

Användningen av en robohund vid inspektioner i byggbranschen

Emma Liljekvist



LUNDS
UNIVERSITET

Copyright © Emma Liljekvist

Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Byggproduktion, Lunds tekniska högskola, Lund

ISRN LUTVDG/TVBP-22/5661-SE
Lunds tekniska högskola
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Byggproduktion
Box 118
SE-221 00 LUND

Lund University
Lund 2022

Abstract

Title	The Usage of a Robotic Dog During Inspections in Construction
Author	Emma Liljekvist
Supervisor	Rikard Sundling, Assistant Lecturer, Division of Construction Management, Lund University Kristoffer Sundvall, site manager, Peab Sverige AB.
Examiner	Stefan Olander, Senior Lecturer, Division of Construction Management, Lund University
Purpose	The purpose of this study is to investigate how to implement and optimize the use of an inspection robot, on a construction site.
Research questions	Which difficulties at a construction site might be relieved using an inspection robot? How efficient is the usage of an inspection robot currently? What does the future of automation and digitalization in construction look like? What are the pros and cons with using an inspection robot in construction?

Method

This master thesis consists mainly of a case study, in which the inspection robot is used in a safety inspection. The case study is based on material collected by the robot, interviews and observations. A literature study has also been conducted, as a complement to the case study. The purpose of the literature study was to collect information to substantiate the case study.

Conclusion

The conclusions drawn in this master thesis are that an inspection robot could relieve various identified problems within construction. It could, as an example, make sure that things are placed correctly. The robot may also be used when performing safety inspections. If the data collected by the robot is used to create an as built model it is possible to compare that model to an existing BIM mode, to monitor progress.

An inspection robot relies on an operator with the correct knowledge about its complexity. This results in its usability not being particularly high for now since special competence is required. However, there are things that make the usage of an inspection robot efficient, for an example its ability to generate continuous collection of data, such as pictures. This data can then be analyzed by someone involved in the project. By using an inspection robot, errors can be found and corrected on time, saving both time and money. It is also possible to generate an as built model and compare that to a BIM model, to check how the project is coming along.

There are great opportunities with automation, in the form of robotics, and digitalization within construction. This

study focused on the usage of an inspection robot during a safety inspection. Documenting the safety inspection with the proposed methodology was found to be good, because the images collected were of good quality. However, a complement to this could have been the opportunity to mark the spot, where the picture was taken, on a floor plan.

The pros of using an inspection robot within construction is that the data collected can be used when performing progress monitoring. It can also be used to ensure that construction objects are placed in their correct positions. Another pro is that the robot can be used to perform continuous inspections.

The cons of using an inspection robot in construction is that it is expensive and is at risk for theft. The durability of the robot is also uncertain, as it is exposed to a lot of dust and dirt at a construction site. It also demands an external operative.

Key words

Automation in Construction, Inspection Robot, Spot, Safety Inspection in Construction, Construction Robotics

Sammanfattning

Titel	Användningen av en robothund vid inspektioner i byggbranschen
Författare	Emma Liljekvist
Handledare	Rikard Sundling, Biträdande universitetslektor, avdelningen för byggproduktion, Lunds Universitet Kristoffer Sundvall, Platschef, Peab Sverige AB
Examinator	Stefan Olander, Universitetslektor, avdelningen för byggproduktion, Lunds Universitet
Syfte	Syftet med detta arbete är att utreda hur man kan implementera och optimera användningen av en inspektionsrobot, på en byggarbetsplats.
Frågeställningar	Vilka är svårigheterna på en byggarbetsplats, som en inspektionsrobot skulle kunna avhjälpa? Hur effektivt är användandet av en inspektionsrobot i dagsläget? Hur ser framtiden för automatisering och digitalisering i byggbranschen ut? Vilka är för- och nackdelarna med att använda en inspektionsrobot i byggproduktion?

Metod

Detta examensarbete grundar sig i en fallstudie, där användningen av en inspektionsrobot vid skyddsronder undersöks. Fallstudien bygger på material som samlats in från roboten, intervjuer och observationer. Utöver fallstudien har det även genomförts en litteraturstudie. Litteraturstudien åsyftade inhämtningen av den teori som underbygger fallstudien.

Slutsats

De slutsatser som dragits i detta arbete är att en inspektionsrobot skulle kunna avhjälpa många saker på en byggarbetsplats. Några exempel på saker den skulle kunna avhjälpa är att kontrollera så att saker hamnar på rätt plats. Roboten kan även vara behjälplig vid skyddsronder. Om det, med hjälp av det material roboten samlar in, genereras en så kallad as built-modell är det möjligt att göra modelljämförelser för att stämma av tidplanen.

I nuläget kräver en inspektionsrobot fortfarande en operatör, som har kunskaper om robotens komplexitet. Detta innebär att användbarheten i nuläget inte är särskilt hög, eftersom det krävs särskild kompetens för att nyttja den. Det finns däremot saker med en inspektionsrobot som gör den effektiv, så som att den kan generera kontinuerlig insamling av data, i form av bilder, på en byggarbetsplats. Denna data kan sedan okulärt analyseras. Detta kan leda till att felaktigheter upptäcks och hanteras i tid, vilket skulle innebära en kostnadsbesparing.

I dagsläget är det även möjligt att, med hjälp av en LiDAR-puck kunna generera en så kallad as built-modell. Denna modell kan sedan jämföras med en befintlig BIM-

modell, vilket skulle kunna användas för en effektiv avstämning av ett projekts tidplan.

Det finns stora möjligheter gällande automatisering, i form av robotik, och digitalisering i byggbranschen. I denna studie undersöktes det huruvida en inspektionsrobot kan användas vid skyddsronder. Att dokumentera en skydds rond med den föreslagna metoden anses vara bra, då kvaliteten på de bilder roboten tog blev bra. Ett komplement till detta hade dock kunnat vara möjligheten att markera ut på en ritning var en bild, och således en anmärkning, är tagen.

