas för relevanta analyser. Redan under projekteringen kan man bland annat utföra kollisionskontroller, kostnads- och klimatkalkyler och visuella analyser (Bilal m.fl., 2016)

Vidare belyser Bilal m.fl. (2016) att all den data som finns tillgänglig i en 3D-modell kan ge upphov till nya, utforskade användningsområden. Användningen av modellen i produktionsskedet beskrivs som begränsad på grund av bristen på automatiserade verktyg som kontinuerligt uppdaterar informationen om byggnationens framsteg. Att göra justeringar i modellen i takt med framdriften är för tidskrävande i relation till de värdeskapande aktiviteterna. Samtidigt är dagens metoder som innefattar att gå ut på bygget för att avgöra framsteg inte heller försvarbart med tanke på branschens digitala utveckling i stort. Bilal m.fl. (2016) föreslår att framtida forskning bör behandla frågan och hitta en arbetsmetodik som utnyttjar 3D-modellens data tillsammans med automatiserade verktyg.

Att följa projektets framdrift kan vara utmanande då många faktorer spelar in och inget projekt är det andra likt. I dagsläget finns ingen dominerande teknisk lösning för uppföljning i branschen. Nedan följer information och relevanta begrepp kopplade till digitalisering i byggbranschen. Vidare berörs ett par tekniker som finns på marknaden idag och som genom olika metoder har som mål att öka noggrannheten i uppföljningen.

3.4.1 Byggnadsinformationsmodellering (BIM)

BIM är ett samlingsbegrepp för det objektsbaserade verktyget som har sin grund i 3D-modellering. Objekten kan bland annat innehålla information om byggnadsmaterial, mått, pris och har en relation till varandra. Det innebär att man kan betrakta modellen som en digital kopia av verkligheten. Tekniken är idag väl etablerad i byggbranschen samtidigt som den ännu inte nått sin fulla potential. Azhar & Asce (2011) ger exempel

på hur BIM har bidragit till kostnadsbesparingar och insparade arbetstimmar när det har implementerats i olika projekt. Samtidigt som tekniken tagit stora steg och dominerar i vissa moment under ett projekt, finns det fortfarande stor potential att utöka dess användningsområden under produktionsskedet. Disney m.fl. (2022) beskriver Total BIM där BIM är den primära informationskällan och dess potential att nyttja modeller som vanligtvis begränsas till projekteringsfasen.

3.4.2 4D-planering

Fyrdimensionell planering är en metod som integrerar tidsfaktorn i projektets 3D-modell för att visualisera framsteg över tid i förhållande till tidplan (Chen & Luo, 2014). Då man arbetar med BIM har samtliga objekt i modellen ett unikt ID vilket ger förutsättningar att koppla ett start- och ett slutdatum till dess montering. Att kunna visualisera projektets framdrift skapar möjligheter att säkerställa byggbarheten och att momenten genomförs i rätt ordning. Metoden kan ytterligare nyttjas i tidiga skeden för att fastställa strukturplanen och för att effektivisera planeringen och identifiera potentiella konflikter i förväg. Implementering av 4D-planering under produktionen kan även vara värdefullt för att visualisera framdriften i förhållande till tidplan, vilket förbättrar samordningen mellan olika discipliner och minskar risken för förseningar och kostnadsöverskridanden.

3.4.3 Laserskanning idag

Idag används laserskanning främst för att säkerställa att specifika moment utförts korrekt eller för att skanna in äldre byggnader inför ombyggnationer (Conti m.fl., 2024) Dessa skanningar utförs främst med hjälp av stationära laserskanners, vilka kräver uppsättning av måltavlor och omplaceringar för att täcka hela det önskade området.

En jämförelse mellan Leicas stationära laserskanner RTC360 och den handburna laserskannern BLK2GO genomfördes i den historiska byggnaden Montecatini Terme i Italien år 2024 (Conti m.fl., 2024). Syftet med jämförelsen var att undersöka hur precisionen och effektiviteten hos den handburna laserskannern i jämförelse med den stationära. Resultaten visade att BLK2GO skannade av ytan under en enda skanning på 20 minuter medan RTC360 behövde 70 stycken skanningar som totalt tog fyra dagar att genomföra. Den största skillnaden var att den handburna laserskannern fångade upp 15 procent av den stationära skanners punkter, men på betydligt kortare tid. Genom att styra rundans hastighet vid skanning med den handburna laserskannern kan man anpassa antalet punkter för att uppnå önskad precision baserat på skanningens syfte.

3.4.4 As designed och as built

Bosché m.fl. (2015) definierar begreppen "as designed" och "as built" i kontexten av uppföljning med hjälp av laserskanning och BIM enligt följande:

- **As Designed:** Avser de ursprungliga handlingarna för byggprojektet, vanligtvis representerade i 3D-modeller. Dessa modeller ger detaljerade digitala representationer av byggnationen och utförs under projekteringsskedet.

- **As Built:** Beskriver byggnationen efter att den har färdigställts. Detta inkluderar alla modifieringar, avvikelser som identifierats eller korrigerats under byggprocessen som kan skilja sig från de ursprungliga "as designed"-handlingarna.

Bosché m.fl. (2015) diskuterar hur avvikelser mellan "as designed" och "as built" kan leda till problem som ökade kostnader från ändringar eller förseningar i förhållande till projektets tidplan. Att upptäcka dessa avvikelser tidigt är avgörande för att minimera deras påverkan på projektet.

Laserskanning med en terrester laserskanner (TLS), beskrivs enligt Bosché m.fl. (2015) som ett effektivt verktyg för att följa upp och dokumentera det faktiska framsteget under byggproduktionen. Artikeln diskuterar hur implementering av "scan vs BIM" kan automatisera jämförelsen mellan laserskannade data ("as built") och BIM-modellerna ("as designed"). Denna metod bidrar enligt författarna till följande fördelar:

- **Tidig upptäckt av avvikelser:** Genom att jämföra det aktuella tillståndet av projektet med BIM-modellerna upptäcks avvikelser tidigare, vilket möjliggör snabba åtgärder som kan minska kostnaderna för ändringar.
- **Förbättrad dokumentation:** Laserskanning hjälper till att skapa mer detaljerade och exakta "as built"-handlingar, vilket är användbart för framtida underhåll och fastighetsförvaltning i form av relationshandlingar.

Bosché m.fl. (2015) behandlar inte hur tidskrävande användningen av en TLS är eller omfattningen av den mängd data som behöver hanteras. Fokus ligger snarare på teknikens effektivitet och potential att förbättra noggrannheten av uppföljning av utfört arbete. Författarna har identifierat en del tekniska begränsningar som främst är kopplade till metoden som användes för bearbetning under experimentet.

3.4.5 Modellbaserad framdriftsvisualisering

Genom visualisering av framdriften ges en översiktlig bild över hur för ett projekt förhåller sig till tidsplanen. Detta uppnås genom att använda 3D-modellen som bas, där status för påbörjade och färdigställda objekt uppdateras manuellt. Framdriften kan sedan visualiseras genom färgkodning eller i siffror filtrerat efter önskemål. Dessa redovisningsmöjligheter bidrar till en ökad transparens av framdriften och ökad insikt för samtliga discipliner, vilket J. Hemmingsson (personlig kommunikation, 21 februari, 2024) menar har bidragit till byggarbetarnas engagemang och motivation. I förlängningen visar Kovvuri (2024) att tekniken skapar förutsättningar för 4D-planering, då tidplanen kan kopplas till den modellbaserade uppföljningen.

Tekniken kan ses främst som ett verktyg för dokumentering och redovisning, då framdriften måste matas in manuellt. Samtidigt som tekniken kräver en del handpåläggning vid datainsamlingen är steget från dagens uppföljning förhållandevis litet. Då arbetsledarens roll förutsätter att informationen samlas in kan detta däremot

ses som ett hjälpmedel och bidra till en förenklad informationsinhämtning. Tekniken är däremot begränsad till att mäta framfarten och behandlar inte kvalitet och noggrannhet i genomförandet.

3.4.6 360-kamera

Enligt J. Hemmingsson (personlig kommunikation, 21 februari, 2024) började 360-kameran användas i större utsträckning under coronapandemin, då man på många platser ville minimera antalet personer på byggarbetsplatsen. Huvudsyftet var att kunna följa projektets framdrift på distans. I efterhand har man sett stor nytta i att använda tekniken för att ha tillgång till senaste bilderna från byggarbetsplatsen. Tekniken möjliggör även att man kan gå bak i tiden för att se hur projektet låg till vid en viss tidpunkt eller inspektera detaljer som nu är inbyggda. Tekniken resulterar och begränsas i slutändan till det visuella vilket i vissa fall är tillräckligt. Visuella jämförelser, såsom att jämföra foton mot samma vy i 3D-modellen kan visa vad som är färdigställt samt vara behjälpligt för att identifiera större avvikelser.

4 FÖRSTUDIE

Detta kapitel behandlar den nulägesanalys som genomförts på projekt Nya Konst relaterad till uppföljning av tidplan och de förutsättningar som möjliggjort genomförandet av experimentet.

4.1 Uppföljning av tidplan idag

Hur uppföljningen av tidplanen ser ut under produktionsskedet kan skilja sig mellan olika företag och projekt. Vissa gemensamma faktorer och moment kan däremot observeras oavsett vart man befinner sig. För att beskriva dessa gemensamma faktorer har en observationsstudie samt enkätstudie genomförts på Skanskas projekt Nya Konst. I tillägg har Roger Andersson intervjuats. Andersson har över 20 års erfarenhet av tidsplanering i alla skeden och arbetar idag som konsult ut mot flera företag och projekt. Hans kunskaper och erfarenheter har varit värdefulla för att skapa en förståelse för hur uppföljningen generellt fungerar i projekt idag och vilken utvecklingspotential som finns.

4.1.1 Samordningsmöten

Samordningsmöten är väletablerade i byggbranschen och utgör till stor del den plattform där berörda discipliner kan samlas för att stämma av hur produktionen fortlöper i förhållande till tidsplanen. Plattformen är viktig för produktionens framdrift men Lipke (2013) menar att det finns stora utmaningar i projektledningen och att nya arbetssätt för uppföljning är välkomna. R. Andersson (personlig kommunikation, 23 april, 2024) förklarar att kulturen av att följa upp utfört arbete varierar mycket mellan olika projekt, men att det finns ett samband mellan kontinuerlig uppföljning och projektets framdrift i stort.

På projektet Nya konst sker uppföljning av tidplanen i samband med ett samordningsmöte varannan vecka. Under mötet stäms den gällande tidplanen av och eventuella justeringar diskuteras fram. Tidplanen består av ett antal aktiviteter kopplade till varje enskild disciplin och en avsatt tid för utförande. Tidplanen är ett rörligt schema där aktiviteterna flyttas för att anpassas till de aktuella förutsättningarna allt eftersom de förändras under projektets gång. En disciplins försening kan orsaka en kedjeeffekt som påverkar tidplanen i stort om olika aktiviteter är beroende av varandra. Då aktiviteterna ofta är sammanlänkade och tiderna för genomförandet är uppskattningar, är det ett komplext arbete att samordna tidplanen.

Dagens metod för tidsplanering skiljer sig inte avsevärt mellan stora projekt. Principen är att man bryter ner strukturplanen och utgår från en aktuell avstämningsslinje för att följa upp utfört och kommande arbete. R. Andersson (personlig kommunikation, 23 april, 2024) menar på att detta är en väl fungerande metod ur ett tidsplaneringssyfte, men att det kan behövas utvecklas nya arbetssätt för att lyckas bättre med uppföljning av tidplanen i praktiken. Följande fallgropar har identifierats som gör dagens tidsplanering och framdriftsuppföljning ineffektiv:

- Berörda discipliner dyker inte upp på avstämningsmöten.
- Enskilda discipliner kommer oförberedda till mötena och har inte koll på hur arbetet fortgår.
- Informationen som tas upp på avstämningsmöten är inte längre aktuell.
- Det tillkommer mycket manuellt arbete för att revidera tidsplanen och hålla den aktuell.

R. Andersson (personlig kommunikation, 23 april, 2024) menar vidare att projektets platschef utgör en stor roll för i vilken grad uppföljning av utfört arbete prioriteras. Vidare belyser han vikten av att skapa en kultur där kontinuerlig kommunikation och problemlösning mellan olika discipliner och underentreprenörer uppmuntras.

R. Andersson (personlig kommunikation, 23 april, 2024) ser också en stor potential i att uppnå en träffsäkrare uppföljning av utfört arbete, då det i förlängningen skulle kunna möjliggöra underlag till prestationsbunden betalning. Något som idag är svårt att uppnå på grund av den osäkerhet som finns kopplad till dagens uppskattade uppföljning.

4.1.2 Enskilda discipliners uppföljning av tidplan

För att skapa en förståelse hur olika discipliner och underentreprenörer arbetar med uppföljning av tidplanen inför samordningsmöten har en mindre enkätundersökning genomförts. Undersökningen har riktat sig till yrkesverksamma som idag ansvarar för att informera tidplansamordaren om utfört arbete, hinder och eventuella förseningar i tidplanen.

Gemensamt för alla som svarat på enkäten är att de inte använder några specifika hjälpmedel för att åstadkomma en mer träffsäker uppföljning, utan baserar framdriften på uppskattningar och erfarenhet. Detta kan enligt R. Andersson (personlig kommunikation, 23 april, 2024) förklaras genom att en projektledare/arbetsledare idag har väldigt många arbetsuppgifter utöver att kontrollera framdrift. Tidsbristen i kombination med avsaknaden av effektiva digitala hjälpmedel som inte kräver extra manuellt arbete är de största faktorerna till varför uppföljningen ser ut som den gör idag.

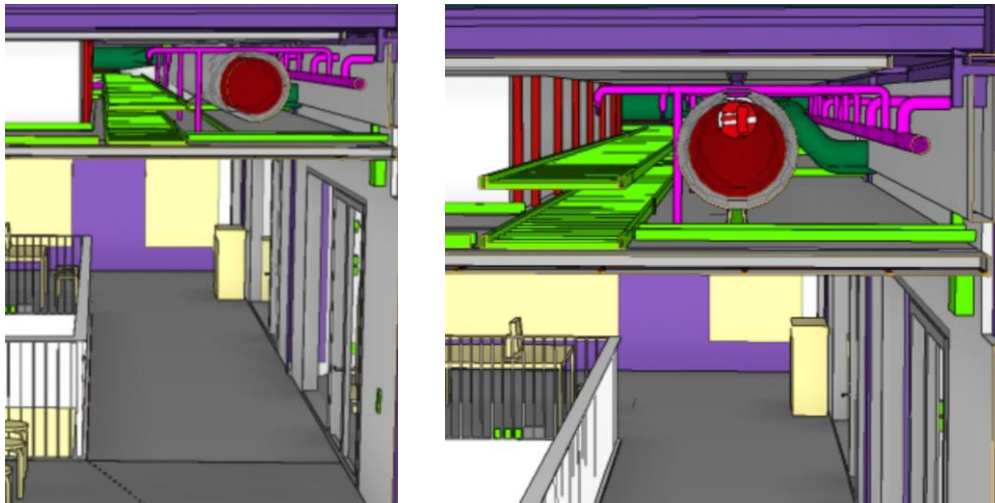
4.2 Förutsättningar för försök

Nya konst är ett projekt där Skanska som huvudentreprenör ska uppföra två nya byggnader samt genomföra en ombyggnation av en befintlig byggnad för Akademiska hus. Lokalerna ska användas för att bedriva undervisning och forskning inom musik, konst och humaniora. De varierande användningsområdena innebär höga akustiska krav, vilket leder till unika och komplexa lösningar för exempelvis innerväggar och installationsstråk. Projektet har med tanke på verksamheten ett stort fokus på den estetiska utformningen. Arkitektkontoret har tagit fram ett flertal icke-standardiserade lösningar där byggbarheten behöver undersökas för att undvika störningar vid arbetsmomenten i den storskaliga produktionen.

4.2.1 Rumslig avgränsning av skanning

För att säkerställa byggbarhet av vissa moment tillämpas en uppbyggnad av ett provrum där man i ett tidigt skede utför byggnationen i mindre skala. Fördelarna är att kunna upptäcka svåra moment och ta fram eventuella åtgärdsplaner för att lösa problemen. Genom uppförandet av provrummet kan man undvika förseningar och kostsamma åtgärder som annars kan uppstå om momenten är obeprövade innan produktion.

På projektet har man beslutat att uppföra provrummet i form av ett korridorstråk inför kommande nybyggnation i syfte att undersöka byggbarheten i ett kritiskt område där installationer ligger tätt under ett rastertak. I provrummet kommer alla discipliner inom den avgränsade ytan att samverka för att utföra sina arbeten enligt bygghandlingarna, vilket återspeglar en verklig situation under produktion. Momenten som ingår i uppförandet av korridorstråket är innerväggar, sprinkler, ventilation, el, ljudabsorbenter och undertak. Figur 3 visar 3D-modellen beskuren till det aktuella området för provrummet.



Figur 3. Skärmbild från Dalux: visar avgränsning för provrum. (egna bilder)

Möjligheterna att genomföra testerna i anslutning till ett pågående projekt ger en naturlig koppling till de utmaningar och möjligheter som kan vara kopplade till implementering av laserskanning under produktionen. Vidare ger det även en koppling till de olika discipliner som är involverade under produktionsskedet samt samordningen dem emellan, vilket ger förutsättningar till observationsstudien.

4.2.2 Genomförande av experimentell studie

Studien genomförs genom att ta fram och utvärdera en arbetsmetod för kontinuerlig laserskanning under produktionsskedet med uppföljning av tidplanen som primärt syfte. Implementeringen av arbetssättet kommer att äga rum under uppbyggnaden av provrummet. Det skapar förutsättningar för att testa hela arbetsgången från laserskanning till bearbetning och slutligen framställande av resultat som jämförs med tidsplanen för provrummet.

Omfattningen av försöken är begränsade till provrummet med en fristående tidsplan. Tidplanen för det aktuella provrummet samt en avgränsad 3D-modell med tillhörande bygghandlingar utgör underlag för produktionen av korridorstråket. Uppföljningen under byggskedet sker veckovis med hjälp av laserskanningen med målet att följa tidplanen så bra som möjligt och upptäcka eventuella avvikelser för att snabbt kunna agera utifrån de avvikelser som identifierats. Målet med den experimentella studien är att komma så nära en verklig produktion som möjligt, vilket har styrt de val som gjorts för hur studien genomförs.

4.2.3 Framtagen tidplan för korridorstråk

En tidplan har specifikt tagits fram för de ingående aktiviteterna i provrummet. Tidplanen inkluderar även de fem planerade tillfällena för laserskanning under produktionen. Laserskanningarna kommer utföras på utsatt tid oavsett projektets framfart för att efterlikna den kontinuerliga uppföljningen under produktion.

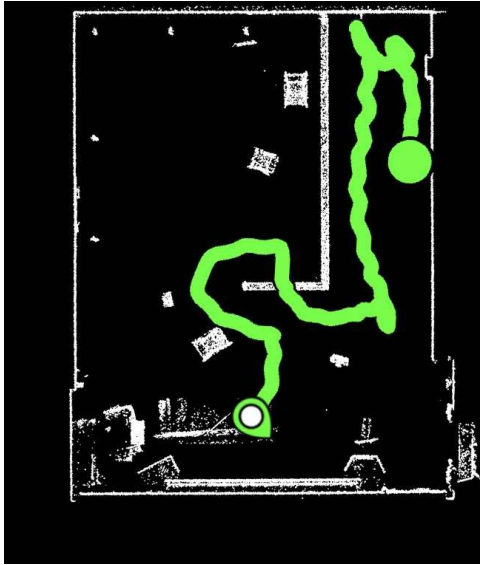
Bilaga 1 redovisar tidplanen som tagits fram i samarbete med arbetsledningen på projekt Nya Konst. Processen motsvarar därmed hur en tidplan kan framställas under ett pågående projekt.

4.2.4 Laserskanning

För att genomföra experimentet används en handburen laserskanner av modell Leica BLK2GO. Skannern kan ta upp 420 000 punkter per sekund, jämfört med en traditionell stationär skanner som ligger i spannet 500 000- 1 000 000 punkter per sekund (Leica Geosystems, 2024). Men den handburna laserskannerns styrka ligger i dess mobilitet, användarvänlig och flexibilitet, där man med hjälp av skannern på ett tidseffektivt sätt kan skanna av stora byggnader genom att produkten skapar ett punktmoln i realtid medans man går en runda.

Laserskanningen genomförs enligt Leicas rekommendationer för den handburna laserskannern BLK2GO. Följande punkter har betydelse vid användning av laserskannern och har beaktats vid försöken:

- Uppstarten ska ske på en plats i rummet där tydliga referenspunkter, exempelvis där skarpa hörn är närliggande.
- Belysningen i rummet är avgörande för punktmolnets färgsättning men påverkar inte precisionen.
- Punktmolnets täckning följs live under skanningen i appen "BLK2GO live". Den direkta responsen i appen möjliggör anpassning av gångmönster och tempo utefter hur punktmolnet utvecklas under skanningen.
- Laserskannern hålls över axelhöjd för att uppnå en bra upptagningsyta.



Figur 5. Skärmbild från appen "BLK2GO live" under pågående skanning som visar gångmönster i grönt och upptagna punkter i vitt (egen bild).

4.2.5 Bearbetning av data

Laserskanningen resulterar i punktmoln som ger förutsättningar att bearbeta den insamlade datan i flertalet verktyg. Vid bearbetning av punktmolnet används Leicas egen programvara Cyclone, som är uppdelat i Cyclone Register där inläsning av punktmolnet sker samt Cyclone 3DR där resterande bearbetning sköts. Programvaran innehåller de funktioner som är aktuella för vårt område i studien.