Fördelarna med att använda en inspektionsrobot inom byggproduktion är att materialet som samlas in kan användas vid avstämning av tidplanen. Utöver detta kan roboten användas för att säkerställa att saker placeras på rätt plats. Det är även en fördel att med hjälp av roboten kunna utföra kontinuerliga inspektioner.

Nackdelarna med att använda en inspektionsrobot i byggproduktion är att det är en dyr lösning, som är stöldbegärlig. Det är dessutom svårt att i nuläget avgöra hur hållbar en robot är, då den utsätts för exempelvis damm och smuts på en byggarbetsplats. Dessutom kräver den en extern operatör och är känslig för hinder.

Nyckelord

Automatisering i byggbranschen, inspektionsrobot, Spot, skyddsronder i byggbranschen, byggrobotik

Förord

Detta examensarbete, som markerar slutet på min utbildning civilingenjör i väg- och vattenbyggnad, hade inte varit möjligt utan hjälpen jag fått. Jag vill rikta ett stort tack till Mathias Haage och Helena Eriksson, för stöttningen de gett mig och för att de gett mig tillgång till robothunden. Jag vill även tacka mina handledare Rikard Sundling, LTH, och Kristoffer Sundvall, Peab. Utan er hade detta examensarbete aldrig gått att genomföra.

Lund den 25 april 2022

Emma Liljekvist

Innehållsförteckning

1	Inledning	13
1.1	Bakgrund	13
1.2	Syfte och mål	14
1.3	Frågeställningar	15
1.4	Avgränsningar	15
1.5	Disposition	15
2	Metod	17
2.1	Litteraturstudie	17
2.2	Fallstudie	17
2.2.1	Datainsamling	19
2.3	Validitet och reliabilitet	21
3	Teori	22
3.1	Byggbranschen idag	22
3.1.1	Mängden digitalisering	22
3.1.2	Dagens inspektionsprocess	23
3.1.3	Skyddsronder i byggbranschen	24
3.2	Robotisering, automatisering och digitalisering i byggbranschen	24
3.2.1	Automatisering och robotisering i byggbranschen	25
3.2.2	Building Information Modeling (BIM)	26
3.3	Automatisering av inspektionsprocessen	27
3.3.1	Datainsamling med hjälp av robot utrustad med sensorer	27
3.3.2	OBRNIT (Ontology for BIM-Based Robotic Navigation and Inspection Tasks)	29
3.3.3	Metodologi för att inspektera byggprojekt med en fyrbent robot samt en virtuell 3D-miljö	29
3.3.4	Slutsatser från studierna	30
3.4	Inspektionsroboten Spot	30
3.4.1	Tillvägagångssätt för att använda Spot	32
4	Resultat	34
4.1	Fallstudie	34
4.1.1	Intervjuer	34
4.1.2	Data från roboten vid skyddsronden	36

	4.1.3 Observationer kring roboten	38
		47
5	Analys och diskussion	49
5.1	Inspektioner i byggbranschen	49
5.1.1	Användning av olika bilder	49
5.1.2	Användning av tillägg på inspektionsroboten	49
5.1.3	Olika hinder för roboten	50
5.1.4	Analys av insamlat material	50
5.1.5	Vad roboten kan avhjälpa	51
5.1.6	Jämförelse med nuvarande metod för skyddsronder	52
5.1.7	Kritik till studien	53
5.1.8	Inspektioner idag	53
6	Slutsatser	55
6.1	Svar på frågeställningar	55
6.1.1	Vilka är svårigheterna på en byggarbetsplats, som en inspektionsrobot skulle kunna avhjälpa?	55
6.1.2	Hur effektivt är användandet av inspektionsrobotar i dagsläget?	55
6.1.2	Hur ser framtiden för automatisering och digitalisering i byggbranschen ut?	56
6.1.4	Vilka är för- och nackdelarna med att använda en inspektionsrobot i byggproduktion?	56
6.2	Förslag på framtida studier	57
8	Referenser	58
9	Bilagor	63
9.1	Bilaga 1	63
	Intervjuguide Automatisering och digitalisering av byggbranschen: Fallstudie med robothund	63
	Intervjufrågor	63

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Inom ett byggprojekt är det viktigt att inspektera hur arbetet fortlöper. Dessa inspektioner hjälper till att säkerställa att projektet ligger i fas med tidplanen (Ekanayake et al. 2021). Brister i denna process, såsom bristande kvalitet och ineffektivitet, bidrar till ökade kostnader och tidsförluster (Ekanayake et al. 2021). Inspektioner som genomförs är baserade på data som samlas in manuellt, däribland ett fåtal bilder (Karimi et al. 2021). Detta upplägg på inspektionsprocessen innebär att den data som ska analyseras samlas in av flera olika parter och levereras i olika format. Det är en faktor som komplicerar analysen av insamlade data (Karimi et al. 2021).

Inspektioner på byggarbetsplatser sker till största del på traditionella vis, det vill säga med hjälp av planritningar och dylikt (Rahimian et al. 2020). Sådana inspektioner tar tid och kräver, för vissa av de inblandade, en transporter till byggarbetsplatsen. Dessa inspektioner handlar om att göra jämförelser mellan verklighet och befintliga modeller (Halder et al. 2021). Ett förslag på hur man kan effektivisera denna process och göra en tidsbesparing vid inspektioner av ett bygge är användningen av fyrbenta robotar, som tar bilder på byggarbetsplatsen (Halder et al. 2021). En sorts inspektioner som används i byggbranschen är skyddsronder (Arbetsmiljöverket 2020).

Idag finns det många branscher som använder sig av robotik, exempelvis inom olika sorters industrier. Vad beträffar byggbranschen anses den inte vara särskilt högteknologisk, trots att det är en stor bransch (Balzan et al. 2021). Gällande implementeringen av robotik i byggbranschen diskuteras även huruvida jobbmöjligheter försvinner eller inte. Det kan däremot vara så att vissa jobb omvandlas och innebär att människor får jobba med robotarna och styra dessa (Balzan et al. 2021). Den bristande automatiseringen inom byggbranschen får konsekvenser i form av en bristande effektivitet och därtill även osäkra arbetsplatser (Kim et al. 2015).

En anledning till att byggbranschen inte är så högteknologisk är att utvecklingen inom byggbranschen, gällande innovationer och ny teknik, sker i långsam takt. I framtiden kommer automation av byggbranschen kunna avhjälpa den problematik som finns i branschen nu (Bock 2015). Den nuvarande teknologin i byggbranschen är inte tillräcklig i sin prestanda. Den bristande prestandan i den teknologin leder till framtagandet av ny innovativ teknik, med bättre prestanda (Bock 2015). Building Information Modeling (BIM) kan användas som en del av automatiseringen, genom att låta automationen utgå ifrån BIM-modeller (Vähä et al. 2013).

Spot är en inspektionsrobot framtagen av Boston Dynamics. Den använder sig av olika sensorer för att känna av sin omgivning och därmed kunna navigera sig fram på ett säkert sätt (Boston Dynamics 2020a). Spot medför en möjlighet att på avstånd kunna få en bild av hur ett projekt fortlöper. Detta kan bidra till att skapa en större säkerhet för de som jobbar på bygget, då man i stället kan skicka in Spot (Boston Dynamics 2020b). Denna inspektionsrobot kan samla in data från arbetsplatsen och på så sätt bidra till att man i ett tidigt skede upptäcker eventuella felaktigheter (Boston Dynamics 2020b).

Inspektionsroboten Spot kan däremot påverkas av olika faktorer, som kompromissar dess användbarhet. Afsari et al. (2021) studerade Spot och upptäckte bland annat att den är känslig för om människor är i närheten och om material står i dess väg. Utöver detta nämner Afsari et al. (2021) att Spot är beroende av en operatör och således är den inte helt autonom.

1.2 Syfte och mål

Syftet med detta arbete är att utreda hur man kan implementera och optimera användningen av en inspektionsrobot, på en byggarbetsplats. Detta syfte innebär att de svårigheter som en inspektionsrobot kan avhjälpa måste identifieras, samt att förslag på hur roboten kan avhjälpa dessa svårigheter måste tas fram. Detta kan exempelvis ske genom att planera olika rutter för inspektionsroboten, för att maximera användningen av den.

Detta arbete kommer inte enbart vara fokuserat på användningen av en inspektionsrobot, utan kommer även undersöka automatisering och digitalisering av byggbranschen ur ett vidare perspektiv. Syftet med detta är att belysa övriga delar av byggbranschens innovationer och digitala medel. Detta bidrar även till möjligheten att koppla detta till hur en inspektionsrobot kan användas i framtiden. Det kan exempelvis handla om hur annan digitalisering kan kombineras med inspektionsroboten.

Målet med detta arbete är att studera hur en inspektionsrobot kan användas i produktion. Detta arbete kommer bestå av att ta fram ett tillvägagångssätt och planera inspektionsrobotens rutter, i form av en skydds rond. Framtagning av vad roboten kan användas till kommer vara ett resultat av de intervjuer som genomförs, där svårigheter tas fram.

Detta examensarbete kommer vara uppbyggt av en fallstudie, som grundar sig i datainsamlingar i form av observationer, intervjuer och data, i form av bilder, från roboten. Utöver detta genomförs även en litteraturstudie, med syfte att finna teori som kan ligga till grund för arbetets analys, diskussion och slutsatser.

1.3 Frågeställningar

För att uppnå det ovan nämnda syftet upprättas ett antal olika frågeställningar, som kommer besvaras i detta arbete. Frågeställningarna är följande:

- Vilka är svårigheterna på en byggarbetsplats, som en inspektionsrobot skulle kunna avhjälpa?
- Hur effektivt är användandet av inspektionsrobotar i dagsläget?
- Hur ser framtiden för automatisering och digitalisering i byggbranschen ut?
- Vilka är för- och nackdelarna med att använda en inspektionsrobot i byggproduktion?

1.4 Avgränsningar

Detta examensarbete detaljstuderar en specifik robot, inspektionsroboten Spot. Vidare kommer arbetet undersöka denna robot ur ett byggproduktionsperspektiv, vilket innebär att det inte kommer läggas något större fokus på tekniken bakom roboten. Det finns en mängd olika sorters robotar, så en avgränsning av detta slag ansågs nödvändig. För att skapa en grundläggande förståelse för hur en inspektionsrobot fungerar kommer viss teknisk information att förekomma.

Studien blir begränsad eftersom den inspektionsrobot som används i studien är en akademisk version. Detta innebär att denna robot inte är lika utvecklad som andra versioner. Utöver detta är byggrobotik fortfarande ett nytt ämne, vilket innebär att teknologin inte är fullutvecklad än.

1.5 Disposition

Kapitel 1 – Inledning

Detta kapitel syftar till att introducera examensarbetet. I detta kapitel ingår bakgrund, syfte, mål, frågeställningar och avgränsningar.

Kapitel 2 – Metod

Detta kapitel beskriver och motiverar de metoder som valts för detta examensarbete.

Kapitel 3 – Teori

I detta kapitel presenteras teori, som kommer användas för att kunna dra slutsatser och analysera arbetets olika frågeställningar.