Bearbetning kan delas upp i ett antal steg baserat på den efterfrågade informationen. Momenten i bearbetningen redovisas för att kunna tillämpas oavsett vilken programvara man arbetar i och går därför inte in på metoder hur man steg för steg använder de olika verktygen i den specifika programvaran. Det som är av störst intresse för studien är att med hjälp av skanningen få fram data på hur långt olika discipliner har kommit inom den rumsliga avgränsningen. Det resulterar i att bearbetningen består av följande steg:

- **Inläsning av punktmolnet:** Genomförs i Cyclone Register och resulterar i ett obearbetat punktmoln där alla punkter från skanningen visas.
- **Uppstädning av punktmolnet:** Vi har under försöken valt att rensa punktmolnet från irrelevanta eller felaktiga punkter i Cyclone 3DR. Både Cyclone Register och Cyclone 3DR erbjuder verktyg för att förenkla det manuella arbetet. Att punktmolnet behöver städas upp kan bero på störningar från blanka ytor eller människor som vistas i rummet under skanningen.
- **Kategorisering av punktmolnet:** Det andra steget som genomförs för att ge en visuell bild över de olika byggnadsdelarna samt filtrera vad som visas. Det innebär att punktmolnet kategoriseras och således delas in utefter disciplin. Med hjälp av ett AI-baserat verktyg kan kategoriseringen i stora drag göras automatiskt i Cyclone 3DR.

- **Jämförelse mot 3D-modellen:** Detta steg genomförs för att analysera och ta fram relevanta resultat i uppföljningssyfte. När punktmolnet är korrekt och kategoriserat kan det jämföras mot 3D-modellen, vilket möjliggör identifiering av avvikelser från modellen, risk för kollisioner och hur mycket som är färdigställt. Då främsta intresset för arbetet är projektets framfart vill vi se vilka delar som är på plats, disciplin för disciplin för att på så vis få ut information om hur framfarten i produktionen löper. Med denna information möjliggörs jämförelse mot tidplanen för att se hur projektets olika delar ligger till.

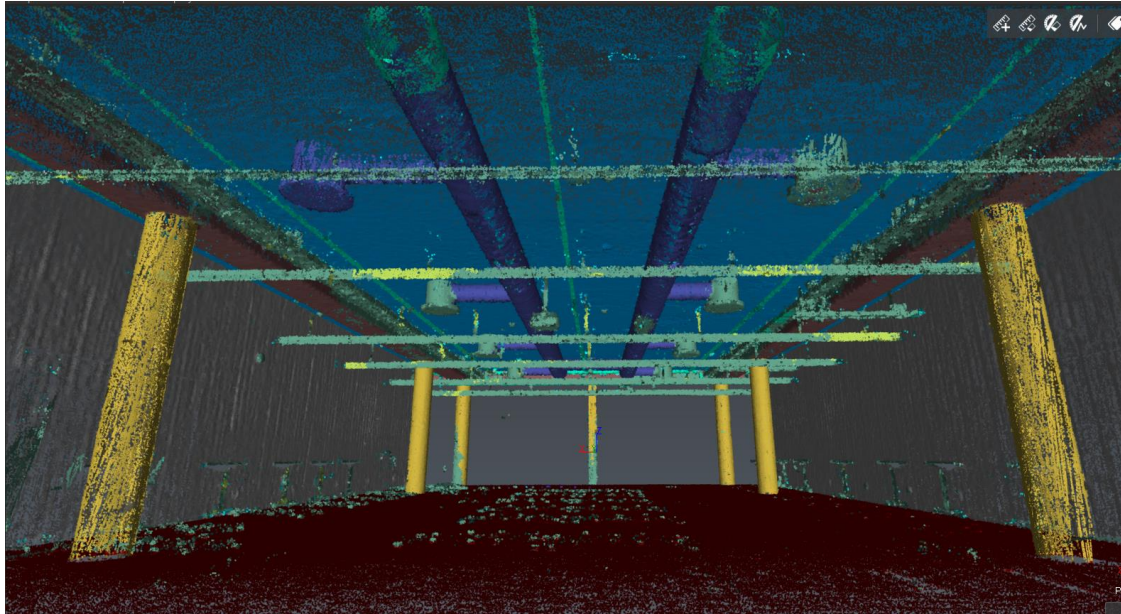
4.3 Pilotprojekt

För att testa produkten och bearbetningen utfördes ett pilotprojekt inför de skarpa försöken. Pilotprojektet innefattade en skanning samt bearbetning av punktmolnet i form av uppstädning och kategorisering. Då tillgång till en 3D-modell av det skannade rummet saknades kunde inte vidare kontroller och jämförelser genomföras.

För att testa skanningen och kategoriseringen av punktmolnet söktes ett rum med täta och synliga installationer, likt det som senare skulle analyseras i experimentet. Rummet som valdes var SB-M022 på Chalmers tekniska högskola, Johanneberg. Rummets attribut möjliggjorde en undersökning av hur skannern hanterade synliga installationer i form av ventilation, sprinkler, kabelstegar och vattenledningar. Försöket bidrog även till en ökad förståelse av hur skannern reagerar på ljussättning och reflektioner från blanka ytor och glaspartier.

Bearbetningen delades upp i två steg. Första steget innebar att avgränsa punktmolnet till det aktuella området då skannern även inkluderar punkter i omkringliggande miljöer genom glaspartier och öppna dörrar. Ytterligare uppstädning av molnet krävdes för att ta bort de felaktiga punkterna orsakade av reflektioner.

Steg två i bearbetningen var att dela in punktmolnets innehåll i disciplinpassade kategorier. Detta bidrar till en visuell bild av de olika byggnadskomponenterna och möjliggör filtrering utefter disciplin. Genom Cyclones AI-baserade kategorisering kan arbetet till viss del automatiseras. Kategoriseringen kan urskilja och ta bort människor samt objekt exempelvis lös möblering. Kategoriseringen valdes att göras med hjälp av Cyclone 3DRs förinställda kategorier för "Indoor Construction Site". Programmets kategorisering kunde inte med inställningarna urskilja ventilationskanaler från sprinklerör och vattenledningar, manuellt arbete krävdes för att skapa olika kategorier för dessa discipliner. Vidare hamnade tilluftsdon och kabelstegar AI-kategoriseringen under kategorin "övrigt" och behövde därför justeras manuellt.



Figur 6. Skärmbild från Cyclone 3DR: kategoriserat punktmoln från pilotprojekt (egen bild).

5 RESULTAT

I detta kapitel redovisas resultaten av de experimentella försök som utförts under projektet. Varje skanning redovisas separat för att kunna urskilja gemensamma faktorer och eventuella felkällor vid enstaka skanningstillfällen. Vidare är det av intresse att kunna analysera orsaker till eventuella felaktigheter för att se om de kan kopplas till handhavandefel eller en osäkerhet som kommer förekomma i produktion vid implementering av tekniken.

5.1 Inläsning av IFC-filer i Cyclone

Att läsa in IFC-filerna i Cyclone är ett moment som enbart behövde utföras en gång, men visade sig vara betydligt mer tidskrävande och svårhanterat än laserskanningen och bearbetningen av punktmolnen. En del problem har varit relaterade specifikt till projektfilerna för Nya Konst, medan andra är generella för IFC-hantering i Cyclone. Följande fallgröpar har identifierats:

- **Storlek och detaljnivå:** IFC-filerna från projektet är för stora och detaljerade för att arbeta med i Cyclone.
- **Framdriftsverktyg:** När man använder sig av framdriftsverktyget i Cyclone jämför programmet utfört arbete med hela IFC-filens innehåll, trots att modellen beskrivs för att enbart analysera det aktuella området.
- **Koordinatsystem:** Olika discipliners IFC-filer hade olika noll-koordinater, vilket innebär att de inte hamnar rätt i förhållande till varandra i Cyclone.

Dessa svårigheter innebar en hel del manuellt arbete i Revit för att begränsa IFC-filerna till det aktuella undersökningsområdet och förflytta koordinater manuellt.

5.2 Uppföljning 1

Den första skanningen genomfördes enligt tidplan. På grund av viss osäkerhet inför laserskanningen utfördes tre skanningar i provrummet med olika gångmönster för att säkerställa ett kvalitativt resultat. I Cyclone Register synkades punktmolnen till varandra för att på så vis överlappa, vilket bidrog till en förbättrad precision.

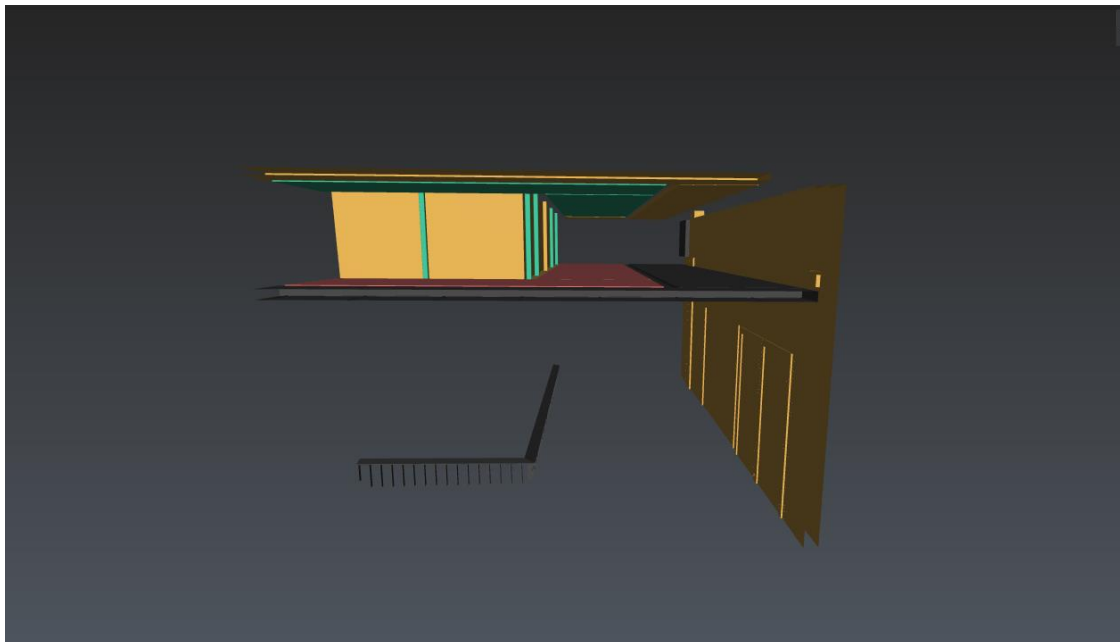
Tabell 1. Resultat av uppföljning 1

Antal punktmoln	3 st
Total tidsåtgång för laserskanning	10 min
Avvikelser från tidplanen	1 st
Avvikelser från projektmodellen	0 st

Vid kategorisering av punktmolnet användes det AI-baserade verktyget i Cyclone 3DR. Verktyget identifierade inte alla relevanta objekt, vilket resulterade i en del manuella justeringar. Faktumet att projektet var i ett tidigt stadie främst och att endast väggar, reglar och tak var på plats samt att skanningen utfördes på en begränsad yta bidrog till att arbetet med kategorisering gick snabbt.

När resultaten från bearbetningen var färdigställda jämfördes de mot tidsplanen. Enligt tidsplanen i bilaga 1 skulle utsättningar vara genomförda och gipsning av väggar kommit halvvägs. Resultaten redovisades både visuellt enligt figur 7 samt i siffror där andel påbörjade samt färdigställda objekt framgår. Färgsättning av objekten tillämpas för att visualisera projektets framdrift där gröna objekt är färdigställda, gula objekt är påbörjade, röda objekt är precis påbörjade och gråa objekt inte är påbörjade.