Kapitel 4 – Resultat

Resultatdelen av detta arbete kommer bestå av en redovisning av de svårigheter som identifierats med hjälp av intervjuerna. Därtill kommer det även redovisas hur planeringen av inspektionsrobotens olika rutter har fortlöpt.

Kapitel 5 – Analys och diskussion

I analysen kommer resultaten som redovisades i kapitel 4 att analyseras med hjälp av den teori som presenterades i kapitel 3. Resultatet diskuteras även med hänsyn till den teori som presenterades i bakgrunden, i kapitel 1.

Kapitel 6 – Slutsatser

Här kommer frågeställningarna som låg till grund för examensarbetet att besvaras. Dessa slutsatser kommer vara baserade på analysen och diskussionen.

2 Metod

I detta kapitel presenteras och motiveras de metoder som används i detta examensarbete. Metoden utgörs av en fallstudie, som underbyggs av datainsamlingar, intervjuer och observationer. Därtill genomförs även en litteraturstudie.

2.1 Litteraturstudie

Det finns olika sorters litteratur att använda sig av då man genomför en litteraturstudie, dels den akademiska litteraturen, dels den professionella (Hammond & Wellington 2021). Vidare förklarar Hammond och Wellington (2021) att dokument som finns tillgängliga på internet används alltmer. Internetbaserade dokument kan exempelvis vara rapporter som presenterats i samband med konferenser (Hammond & Wellington 2021). Därefter poängterar Hammond och Wellington (2021) att en litteraturstudie oftast bidrar med kunskaper kring ämnet som ska studeras och visar vad som redan är känt gällande ämnet. Det finns olika metoder för att sammanställa tidigare forskning inom ett ämne, men en litteraturstudie är en av de vanligaste metoderna (Kearney 2017). En litteraturstudie ska, utöver att identifiera existerande fakta och forskning inom ämnet, ligga till grund för identifieringen av nya aspekter av forskning inom ämnet (McEwan 2017).

I detta examensarbete genomförs en litteraturstudie, som baseras på rapporter av olika slag, e-böcker och dylikt. Litteraturstudien genomförs för att identifiera vilka problemområden som finns inom byggproduktion, som skulle kunna avhjälpas av en inspektionsrobot. Litteraturstudien identifierar tidigare studier gällande inspektionsrobotar i byggproduktion och dessutom studeras även automatisering av byggbranschen ur ett vidare perspektiv.

I litteraturstudien har exempelvis följande sökord använts: automation in construction, inspection robotics, progress monitoring in construction etcetera.

2.2 Fallstudie

Hammond och Wellington (2021) poängterar att fallstudier är vanliga bland studenter, eftersom det är en sorts studie som är lämplig i en liten skala. En fallstudie studerar ett specifikt fall, som dessutom brukar vara förenklat. Fallstudien utförs inom det studerade fallets specifika miljö (Aaltio & Heilmann 2010). En fallstudie är oftast djupgående

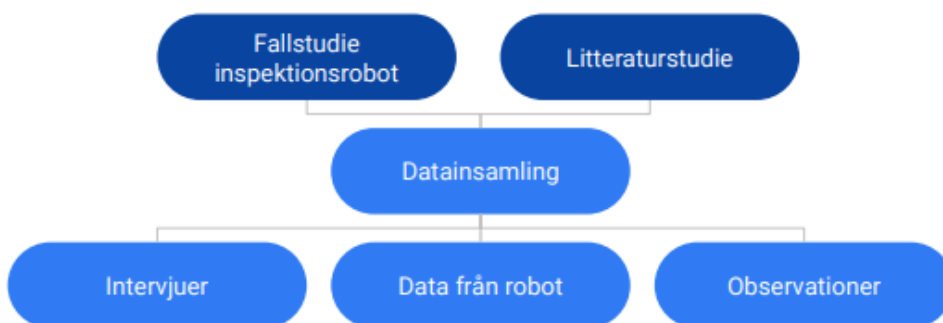
(Hammond & Wellington 2021). När en fallstudie genomförs är det framför allt viktigt att de frågeställningar som upprättats besvaras (Swanborn 2010). Vidare menar Swanborn (2010) att det är viktigt att ha frågeställningar vid genomförandet av en fallstudie, därför att det annars saknas ett mål med studien.

Innan en fallstudie påbörjas krävs det att den som ska genomföra studien söker information och inhämtar kunskap om ämnet fallstudien behandlar (Simons 2009). Det är viktigt att i ett tidigt skede av fallstudien välja vilka metoder som ska användas (Tight 2017).

Olika metoder som kan användas i en fallstudie är inhämtning av bakgrundsinformation till studien, fysiskt deltagande och intervjuer (Aaltio & Heilmann 2010). Dessa metoder samlar in olika former av data som sedan behöver analyseras, för att kunna besvara de frågeställningar studien utgår ifrån (Aaltio & Heilmann 2010). I fallstudier brukar den som genomför studien använda sig av flera olika metoder (Aaltio & Heilmann 2010). Det är numera vanligt att fallstudier till stor del utgår från kvalitativa metoder (Hammond & Wellington 2021).

Detta examensarbete grundar sig i en fallstudie, där en inspektionsrobot studeras baserat på de frågeställningar som tidigare presenterats. Som nämndes ovan är det vanligt att använda sig av flera olika metoder då en fallstudie genomförs. Detta examensarbete använder sig av tre olika metoder: data från roboten, intervjuer och observationer. I figur 1 visas uppdelningen av metoderna.

Arbetet har ett övergripande fokus på automatisering inom byggbranschen och framtidsaspekter för detta. Fallstudie av en inspektionsrobot har valts eftersom det är en sorts automatisering som börjar förekomma på byggarbetsplatser nu. En fallstudie anses lämplig, eftersom det är aktuellt att detaljstudera möjligheter och framtidsaspekter för en inspektionsrobot.



Figur 1: Schematisk uppdelning av den aktuella fallstudiens metoder.

2.2.1 Datainsamling

Den data som samlas in vid en fallstudie är kvalitativ (Aaltio & Heilmann 2010). Utöver kvalitativ data, finns även kvantitativ data. Kvantitativ forskning lägger fokus på kvantifiering av data, både gällande dess insamling och även vid analysen av datan (Bryman 2016). Vidare menar Bryman (2016) att kvalitativ forskning, under insamling och analys av data, fokuserar på ord, istället för att fokusera på kvantifiering. Kvantitativ forskning grundar sig till stor del på positivism (Bryman 2016). Därefter förklarar Bryman (2016) att positivism innebär att naturvetenskapliga metoder används. Därtill nämner Bryman (2016) att den kvalitativa forskningen inte grundar sig på positivism och belyser det som en distinkt skillnad mellan de olika metoderna.

Datan kan samlas in på olika sätt, exempelvis genom bilder eller genom att den som genomför studien aktivt deltar (Aaltio & Heilmann 2010). Data som samlas in i kvalitativa studier är av flera olika typer, exempelvis intervjuer och observationer (Evers & van Staa 2010). Den data som samlas in behöver analyseras och det är vanligt att den som utför studien samlar in data, baserat på hur denne önskar att analysera datan (Olsen 2012).

I fallstudien detta examensarbete baseras på har datainsamling skett genom observationer, intervjuer och även genom insamling av material från inspektionsroboten. Data från roboten är i form av bilder. Intervjuerna ligger till grund för vilka områden inspektionsroboten ska fokusera på. Observationerna handlar om att identifiera vilka styrkor respektive svagheter en inspektionsrobot har på en byggarbetsplats.

2.2.1.1 Observationer

Vid forskningsstudier är det vanligt att den som genomför studien interagerar med, och observerar, objektet som är föremål för forskningen (Wästerfors 2018). Observationer kan genomföras upprepade gånger och möjliggör då upptäckten av förändringar i mönster (Paterson 2010).

Hammond och Wellington (2021) nämner att det finns två olika varianter på observationer, strukturerade och ostrukturerade. En sorts strukturerad observation är systematisk observation, där den som utför observationen redan i förväg vet vad som ska observeras och vilken data som ska samlas in (Hammond & Wellington 2021).

Observationer har i detta examensarbete utförts i form av besök på den byggarbetsplats där inspektionsroboten testas. Under dessa besök har det noterats, bland annat, vilka anpassningar roboten gör i förhållande till ändrade miljöer. Ändrade miljöer kan exempelvis innebära att föremål placerats i robotens planerade bana och en observation kan då vara hur roboten tar sig förbi hindret. Observationer används i denna studie eftersom det anses tillföra en uppfattning om hur roboten beter sig på en byggarbetsplats och hur den anpassar sig till dess förändrande förhållanden. Denna sorts observationer skulle kunna räknas som systematisk, då det under denna studie var känt i förväg vad som skulle studeras och därtill även vilken data som var av intresse att samla in.

2.2.1.2 Intervjuer

Intervjuer är en vanlig kvalitativ metod (Barbour 2008). Vidare menar Barbour (2008) att det är viktigt att ställa frågor under en intervju, men därtill även viktigt att den som utför intervjun lyssnar på respondenten. Intervjuer kan förekomma i olika former, beroende på hur organiserade de är. Det kan handla om strukturerade, semistrukturerade, ostrukturerade samt informella (Barlow 2010).

De strukturerade intervjuerna innebär att det ställs samma frågor till alla respondenter, med syfte att kunna jämföra de olika svaren som ges. Den intervjuform som är semistrukturerad innebär att frågorna som ställs kan variera mellan olika respondenter, då de uppkommer under tiden intervjun pågår. De ostrukturerade intervjuerna gynnar mer djupgående svar och är friare än de två tidigare nämnda intervjuformerna. Den informella varianten är en konversation den som intervjuar och respondenten har innan en intervju påbörjas (Barlow 2010). Hammond och Wellington (2021) menar på att de frågor som ställs vid en semistrukturerad intervju oftast inte varierar mellan olika respondenter, men att de frågor som ställs ofta är öppna och lämnar rum för diskussion.

Vid genomförandet av en kvalitativ studie är det vanligt att de intervjuer som utförs är av formen semistrukturerade (Packer 2011). Packer (2011) tillägger även att det är vanligt förekommande att spela in intervjuer av denna typ, samt föra anteckningar. Vidare menar Packer (2011) att det är viktigt för den som genomför intervjun att inte visa sina åsikter, gällande svaren respondenten ger.

Att välja intervju som en av metoderna, i detta examensarbete, gjordes för att utnyttja den kompetens som finns i byggbranschen nu och genom det kunna identifiera problemområden. Intervjuerna kommer bidra med förutsättningar för att kunna planera användningen av roboten. De intervjuer som genomförs i detta examensarbete är av typen semistrukturerade. Denna intervjuform valdes baserat på den bakgrundsinformation som hittats. Därtill ansågs denna intervjuform främja givande intervjuer.

2.2.1.3 Data från robot

Den data som samlas in från roboten kommer vara i form av bilder, som roboten tar på de punkter som av en operatör markeras som intressanta. Anledningen till att det är just detta material som används i studien är för att det är den data som anses vara mest lämplig, sett till denna studies omfattning. Annat material, såsom generering av BIM-modeller, ligger utanför studiens avgränsning. Data från robot kan ses som en sorts observation, men presenteras separat för att understryka dess relevans för arbetet. Denna insamling av data skulle kunna vara en så kallad systematisk observation.