Resultatet bekräftar att väggarna var påbörjade, vilket visuellt visas genom dess gula färgsättning. Trots att modellen beskurets till provrummets yta kunde vi konstatera att siffrorna för projektets status baserades på hela den inlästa projektmodellen. Det resulterade i att siffrorna på projektets status blev irrelevant, vilket gjorde att det inte var möjligt att avläsa hur stor andel av den totala väggytan som var monterad i provrummet. Vidare visar figur 7 att montering av ljudabsorbenter i taket är påbörjad, vilket är felaktigt då det varken stämmer med verkligheten eller tidplanen.



Figur 7. Skärmbild från Cyclone 3DR: resultat av jämförelse mellan skanning 1 och beskuren 3D-modell (egen bild).

Sammanfattning av första uppföljningen:

- Den första skanningen utgjorde ett startläge för experimentet. Bjälklag och innerväggar var påbörjade.
- Tre skanningar utfördes, punktmolnen sammanfördes för en ökad precision.
- AI-verktyget för kategorisering hanterade innerväggar och tak väl men hade svårigheter att identifiera väggreglar.
- Procentsats på utfört arbete blev missvisande då punktmolnet jämfördes mot hela projektmodellen och inte enbart den beskurna delen som skulle analyseras.

5.3 Uppföljning 2

Den andra skanningen utfördes enligt tidplan. Skanningen inklusive uppstart tog totalt 15 minuter varav två skanningar på ca 3 minuter vardera. Det punktmoln med bäst täckning för det aktuella området i rummet valdes, till skillnad från uppföljning 1 där tre punktmoln sammanlänkades. Detta för att kontrollera att man kunde uppnå en tillräcklig precision genom att endast gå en runda på byggarbetsplatsen, vilket är ett mer verklighetstroget scenario.

Tabell 2. Resultat av uppföljning 2

Antal punktmoln	2 st
Total tidsåtgång för laserskanning	6 min
Avvikelser från tidplanen	2 st
Avvikelser från projektmodellen	0 st

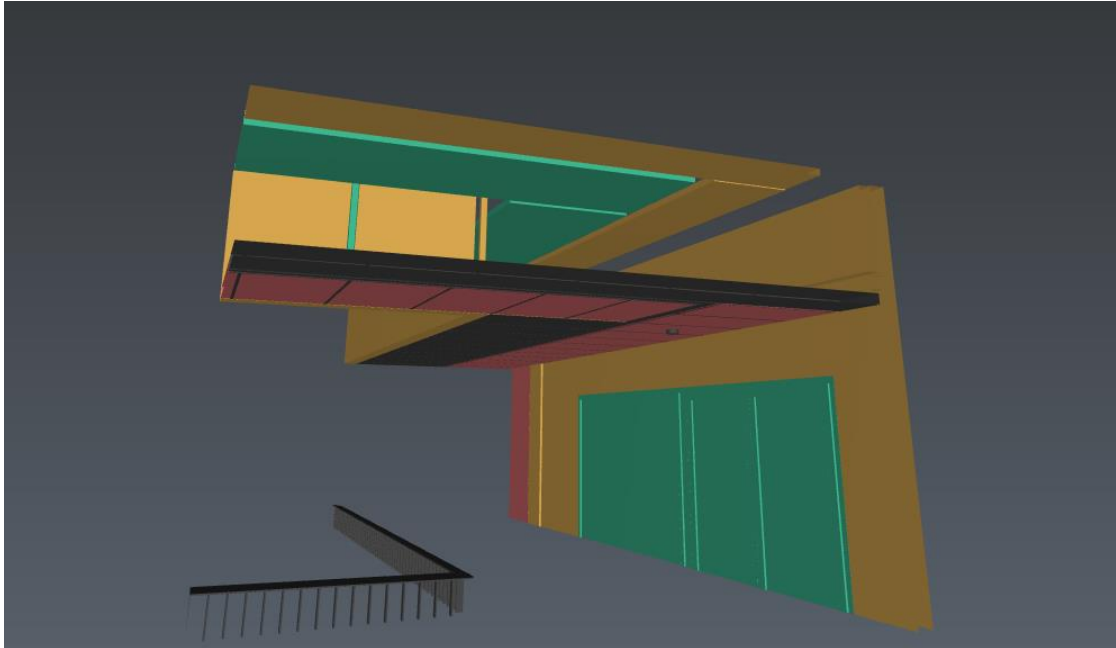
Punktmolnet beskars till det aktuella området och städades upp samt kategoriserades likt vid första bearbetningen. En mer automatiserad uppstädning genomfördes med hjälp av den automatiska kategoriseringen. Även fast detta minskade den manuella hanteringen av punktmolnet var fler objekt på plats vid andra skanningen vilket i sin tur resulterade i totalt sett mer manuellt arbete för att åstadkomma en korrekt kategorisering. Ljudabsorbenterna som var på plats vid skanningen tolkade verktyget som tak. För att skilja dem från taket skapades en ny kategori för ljudabsorbenter där de tillhörande punkterna ur punktmolnet adderades manuellt.

Vid bearbetning av det andra punktmolnet skalades IFC-filen ned till att endast inkludera provrummets yta innan den lästes in i Cyclone. Det resulterade i en mindre modell som bidrog till att bearbetningen därefter gick betydligt smidigare och snabbare. För att begränsa projektmodellen till provrummet lästes den in i Revit för att beskäras till det aktuella området. En begränsning som uppmärksammades var att objekt som gick utanför det aktuella området inte kunde beskäras, vilket resulterade i att modellen för provrummet inkluderade objekten i sin helhet. Det bidrog till en modell som innehöll delar av objekt som inte var av intresse för experimentet.

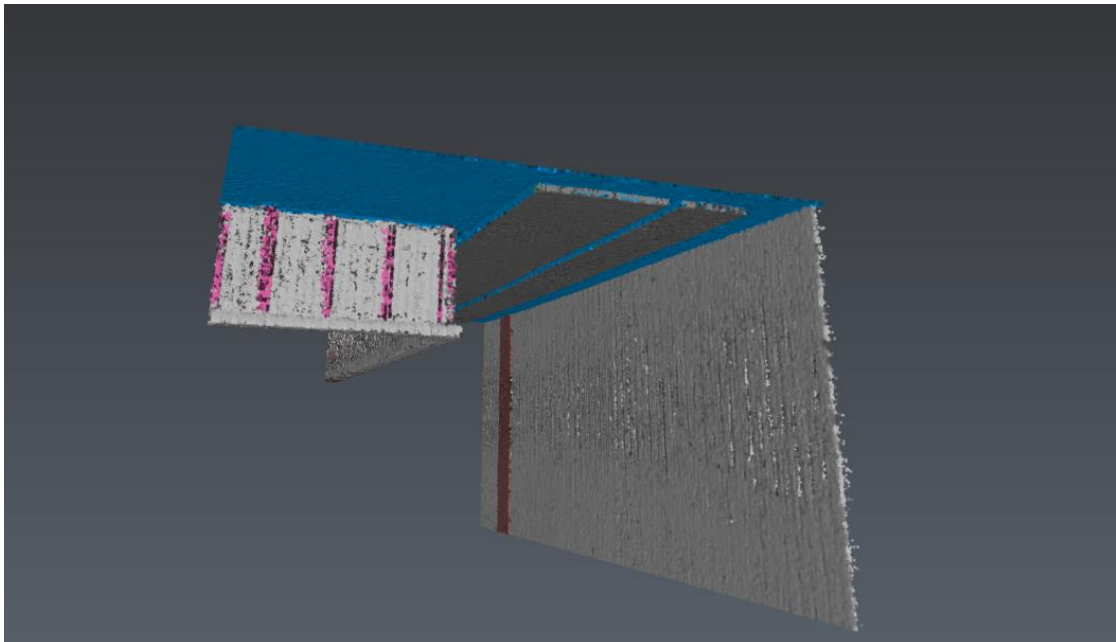
Då den beskurna modellen fortsatt innehöll delar av byggnadselement som sträcker sig utanför området för provrummet inkluderas dessa i beräkningen av påbörjade och slutförda objekt. I fallet för provrummet kunde det visuella resultatet av objektens status användas för att skapa en uppfattning om hur mycket som är färdigställt. Inställningar för hur stor del av punktmolnet som ska sammanfalla med modellen för att objekten ska anses vara påbörjade eller slutförda justeras lätt vid jämförelsen i Cyclone 3DR. För att få utslag på objekten vid jämförelsen för provrummet sänktes dessa nivåer för att representera den procentuella andel av objekten som låg innanför det beskurna området för provrummet.

Enligt tidplan i bilaga 1 skulle väggar vara färdigställda och ljudabsorbenter monterade i tak och på väggar. Figur 8 redovisar visuellt att ett par ljudabsorbenter är på plats samt att resterande är påbörjade. Jämförs det med det kategoriserade punktmolnet enligt figur 9 ser vi att samtliga ljudabsorbenter är monterade vilket

tyder på att jämförelsen i Cyclone är missvisande. Vidare noteras att byggnadsdelar markeras som färdigställda eller påbörjade trots att de enligt kategoriseringen inte motsvarar de byggnadsdelar som återfinns i modellen. Ett exempel på detta är glaspartierna som beslutades att inte byggas upp i provrummet. I Cyclone är de däremot markerade som färdigställda trots att det är en gipsvägg som ersatt glaspartiernas position.



Figur 8. Skärmbild från Cyclone 3DR: resultat från jämförelse av kategoriserat punktmoln och 3D-modell vid andra lasersanningen (egen bild)



Figur 9. Skärmbild från Cyclone 3DR: kategoriserat punktmoln från andra laserskanningen (egen bild)

Sammanfattning av andra uppföljningen:

- Andra skanningen utfördes då väggar, bjälklag och ljudabsorbenter skulle vara monterade enligt tidsplanen.
- Två skanningar utfördes, varav det punktmoln med bäst täckning användes vid jämförelse med 3D-modellen.
- 3D-modellen ersattes av en mindre modell beskuren till provrummets yta. Det resulterade i att programmet svarade bättre.
- Procentsats på utfört arbete är fortfarande missvisande då 3D-modellen fortfarande innehåller objekt som går utanför området för provrummet. Därav tillämpas en visuell analys vid jämförelse mot tidsplanen.

5.4 Uppföljning 3

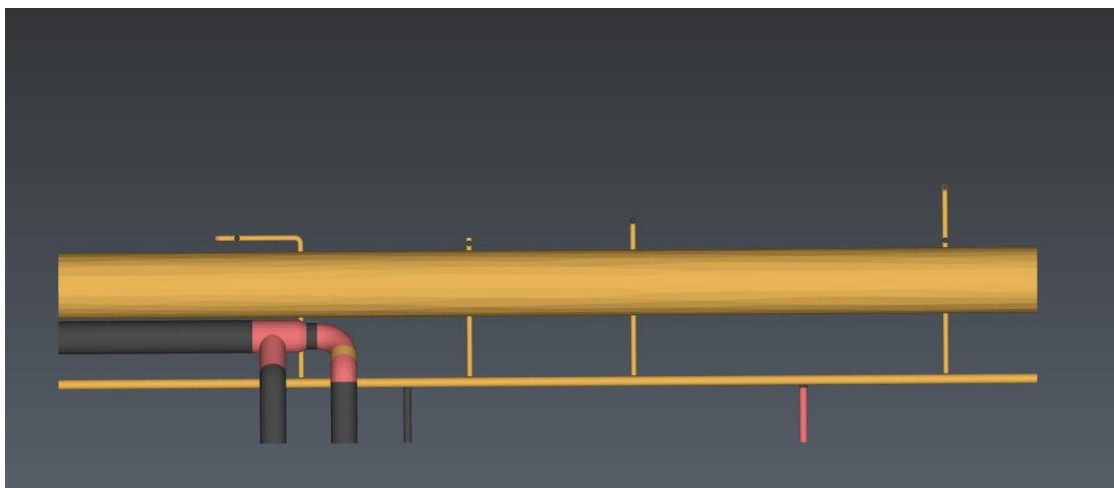
Den tredje skanningen utfördes enligt tidplan. Tidigare skanningar har bidragit med kunskap av vad som krävs för ett kvalitativt punktmål. De osäkerhetsmomenten som uppkommit under tidigare skanningar har eliminerats i takt med att erfarenheten av skanningarna och bearbetningen utvidgats, därav genomfördes endast en skanning.

Tabell 3. Resultat av uppföljning 3

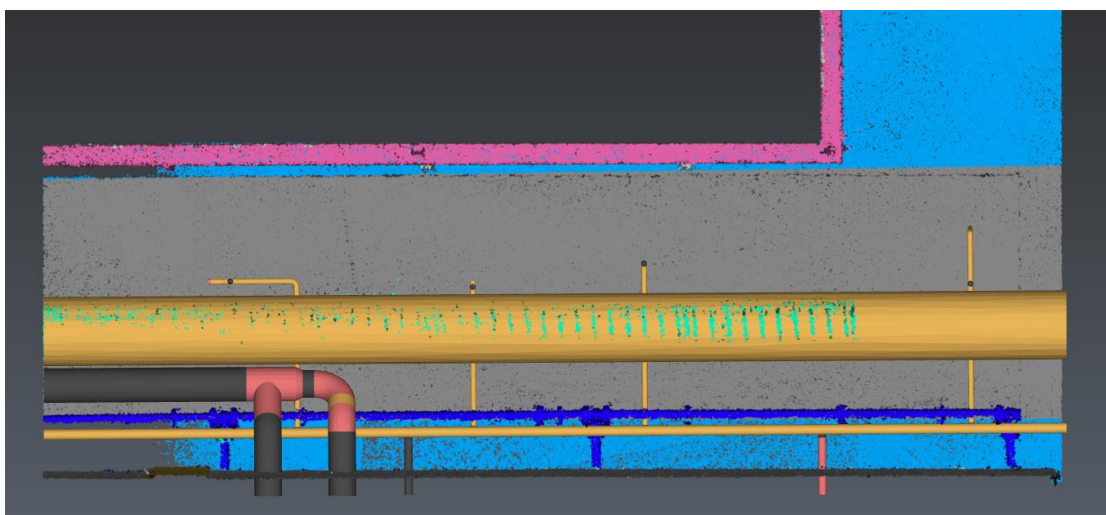
Antal punktmoln	1 st
Total tidsåtgång för laserskanning	3 min
Avvikelser från tidplanen	2 st
Avvikelser från projektmodellen	1 st

Punktmolnets komplexitet ökade i takt med att fler discipliner var på plats. Vid tidpunkten för den tredje skanningen var delar av ventilationen och sprinklersystemet monterade. Detta ökade mängden manuellt arbete som krävdes för att korrekt kategorisera de olika objekten. Verktyget för klassificering är bra på att identifiera rör men gör ingen skillnad på discipliner. Det resulterar i att man manuellt får dela in rören efter disciplin vid intresse.

Enligt tidplan i bilaga 1 skulle dragnings av ventilationskanaler vara påbörjat och dragnings av sprinklerskanaler vara färdigställda vid skanningstillfället. För att se framdriften för de aktuella disciplinerna jämfördes punktmolnet mot modellen för installationer som i snittet inkluderar sprinklers och ventilation. Resultatet för installationerna redovisas i figur 10 som visar att både sprinklers och ventilation är påbörjade men inte färdigställda. Avvikelsen från tidsplanen för sprinklersystemet ledde till en visuell kontroll av jämförelsen. I figur 11 kunde en avvikelse från 3D-modellen observeras. Avvikelsen från modellen kunde därmed lyftas med projektledare som beslutade om lämplig åtgärd. Att sprinklers inte var markerade som färdigställt tycks vara kopplat till avvikelsen vilket resulterade i att den tidigt kunde upptäckas.



Figur 10. Skärmbild från Cyclone 3DR: resultat av installationer från tredje laserskanningen (egen bild)



Figur 11. Skärmbild från Cyclone 3DR: jämförelse av tredje laserskanningen och 3D-modell för installationer, bekräftar sprinklerstammens avvikelse i mörkblått, (egen bild)

Sammanfattning av tredje uppföljningen:

- Tredje skanningen genomfördes då sprinklerskanaler skulle vara monterat och ventilationskanaler påbörjade.
- Endast en skanning genomfördes tack vare den ökade erfarenheten från tidigare skanningar.
- Det uppmärksammades att AI-verktyget för kategorisering inte skiljer på rör och kanaler beroende av disciplin, vilket kräver manuell justering.
- En avvikelse av sprinklerkanalens position upptäcktes och kunde följas upp mer projektledaren.

5.5 Uppföljning 4

Den fjärde skanningen utfördes enligt tidplan. Vid denna tidpunkt var en stor andel av installationerna på plats. Det resulterade både i att punktmolnet fick en sämre

täckning bakom installationerna samt i en ökad mängd manuellt arbete vid kategorisering av punktmolnet. Den ökade mängden manuellt arbete som krävs för att kategorisera punktmolnet tyder på att arbetssättet hade blivit utmanande i stor skala.

Tabell 4. Resultat av uppföljning 4

Antal punktmoln	1 st
Total tidsåtgång för laserskanning	2 min
Avvikelser från tidplanen	2 st
Avvikelser från projektmodellen	1 st

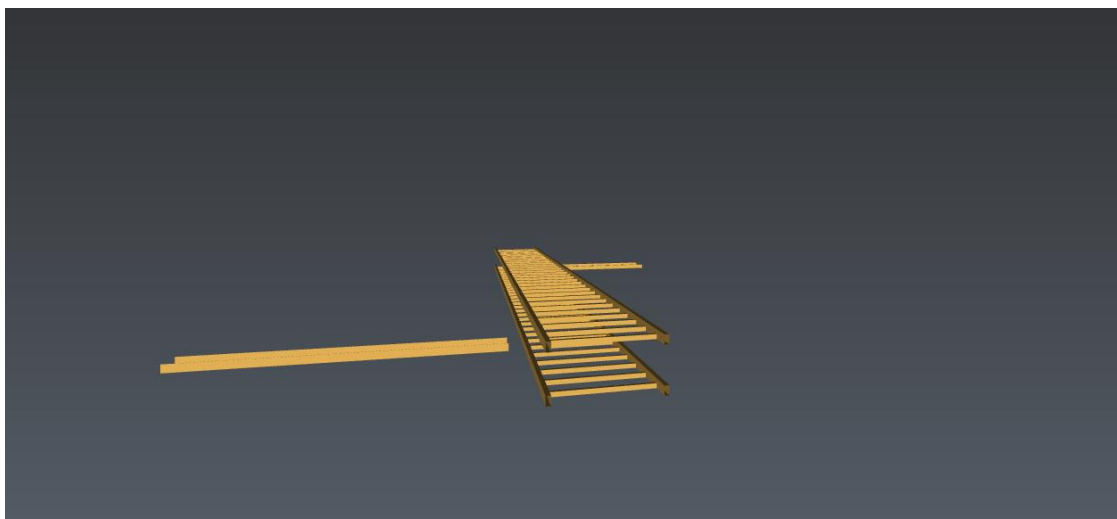
Vid skanningstillfället skulle allt arbete ovan undertaket vara utfört enligt tidplan i bilaga 1. En första jämförelse genomfördes mellan punktmolnet och den huvudsakliga modellen exklusive installationer. Vid jämförelsen kunde avsaknaden av ljudabsorbenter på väggarna uppmärksammas. Vidare tyder jämförelsen på att ljudabsorbenter i taket samt att skärmväggen inte är färdigställda, den informationen motsätter sig vad som faktiskt är på plats. En förklaring till att skärmväggen inte markerats som färdigställd kan bero på att en stor andel av den sträcker sig utanför det aktuella snittet.

Avstämningen för el samt övriga installationer genomfördes i två separata jämförelser mot punktmolnet. Figur 12 visar att montering av elstegarna är påbörjade men inte slutförda. Då de skulle varit på plats enligt tidplanen kunde en visuell kontroll av dess montering bekräfta att positionen avviker något från modellen enligt figur 13. Ett osäkerhetsmoment som bidragit till provrummets uppbyggnad är montering av rastertaket. Då vi i figur 13 kan konstatera att elstegarna ligger närmre nivån för rastertaket än i modellen bör avvikelser följas upp för att undvika följdproblem vid kommande moment.

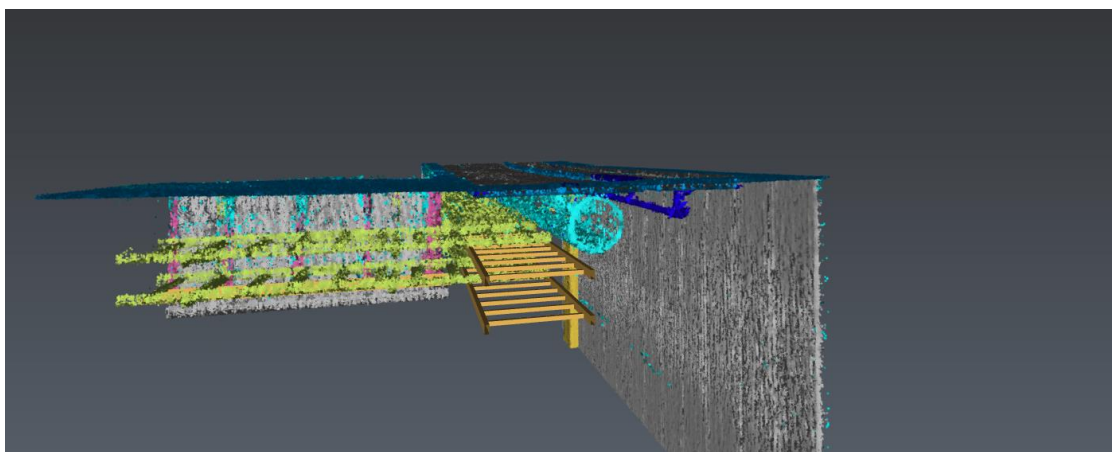
Vid jämförelsen av övriga installationer observeras enligt figur 14 att sprinklerskanalernas felaktiga position justerats och nu är på rätt plats enligt modellen. Att både ventilationen och sprinklers till stor del endast är markerade som påbörjade har därmed sin inte sin förklaring i felplacering. Då punktmolnet till stor del stämmer väl överens med modellen tyder det på att problemet snarare ligger i programmets begränsningar att koppla punktmolnet till 3D-modellen då skanningen inte fångar upp ovasidan av rör och kanaler.