Analysen av denna data har gjorts okulärt. Bilder som tagits på samma ställe, men vid olika tillfällen, har jämförts. Dessa jämförelser har gjorts för att kunna upptäcka om saker har förändrats mellan de olika tillfällena. Det kan exempelvis handla om huruvida vissa risker som fotograferats vid första tillfället har åtgärdats till det andra tillfället.

2.3 Validitet och reliabilitet

Begreppet reliabilitet är ett mått på huruvida studien som utförs ger samma resultat, oberoende av när den utförs (Kirk & Miller 1986). Vidare definierar Kirk och Miller (1986) begreppet validitet som noggrannheten i studien, det vill säga till vilken grad studien ger det rätta svaret.

Syftet med reliabilitet är att undvika fel vid insamling och analys av data i en studie (Ward & Street 2010). Vidare menar Ward och Street (2010) att det är möjligt att reliabilitet existerar utan validitet, men att det omvända inte gäller. Två huvudbegrepp som används för att beskriva reliabilitet är konsekvens och stabilitet (Ward & Street 2010). Ward och Street (2010) menar på att fallstudier som utförs av endast en person kan innehålla felaktiga observationer och analyser. Därefter poängterar Ward och Street (2010) att den som utför en fallstudie anses vara en del av mätprocessen. Ett sätt att minimera risken för felaktiga observationer och analyser är att vara mer än en person som utför studien (Ward & Street 2010).

Vad beträffar den data som samlas in kan även den innehålla felaktigheter (Ward & Street 2010). Vidare menar Ward och Street (2010) att en metod för att minimera risken för dessa felaktigheter är att samla in data från flera olika källor. Ward och Street (2010) poängterar även att det är bra att använda olika sorters data vid genomförandet av en fallstudie.

Att bedöma validiteten i en fallstudie är komplicerat (Yue 2010). Yue (2010) menar på att det är svårt att på ett koncist sätt definiera begreppet validitet för en fallstudie, eftersom en fallstudie innehåller många olika sorters data. Enligt Yue (2010) beror denna svårighet dessutom på att det finns många olika sorters validitet.

Face validity och *content validity* är två olika sorters validitet (Litwin 1995). Den förstnämnda brukar oftast bedömas av människor som inte har någon expertis inom det studerade ämnet (Litwin 1995). Vidare menar Litwin (1995) att *content validity* brukar bedömas av människor som besitter kunskaper inom det studerade ämnet.

De intervjuer som till viss del ligger till grund för denna fallstudie har genomförts med flera olika personer, för att möjliggöra att ett bredare perspektiv ges. Att använda flera respondenter har gjorts för att säkerställa reliabiliteten i studien. Studien utförs av endast en person, men under arbetets gång ges stöttning från andra personer, som därmed hjälper till att stärka reliabiliteten ur detta perspektiv också. Utöver detta förstärks studiens reliabilitet av att det är olika sorters data som samlas in och observationer som görs.

För att säkerställa att denna studie uppnår god validitet utnyttjas branschens kompetens, genom att intervjuer utförs med personer som besitter kunskaper inom dels robotteknik, dels byggproduktion.

3 Teori

I detta kapitel presenteras den teori som kommer ligga till grund för analyser och slutsatser i detta arbete. Teorin som presenteras kommer dels baseras på hur byggbranschen ser ut idag, gällande teknik och innovationer. Därtill identifieras olika problemområden inom branschen. Det presenteras även tidigare studier inom området. I detta kapitel ges också en beskrivning av den inspektionsrobot som ligger till grund för fallstudien. Det presenteras utöver detta även teori gällande generell automatisering och digitalisering av byggbranschen.

3.1 Byggbranschen idag

Jämfört med andra branscher är det låg produktivitet i byggbranschen (Fowler 2021). Vidare presenterar Fowler (2021) viss statistik från byggbranschen, exempelvis att 40 % av det arbete som utförs på en byggarbetsplats är ineffektivt och att 90 % av de projekt som finns i byggbranschen är försenade. Därefter poängterar Fowler (2021) att implementeringen av ny teknologi i byggbranschen hade kunnat avhjälpa vissa av problemen. Fowler (2021) tillägger även att den digitalisering som hittills skett i byggbranschen mest varit fokuserad på kontor, snarare än produktion. Definitionen av produktivitet grundar sig i hur resurser utnyttjas och används effektivt för att nå ett uppsatt mål (Forbes & Ahmed 2011).

Den budget som generellt ges för att utveckla ny teknologi brukar vara liten (Bock 2015). Utöver detta nämner Bock (2015) att branschen är konservativ och inte gärna arbetar fram nya innovativa lösningar.

3.1.1 Mängden digitalisering

Mängden digitalisering i byggbranschen börjar nu öka, efter att tidigare ha varit lägre än i många andra branscher (Svensk Byggtjänst 2017). Vidare menar Svensk Byggtjänst (2017), baserat på en undersökning Industrifakta utförd på deras begäran, att digitaliseringen sker långsamt och att kunskapen om den, ute i branschen, är låg. Därefter poängterar Svensk Byggtjänst (2017) att det finns skillnader, i digitaliseringsgrad och kunskap gällande digitalisering, mellan stora och små aktörer i branschen. De större företagen har även identifierat finansiella möjligheter, tack vare eventuell digitalisering (Svensk Byggtjänst 2017).

I en undersökning utförd och publicerad av Tillväxtverket (2018), visade det sig att mängden digitalisering varierade mellan olika branscher. Därefter presenterade Tillväxtverket (2018) att byggbranschen var den branschen som hade lägst mängd digitalisering. Att bygga modernt innebär en satsning på ny teknik, såsom automatisering och artificiell intelligens (Regeringen 2017). Vidare menar Regeringen (2017) att digitalisering inom samhällsbyggandet potentiellt kommer innebära nya innovationer och därtill även effektivitet.