Sammanfattning av fjärde uppföljningen;

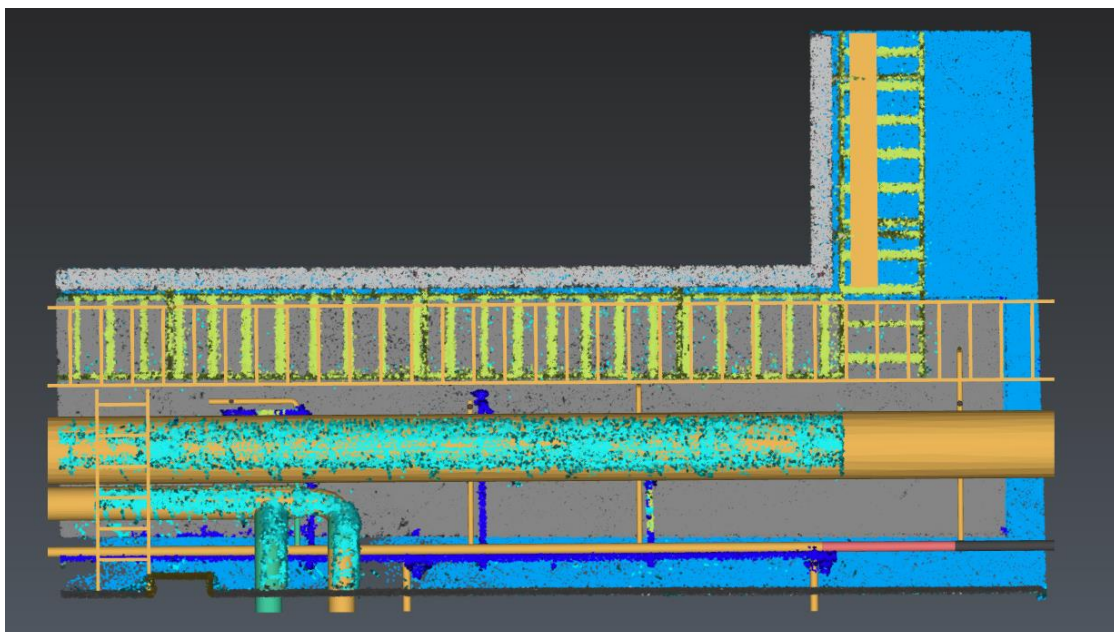
- Fjärde skanningen genomfördes då allt ovan undertak skulle vara monterat.
- Trots att ventilation och sprinklers är monterade på rätt plats är dess status fortsatt "påbörjad" men inte "slutförd".
- En avvikelse av kabelstegarnas position uppmärksammades.



Figur 12. Skärmbild från Cyclone 3DR: resultat av elinstallationer från fjärde laserskanningen (egen bild)



Figur 13. Skärmbild från Cyclone 3DR: visuell jämförelse av fjärde laserskanningen och 3D-modell för elinstallationer som visar kabelstegarnas avvikelser (egen bild)



Figur 14. Skärmbild från Cyclone 3DR: visuell jämförelse av fjärde laserskanningen och 3D-modell för installationer som visar att felaktigt monterade sprinklerskanaler är återgåldade (egen bild)

5.6 Uppföljning 5

Den femte skanningen skulle äga rum då projektet var färdigställt. På grund av försenade leveranser av rastertaket hade arbetet stannat av och inget nytt framgick från skanningen. Trots detta genomfördes skanningen som planerat enligt tidplan i bilaga 1, men resultaten bekräftade att inga ytterligare installationer eller framsteg hade gjorts sedan den förgående uppföljningen. Denna fördröjning påverkade den övergripande tidplanen.

6 DISKUSSION

I följande kapitel diskuteras och analyseras rapportens resultat. Med genomförd nulägesanalys och teoretisk bakgrund som underlag utvärderar diskussionen vilka aspekter som är av central betydelse för att framgångsrikt implementera laserskanningen i syfte att förbättra uppföljningen av utfört arbete.

6.1 Laserskanning

Användningen av handburen laserskanning fungerar idag tillräckligt bra för att tillämpa i stor skala. Experimenten visade att det va möjligt att genomföra laserskanningar utan hinder på ett tidseffektivt och användarvänligt sätt. Det krävs varken förkunskap om punktmoln eller laserskanning för att kunna skanna ett valt område på ett framgångsrikt sätt, vilket de yrkesverksamma intervjuobjekten poängterade var en förutsättning för att nya digitala hjälpmedel ska implementeras. Tidsaspekten är också primär då uppföljning av utfört arbete idag utgör en bråkdel av en arbetsledare eller projektledares uppgifter. Önskvärt är att en ny metod inte tar längre tid än dagens. Den handburna laserskannern uppfyller detta kriterium då resultatet visar på att endast en runda krävs på byggarbetsplatsen för att samla in relevant data. Idag utför alla discipliner en enskild uppföljning innan det gemensamma samordningsmötet, men laserskannern möjliggör att endast en person från projektet behöver utföra samma arbete. Insamlingen av punktmoln kan dessutom utföras i samband med andra moment i produktionen där en runda på arbetsplatsen krävs, exempelvis skyddsronder.

Under experimentet har olika gångtider för laserskanningen och antal sammanslagna punktmoln undersökts för att utvärdera hur stor noggrannhet som krävs för att uppnå ett träffsäkert punktmoln. Resultatet visar på att varken kontrollskanning eller extra långsamma rundor krävs, den största framgångsfaktorn är att kontrollera upptagna punkter i appen. Det viktigaste för att uppnå en godtagbar precision är att följa upptagningen av punkter i appen och där kontrollera att skannern har täckt alla ytor.

Med den handburna laserskannern kunde ett punktmoln produceras som täckte ca 50 kvm på i snitt 2 minuter per skanning. Det innebär att vi med tillräckligt gott resultat för det gällande tillämpningsområdet kunde täcka en golvyta på 25 kvm/min. I jämförelse med dagens stationära skanners som tar upp fler punkter per sekund, men saknar tidseffektiviteten då de behöver omplaceras flertal gånger fungerar den handburna laserskannern bra i syfte att utföras systematiskt. Mobiliteten som laserskannern besitter möjliggör även en helt annan flexibilitet genom att komma åt trånga och svåråtkomliga utrymmen där en stationär skanner inte kunnat ställas upp på ett framgångsrikt sätt.

6.2 Hantering av IFC-filer

Att läsa in IFC-filerna i Cyclone är ett moment som i experimentet enbart behövde utföras en gång, men i verkligheten där handlingar kan uppdateras under produktion kan filerna behöva läsas in kontinuerligt. Momentet visade sig vara betydligt mer tidskrävande och svårhanterat än laserskanningen och bearbetningen av punktmolnen. En del problem har varit relaterade specifikt till projektfilerna för Nya Konst, medan

andra är generella för IFC-hanteringen i Cyclone. Följande begränsningar har identifierats:

- IFC-filerna från projektet är för stora och detaljerade för att läsa in i Cyclone.
- När man använder sig av framdriftsverktyget i Cyclone jämför programmet utfört arbete med hela IFC-filens innehåll, trots att en beskärning har genomförts för att enbart analysera ett specifikt område.
- Olika discipliners IFC-filer har olika noll-koordinater vilket innebär att de inte hamnar rätt i förhållande till varandra i Cyclone.

Dessa svårigheter har inneburit en hel del manuellt arbete i Revit för att begränsa IFC-filerna så mycket som möjligt till det aktuella området. Vidare bidrog de olika nollkoordinaterna till en manuell justering få dem i förhållande till varandra.

För att undvika dessa problem hade man redan i projekteringsfasen behövt ha i åtanke att 3D-modellen ska användas ur andra perspektiv än visualisering under produktion. Ofta använder olika discipliner olika programvaror för att skapa modellen. Dessa behöver utgå från samma koordinater. Optimalt för att kunna genomföra en träffsäker jämförelse hade varit om man kunde sortera komponenter i IFC-filerna utefter när och var de ska byggas genom en produktionsanpassad modell. På så sätt hade man kunnat filtrera modellen till mindre och mer relevanta 3D-modeller att jämföra punktmolnet med. Att kunna sortera modellen utefter tidplan är ett mål i 4D-planering. I dessa projekt vore därmed implementering av kontinuerlig laserskanning optimal.

6.3 Bearbetning av punktmoln

Till skillnad från laserskanningens användarvänlighet och korta inlärningstid har bearbetningen av punktmolnen och framställandet av resultat varit mer tidskrävande. Verktöget för kategorisering av olika byggnadsdelar är en viktig funktion för att på sikt kunna filtrera framfarten utefter disciplin.

Det AI-baserade verktyget som finns i Cyclone 3DR uppfyllde inte den träffsäkerhet som var önskvärd för att uppnå en automatiserad process för kategorisering av punktmolnet. Att ytterligare undersöka verktygets uppbyggnad och inställningar hade kunnat påverka resultaten. Under experimentet användes förvalet för objekt "Indoor Construction Site" vilket fungerade till viss del, men programmet behöver tränas mer för att kunna identifiera olika byggnadsdelar. Att vidare se om man kan träna upp verktyget med egna kategorier och inlästa punktmoln som källa hade varit intressant.

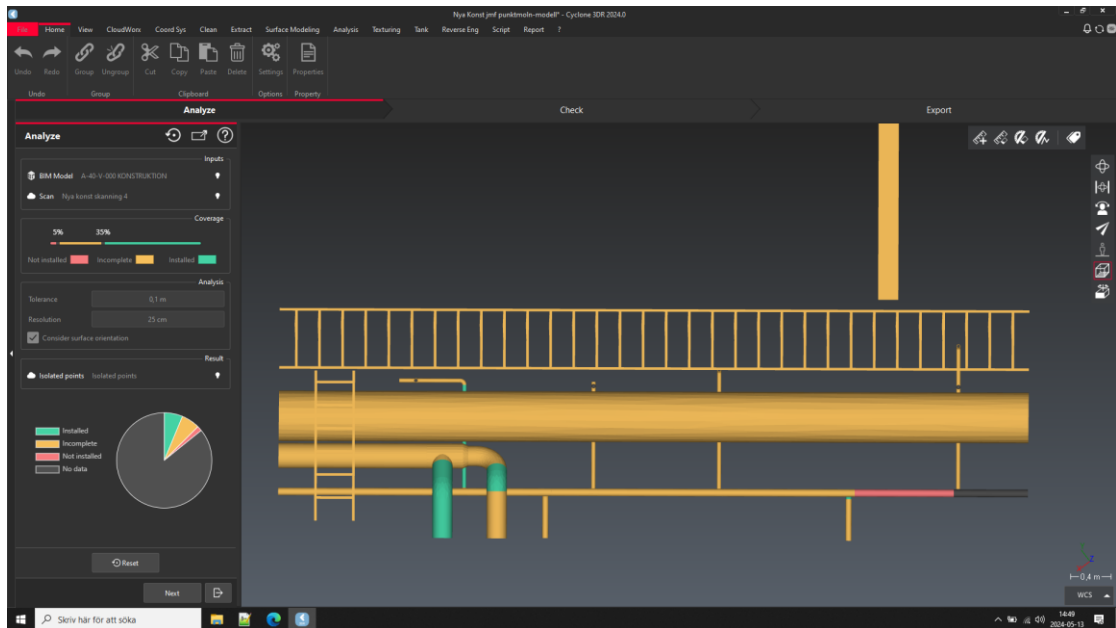
De brister vi i dagsläget inte lyckades hantera på önskvärd sätt under experimentet var att få verktyget att skilja på olika typer av kanaler och rör. Detta blir problematiskt om man vill utföra en disciplinspecifik uppföljning då rör och kanaler för sprinkler, VA och ventilation alla hamnar under kategorin "pipes". Vidare identifierades inte heller ljudabsorbenter, kabelstegar eller ventilationsdon med valda inställningar. Bristerna vid kategoriseringen behövde därmed manuell justeras vilket var genomförbart men mer tidskrävande.

6.4 Avstämning mot tidplan

I jämförelsen mellan punktmoln och 3D-modell fungerade det väl att visuellt kontrollera utfört arbete. Att gemensamt på ett uppföljningsmöte kunna följa upp tidsplanen med en visuell modell som redovisar framdriften ökar transparensen och förbättrar kommunikationen mellan discipliner. Med tanke på dagens låga uppföljning kan detta anses vara en tillräckligt stor tillgång för samordningen i syfte att förbättra uppföljningen. Idag finns det flertal lösningar för att kunna visuellt följa upp utfört arbete så som 360-kamera och manuell färgläggning av 3D-modell. Det är därför inte försvarbart att endast implementera kontinuerlig laserskanning i visualiseringssyfte, utan det krävs fler fördelar med metoden.

Verktyget för kontroll av framdrift i Cyclone 3DR har potential att ytterligare öka träffsäkerheten i uppföljningen. Verktyget jämför 3D-modellen med punktmolnet och resulterar i en färgad 3D-modell där gröna byggnadsdelar är färdigställda, gula är påbörjade och röda är inte påbörjade. Ett komplement till den visuella färgsättningen är ett cirkeldiagram som visar hur stor andel av varje färg som förekommer i modellen. Under experimentet fungerade dock inte verktyget på ett önskvärt sätt då punktmolnet automatiskt jämfördes mot hela disciplinens 3D-modell i stället för det område som skulle undersökas. Det avslöjades i figur 15 där cirkeldiagrammet till vänster i bild redovisar att under 10 % är markerat som gult trots att majoriteten i den beskurna modellen är gul. Verktygets potential är stor och man hade kunnat frångå dagens metoder för uppföljning om det fungerade mer flexibelt och tillförlitligt, men för att uppnå detta behövs en produktionsanpassad modell där de ingående objekten kan kopplas till tidplan och beskåras enligt detta.

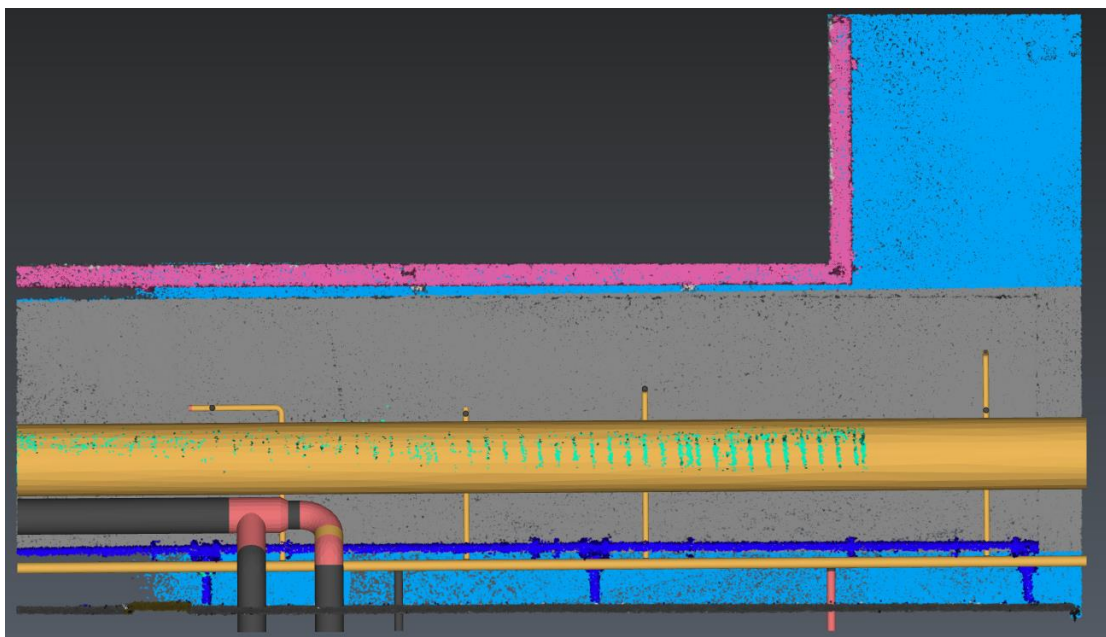
Innan implementering av verktyget är aktuellt i större skala bör en vald kategori från punktmolnet kunna jämföras med relaterad disciplins IFC-fil. I stora projekt arbetar man ofta med zonindelningar för att bryta ner det totala arbetet i mindre delmoment. Det kan röra sig om rumsspecifik eller våningsspecifik uppdelning där man ofta är intresserad av framdriften inom ett visst område i stället för hela projektet. Detta innebär att man behöver kunna skala ner IFC-filen på ett enkelt sätt för att kunna framställa relevanta resultat. I förlängningen skulle resultatet möjliggöra ett underlag för prestationsbunden betalning.



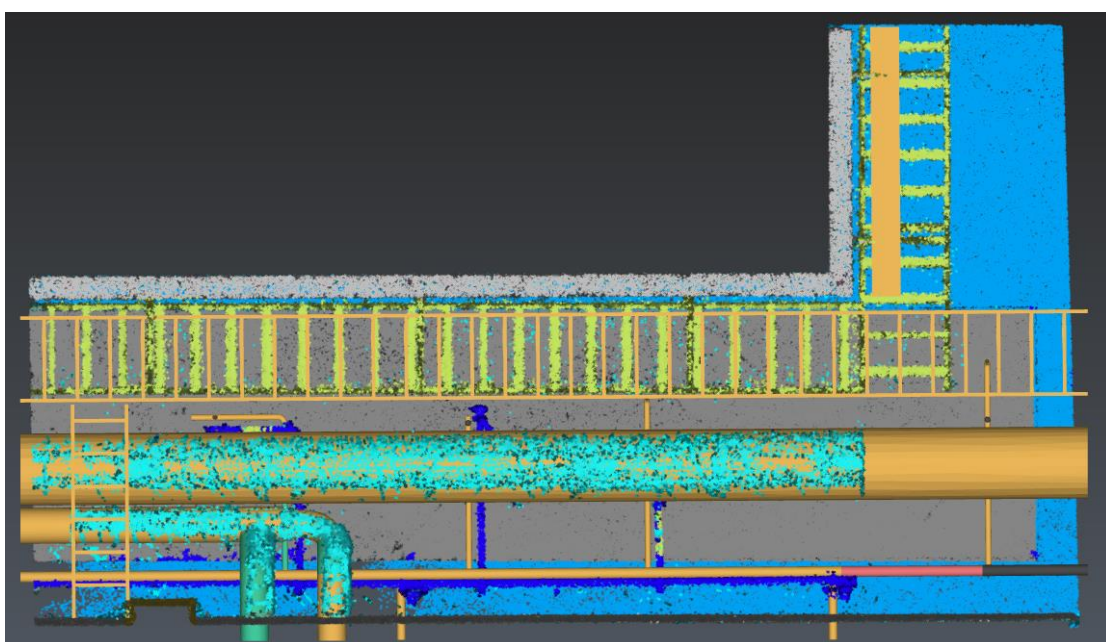
Figur 15. Skärmbild från Cyclone 3DR: resultat redovisat i diagram till vänster i bild, avser installationer vid fjärde skanningen (egen bild)

6.5 Avvikelse från 3D-modell

Under jämförelsen mellan 3D-modell och punktmolnet från utfört arbete kunde två tydliga avvikelser identifieras. Under den tredje uppföljningen upptäcktes att sprinklerinstallationerna var felplacerade. Detta korrigerades snabbt och vid det kommande uppföljningstillfälle var de korrekt installerade enligt bygghandlingarna. Vid skanning fyra var även kabelstegar felplacerade i förhållande till 3D-modellen. Om förutsättningarna varit annorlunda, exempelvis i stor skala där flera olika arbeten pågår samtidigt hade det förmodligen inte upptäckts förrän de stört någon annan disciplins arbete eller kolliderat med andra installationer eller byggnadsdelar. I och med att det blir dyrare att återgälda avvikelser desto senare de upptäcks är det mycket värdefullt att ha ett verktyg för tidigt upptäcka avvikelser och därmed tidigt kunna utveckla en åtgärdsplan. I en del fall kanske inte avvikelserna stör övriga byggnationer och man kan låta det vara, men i en del fall kan upptäckten av fel i ett tidigt skede vara avgörande för att följa tidplanen och för att hålla budget.



Figur 16. Skärmbild från Cyclone 3DR: sprinklerskanal i blått vid skanning tre, visar avvikelse (egen bild)



Figur 17. Skärmbild från Cyclone 3DR: sprinklerskanal i blått vid skanning fyra, avvikelse återgäldad (egen bild)

6.6 Användarvänlighet

För att intresset för implementering av tekniken ska väckas behöver uppstarten vara enkel och värdeskapandet tydligt. På projekten finns ingen extra tid för inläring och implementering av ny teknik, vilket ställer höga krav på användarvänligheten. Användarvänligheten måste vara god nog för att oavsett teknisk bakgrund kunna förstå, tillämpa och se värdet i tekniken.

Att uppnå värdeskapande uppgifter är enligt EVM en viktig del för att lyckas i ett projekt. Nulägesanalysen visade på att användarvänlighet och tidseffektivitet är de två viktigaste faktorerna för att implementering av nya metoder ska vara värdeskapande. Laserskanningen var lätt att utföra och gick snabbt. Det krävs varken tidigare erfarenhet av laserskanning eller några specifika tekniska förkunskaper om produkten för att kunna utföra momentet på ett tidseffektivt sätt. Däremot var bearbetningen av punktmolnet och jämförelsen med 3D-modellen varken användarvänligt eller värdeskapande sett till dess tidsåtgång. Detta behöver förbättras för att arbetssättet med kontinuerlig laserskanning ska uppnå sin fulla potential.

6.7 Arbetssättets potential

Sett till de ledande projektledningsteknikerna som EVM och Last Planner är det tydligt att en väl fungerande uppföljning är en central del för att lyckas i projekt, men att det finns brister i dagens arbetssätt där uppföljning av utfört arbete ofta bortprioriteras. Dagens arbetssätt med uppföljning av tidplanen är till stor del manuell och baseras i hög grad på kvalificerade uppskattningar. Mot denna bakgrund har vi kunnat konstatera att en mer träffsäker, visuell och automatiserad uppföljning bidrar till ett flertal värdeskapande effekter så som tid- och kostnadsbesparingar och bättre samordning mellan discipliner. Att på ett visuellt sätt kunna följa tidplanen i modellen är efterfrågat i branschen och tros kunna bidra till en ökad transparens under projekt, vilket enligt Last Planner skulle ha en positiv inverkan på samordningen. Med en automatiserad uppföljning frigörs dessutom värdefull tid för arbetsledare. Vidare utvidgas möjligheten att tillämpa projektledningstekniker där uppföljningen har en stor betydelse.