3.1.2 Dagens inspektionsprocess

En delprocess i ett byggprojekt är inspektioner av det som byggs. Att kontrollera hur ett byggprojekt fortlöper görs oftast genom manuella metoder och dessa är både tidsödande och kostsamma och därtill finns det även en stor risk för felaktigheter (Asadi et al. 2018). Denna process skulle kunna bli mer effektiv (Sezer & Rudberg 2021). Vidare menar Sezer och Rudberg (2021) att det finns två olika sorters inspektioner som utförs, de som utförs av personal inom projektet och de som utförs av externa personer. Därefter förklarar Sezer och Rudberg (2021) att den förstnämnda typen av inspektioner utförs med ett tillvägagångssätt som innebär att de inblandade individerna inspekterar bygget och antecknar observationer.

De inspektioner som utförs i ett byggprojekt har som syfte att säkerställa att bygget fortlöper enligt ställda krav och gällande regelverk (Halder et al. 2021). Eftersom dessa inspektioner sker utifrån flera av projektets aktörer, såsom arkitekter och dylikt, kan det vara svårt för alla inblandade att finna tid för inspektioner. Vidare menar Halder et al. (2021) att ett sätt att förenkla inspektioner av denna typ är användningen av robotar. Robotar kan ta bilder på särskilda objekt på byggarbetsplatsen, som anses vara av intresse, och därigenom medföra tidsbesparingar (Halder et al. 2021).

Det sätt som datainsamling nu sker på kan innebära en fördröjning från det att datan samlas in, till dess den blir tillgänglig för projektets inblandade parter (Halder et al. 2021). Vidare förklarar Halder et al. (2021) att en konsekvens av detta kan bli att de problemen som dokumenterades vid förra inspektionen kan vara åtgärdade eller att nya problem kan ha uppstått. Utöver detta förklarar Halder et al. (2021) att det numera är vanligt att använda bilder som tagits i 360 graders vinkel, för att kunna skapa känslan av att vara på plats på bygget, en aspekt som faller bort då bilder tagna i 2D analyseras.

Building Information Modeling (BIM) har börjat användas i byggbranschen och bidragit till en effektiviserad planeringsprocess (Prieto et al. 2020). Vidare menar Prieto et al. (2020) att det, trots användningen av BIM, ännu inte finns ett effektivt system för att kontrollera hur arbetet fortlöper. Prieto et al. (2020) poängterar även att det är svårt att undvika subjektivitet, när inspektioner utförs analogt, eftersom det handlar om att någon ska tolka det insamlade materialet. Utöver detta förklarar Prieto et al. (2020) även att det med nya metoder är möjligt att samla in mer data och på så sätt främja en mer exakt inspektion av byggprojektets status.

En större mängd insamlade data innebär att tiden för analys ökar och dessutom är det fortfarande en människa som ska utföra arbetet, vilket kostar tid (Prieto et al. 2020). Prieto et al. (2020) förklarar också att analysen kan utföras automatiskt, men att själva datainsamlingen inte är automatiserad.

3.1.3 Skyddsronder i byggbranschen

Byggbranschen är en bransch som kantas av många olika arbetsmiljörisiker (Arbetsmiljöverket 2022a). Det finns ett antal olika kategorier av arbetsmiljörisiker (Arbetsmiljöverket 2022b) och dessa är följande:

- De fysiska.
- De fysikaliska.
- Belastningsskador.
- De sociala.
- De kemiska och biologiska.

I byggbranschen förekommer det ett flertal risker och därmed är det viktigt att identifiera och förebygga riskerna, för att undvika olyckor (Arbetsmiljöverket 2022c). I ett projekt finns det både en så kallad Bas-P och en Bas-U (Arbetsmiljöverket 2022d). Vidare förklarar Arbetsmiljöverket (2022d) att Bas-P ansvarar för samordningen av projektörerna, medan Bas-U ansvarar för samordningen av de entreprenörer som vistas på byggarbetsplatsen. Bas-P och Bas-U har viktiga uppgifter gällande att samordna de aktiviteter som sker inom projektet, på ett sätt som är riskminimerande (Arbetsmiljöverket 2022c).

Enligt den sjunde paragrafen i Arbetsmiljöförordningen bör det ske regelbundna kontroller vid ett arbetsställe, i form av skyddsronder (Arbetsmiljöverket 2020). Tillvägagångssättet vid en skydds rond är generellt att projektets skyddsombud, tillsammans med arbetsgivaren, kontrollerar arbetsplatsen avseende exempelvis maskiner och buller (Prevent u.å.). Vidare förklarar Prevent (u.å.) att det underlättar att ha en checklista för skyddsronder, eftersom det minimerar risken att något glöms bort. En skydds rond dokumenteras och därefter antecknas det vilka risker som kräver åtgärder och därtill tas det fram förbättringar (Prevent u.å.). Utöver detta tillkommer det uppföljningar, som åsyftar att kontrollera så att åtgärderna har genomförts (Prevent u.å.).

3.2 Robotisering, automatisering och digitalisering i byggbranschen

Om byggbranschen ska kunna röra sig framåt är det nödvändigt att genomföra förändringar i branschen (Maas & van Gassel 2005). Den nya teknologin som introduceras i byggbranschen kommer inledningsvis att anses vara sämre än existerande teknologi (Bock 2015). Vidare menar Bock (2015) att vi är i den fasen, där ny teknologi är sämre

än gammal, just nu. Därefter poängterar Bock (2015) att underlägsenheten i ny teknik kontra gammal beror på hinder av olika slag, bland annat ekonomiska och teknologiska. Så småningom kommer den nya teknologin att manövrera ut den gamla (Bock 2015).