Att tidsåtgången för kontinuerlig laserskanning är låg är en förutsättning vid implementering av tekniken under produktionsskedet. Arbetssättet behöver utöver de tidigare nämnda värdeskapande effekterna visa potential på att kunna spara tid. De främsta bristerna som upptäcktes under experimentet var tidsåtgången för bearbetning av punktmoln och projektets IFC-filer, detta måste återgäldas innan arbetssättet är aktuellt att tillämpa i stor skala. Osäkerheten är idag för stor och arbetssättet riskerar att bli ännu ett extra moment som ska genomföras istället för en värdeskapande utveckling av dagens arbetssätt. Det är viktigt att värdet med implementeringen tydligt framställs och att osäkerhetsmoment hanteras för att få med alla involverade på tåget.

En förutsättning för att tekniken ska kunna nå ut brett i branschen är att den går att tillämpa oavsett storlek på projekt. Till en början ser vi framför oss att det främst är storskaliga projekt som kommer kunna genomföra implementering av tekniken med ett lönsamt resultat då investeringskostnaderna är höga. Det ställer i sin tur krav på att kunna hantera de stora datamängder som skulle bli ett resultat av kontinuerlig laserskanning. Att hantera datamängderna internt på projekten ser vi inte som en hållbar lösning.

7 SLUTSATS

Uppföljningen av utfört arbete är idag bristande, där det som följs upp främst baseras på enskilda individers uppskattningar och tidigare erfarenheter. En orsak till detta är tidsbristen hos de ansvariga, där fokus riktas framåt på vad som behöver utföras härnäst, istället för att kontrollera vad som har faktiskt byggts och följa upp orsaker till avvikelser från tidplan. Tidsbristen hos de enskilda disciplinerna samt projektet i stort är en avgörande faktor, men också det faktum att det idag är brist på metoder och hjälpmedel för att skapa en mer tillförlitlig och transparent uppföljning av tidplanen.

Detta arbete har undersökt om man med hjälp av kontinuerlig laserskanning kan förbättra uppföljningen av tidsplanen och om det finns ytterligare potentiella användningsområden vid kontinuerlig laserskanning under produktionsskedet av nybyggnationer. I detta kapitel besvaras dessa frågeställningar genom att behandla vilka utmaningar och möjligheter som upptäckts under arbetets gång.

7.1 Utmaningar

För att förbättra dagens arbetssätt behövs en öppenhet och ett engagemang för nya metoder hos de yrkesverksamma, samtidigt som förändringen ska vara värdeskapande genom att förenkla arbetet och inte göra det mer komplicerat. Ett framtida arbetssätt behöver därför fungera på ett användarvänligt och tidseffektivt sätt. Försöken visade på att laserskanningen fungerar väl enligt dessa kriterier. Inga förkunskaper krävdes för att möjliggöra en framgångsrik inhämtning av punktmoln genom en runda på byggarbetsplatsen. Detta moment behöver endast utföras av en person, jämfört med tidigare arbetssätt där representanter från varje disciplin behöver utföra en enskild uppföljning. Dessutom kan rundan kombineras med exempelvis en skydds rond för att optimera tidsåtgången.

Till skillnad från momentet laserskanning kräver bearbetningen av punktmolnen och jämförelsen mot modellen mycket tid och kunskap för att genomföra. Ytterligare en utmaning med arbetssättet är att det behöver fungera i stor skala för att vara kostnadseffektivt, det är främst i de stora projekten man har behov och ekonomi för att kunna investera i nya metoder och digitala lösningar. Slutsatsen från utfört experiment är att det idag inte är genomförbart att skala upp arbetsmetoden för kontinuerlig laserskanning baserat på följande utmaningar:

- Programvaran har begränsningar i att hantera stora och detaljrika IFC-filer.
- Det saknas idag en effektiv metod för att beskära IFC-filerna till det aktuella område som man vill undersöka.
- För stor del manuellt arbete krävs för att identifiera punktmolnets komponenter, ett effektivare AI-baserat verktyg behövs för att minimera detta.
- Möjligheten att filtrera punktmolnen baserat på kategoriseringen är begränsad.
- Kontinuerlig laserskanning bidrar till stora datamängder. Lagringsutrymme för punktmoln samt IFC-filerna behöver vara på plats.

- Det tillkommer mycket brus och reflektioner under skanningen som behöver städas upp manuellt.

7.2 Möjligheter

Under arbetets gång har ett flertal användningsområden identifierats där laserskanning redan idag kan implementera under produktionsskedet. Gemensamt för dessa är att de avser enskilda punktinsatser, då bearbetningen av data idag är för omfattande att utföra kontinuerligt. Den visuella jämförelsen mellan 3D-modell och punktmoln fungerar bra idag och möjliggör tidig upptäckt av avvikelser från handlingar, vilket minskar risken för kollisioner. Dessutom kan laserskanning tillhandahålla ett visuellt underlag att återgå till i förvaltningsskedet genom att kontrollera hur dolda installationer är placerade.

Följande utrymmen och moment är idag fördelaktiga att laserskanna under produktionsskedet:

- Installationstäta områden där risk för kollisioner är hög, exempelvis installationsstråk och teknikutrymmen.
- Bjälklag och väggar som innehåller installationer innan de byggs igen för att underlätta inför senare moment och förvaltning.
- Vid osäkerhet om objekt monterats enligt modellen.

7.3 Framtidsvision

För att kontinuerlig laserskanning på ett användarvänligt och tidseffektivt sätt ska kunna implementeras i uppföljningssyfte krävs en mer automatiserad process avseende bearbetning av punktmoln. Det första steget för en framgångsrik uppföljning är att det enbart krävs att en ansvarig skannar av byggarbetsplatsen för att sedan återgå till kontoret där skanningen redan är bearbetad och redo för jämförelser med aktuellt snitt av en 3D-modell. Mest sannolikt utförs bearbetningen av en onlinetjänst där man som företag betalar för lagring av filer och hantering och bearbetning av punktmolnen.

Att på ett lönsamt och genomförbart sätt kunna implementera arbetssättet systematiskt kan uppfattas som en framtidsfråga. Med tanke på den digitala utveckling tillsammans med framstegen kopplade till AI som skett under de senaste åren hade metoden kunnat användas på ett effektivt sätt inom snar framtid. Det behövs dock en visad efterfråga från byggföretagen och ett stort engagemang för att utveckla användarvänliga verktyg och metoder för att lyckas. Den potentiella vinningen i att utveckla dagens metoder för kopplande till uppföljning är stor och borde prioriteras för att skapa effektivare produktionsprocesser genom att minimera fel och uppnå en högre transparens i hur framdriften fortgår.

I förlängningen kommer kontinuerlig laserskanning först nå sin fulla potential då det kopplas till 4D-planering eftersom man på så sätt kan följa framsteg visuellt i förhållande till 3D-modell och aktuell tidplan på en gemensam plattform. Redan idag

finns goda möjligheter och intresset att skapa modellbaserade tidplaner. Först när det arbetssättet fått fäste kommer en mer träffsäker uppföljning kunna nå dess fulla potential. Ett första steg är att standardisera en modellbaserad framdriftsvisualisering där objekt i modellen uppdateras manuellt utefter dess status. När det etablerat sig kommer laserskanningen bli aktuell för att på så sätt kunna kopplas till modellen och automatisera processen för uppföljning.

Förutom vinningen i form av tidsbesparingar och noggrannare uppföljningar kommer arbetssättet bana vägen för ytterligare tillämpningsområden. En efterfrågad fördel till följd av en träffsäkrare uppföljning är prestationsbunden betalning. Vid tillämpning av kontinuerlig laserskanning kommer informationsinsamlingen vara tillräckligt verklighetstrogen för att möjliggöra detta.

Framtida forskning bör fokusera på hur man kan utveckla programvaror som på ett framgångsrikt sätt hanterar både IFC-filer och punktmoln. Dessutom bör man kunna utveckla AI-verktyg för en träffsäker identifiering av komponenter i punktmoln för att minska det manuella arbetet. Mycket som byggs idag är utav standardiserade komponenter och dessa bör programvaran känna av. I och med framtida forskning bör man kunna identifiera ytterligare användningsområden som är av värde för att skapa en effektivare produktionsprocess med utnyttjande av laserskanning.

8 Referenser

- Azhar, S., & Asce, A. M. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. I *Leadership Manage. Eng* (Vol. 11, Nummer 3).
- Ballard, H. G. (2000). *THE LAST PLANNER SYSTEM OF PRODUCTION CONTROL ACKNOWLEDGEMENTS*.
- Bilal, M., Oyedele, L. O., Qadir, J., Munir, K., Ajayi, S. O., Akinade, O. O., Owolabi, H. A., Alaka, H. A., & Pasha, M. (2016). Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends. *Advanced Engineering Informatics*, 30(3), 500–521.
<https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.07.001>
- 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. *Automation in Construction*, 49, 201–213.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.014>
- Bryman, A., & Bell, E. (2011). *Business Research Methods* (3rd ed.). Oxford University Press.
- Carlström, I., & Carlström Hagman, L.-P. (2006). *Metodik för utvecklingsarbete och utvärdering* (Femte upplagan). Studentlitteratur.
- Chen, L., & Luo, H. (2014). A BIM-based construction quality management model and its applications. *Automation in Construction*, 46, 64–73.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.009>
- Conti, A., Pagliaricci, G., Bonora, V., & Tucci, G. (2024). A COMPARISON BETWEEN TERRESTRIAL LASER SCANNING AND HAND-HELD MOBILE MAPPING FOR THE DOCUMENTATION OF BUILT HERITAGE. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-2/W4-2024, 141–147. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W4-2024-141-2024>
- Disney, O., Roupé, M., Johansson, M., & Domenico Leto, A. (2022). Embracing BIM in its totality: a Total BIM case study. *Smart and Sustainable Built Environment*. <https://doi.org/10.1108/SASBE-06-2022-0124>
- Fleming, Q. W., & Koppelman, J. M. (2014). *Earned Value Project Management* (Vol. 4th). <https://app.knovel.com/s.v?lfBUMFb0>
- Kovvuri, A. R. (2024). *Web-Based Visual Project Progress (4D BIM) to Plan and Monitor in a More Lean and Efficient Way* (s. 407–412).
https://doi.org/10.1007/978-981-99-5455-1_35
- Kvale, S. (1996). *Interview Views: An Introduction to Qualitative Research Interviewing*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Lean Construction Institute, Inc. (2024). *Introduction to the Last Planner System®*. Hämtad 13 maj, 2024, från <https://leanconstruction.org/lean-topics/last-planner-system/>
- Leica Geosystems. (2024). *Leica BLK2GO*. Hämtad 14 juni, 2024 från <https://shop.leica-geosystems.com/leica-blk/blk2go/buy>.
- Lipke, W. (2013). Is Something Missing From Project Management? *crosstalk the journal of defense software engineering*, 26(4), 16–20.
www.crosstalkonline.org/submission-guidelines
- Northcote Parkinson, C. (1957). *Parkinson's Law*. Blurb.

Ottosson, H. (2009). *Vad, när, hur och av vem: praktisk projektledning inom bygg-, anläggnings- och fastighetsbranschen*. Svensk Byggtjänst.

**INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH
SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA**

Göteborg, Sverige 2024
www.chalmers.se



CHALMERS