Det finns sex sorters digitalisering som nyttjas i byggbranschen (Byggföretagen 2021). Enligt Byggföretagen (2021) är dessa följande:

- Building Information Modeling (BIM).
- Olika sorters beräkningar och analyser. Därtill även simuleringar.
- Användning av sensorer och så kallade Internet of Things (IoT).
- Olika sorters automatisering, robotik och utöver detta även 3D-printers.
- Visualisering nämns också som en sorts digitalisering.
- Artificiell intelligens (AI) och så kallad maskininlärning.

Med hänsyn till de avgränsningar som gjorts i denna studie är det enbart BIM och automatisering, i form av robotik, som kommer presenteras mer ingående. Presentationen av robotiken kommer vara inriktad på den inspektionsrobot som kommer användas vid studien; Spot från Boston Dynamics.

3.2.1 Automatisering och robotisering i byggbranschen

Det är möjligt att använda robotik vid prefabricering, som är vanligt i byggbranschen (Bock 2015). Vidare menar Bock (2015) att det exempelvis kan handla om robotar som monterar ihop badrumsmoduler och att detta handlar om att små delar komponeras ihop till större delar, med hjälp av robotik. Att utnyttja robotik i byggbranschen handlar om att implementera de system som redan finns i andra, mer automatiserade, industrier (Vähä et al. 2013). Därefter belyser Vähä et al. (2013) att robotisering kan användas för arbeten som vanligtvis utförs av hantverkare. Det är även viktigt att roboten som ska användas inte är alltför komplex och dessutom bör den kunna samspela med de människor som vistas på arbetsplatsen (Vähä et al. 2013).

Under senare år har det förekommit så kallade *unmanned aerial vehicles* och *unmanned ground vehicles*, vilka förkortas UVs (Asadi et al. 2018). Dessa UVs har använts med syfte att samla in bilder från byggarbetsplatser (Asadi et al. 2018). Vidare förklarar Asadi et al. (2018) att det krävs olika saker för att en UV ska kunna utnyttjas effektivt. Bland annat handlar det om autonom navigering och möjligheten att samla in olika former av data.

Maas och van Gassel (2005) menar på att prefabricering är en sorts automatisering av byggbranschen, som bidrar till att arbete flyttas från byggarbetsplatsen till en extern fabrik.

3.2.2 Building Information Modeling (BIM)

Principen bakom Building Information Modeling (BIM) är att det skapas en modell i programmet BIM som är baserad på ett verkligt objekt (Svensk Byggtjänst 2021). BIM kan användas ur ett livscykelperspektiv, på så sätt att all information om en byggnad kan lagras i en BIM-modell (Yazdani 2019). Svensk Byggtjänst (2021) nämner att BIM bland annat medför kvalitetshöjningar och reducerade kostnader. Detta är något som även Yazdani (2019) poängterar, i form av att användningen av BIM i ett projekt leder till minskat antal felaktigheter i alla de led som produktionen består av.

Vähä et al. (2013) menar på att BIM kan användas för att kontrollera hur arbetet på byggarbetsplatsen fortgår, genom att jämföra det som är byggt med det som vid tidpunkten borde vara byggt. Därefter poängterar Vähä et al. (2013) att det är passande att markera med olika färger i modellerna. Svensk Byggtjänst (2021) nämner två olika benämningar inom BIM, byggnadsinformationsmodell och byggnadsinformationsmodellering.

Byggnadsinformationsmodell åsyftar den digitala modellen som byggs upp genom insamling av information kring det som byggs (Svensk Byggtjänst 2021). Svensk Byggtjänst (2021) förklarar också att modellen, utöver byggdelar, också kan vara uppbyggd av exempelvis utrymmen. Byggnadsinformationsmodellering ligger till grund för byggnadsinformationsmodellen och innefattar insamlingen av den information som modellen baseras på (Svensk Byggtjänst 2021).

En BIM-modell är oftast synonym med en 3D-modell och den sistnämnda har varit ett inslag i byggbranschen under en längre tid (Yazdani 2019). Yazdani (2019) poängterar även att en väsentlig skillnad mellan BIM-modellen och 3D-modellen är att en BIM-modell innehåller mer information, särskilt gällande de komponenter som en byggdel består av. Därefter förklarar Yazdani (2019) att informationen om en byggdel, exempelvis en vägg, kan behandla hur väggen är uppbyggd och vilken färg den ska ha etcetera. Vidare menar Yazdani (2019) att den informationen kan användas under många skeden under byggprojektet, bland annat vid framtagning av kalkyler.

Building Information Modeling (BIM) skulle kunna användas av individer ute på byggarbetsplatsen, för att ge dem möjlighet att se om det gjorts några ändringar eller dylikt gällande olika byggdelar (Vähä et al. 2013). Vidare menar Vähä et al. (2013) att med hjälp av automatisering och robotik i byggbranschen kan man skapa geometriskt exakta modeller av byggdelarna.

BIM bidrar med att de byggdelar som prefabriceras får rätt dimensioner (Vähä et al. 2013). Vidare menar Vähä et al. (2013) att BIM även kan bidra ute på byggarbetsplatsen, genom att vara behjälpligt med exakt positionering av de prefabricerade elementen.

3.3 Automatisering av inspektionsprocessen

För att skapa en effektivare inspektionsprocess, som dessutom innebär en högre noggrannhet, kan man använda en robot utrustad med olika sensorer (Prieto et al. 2020). Prieto et al. (2020) har utfört en studie där de föreslagit följande metodologi:

- Att genom olika algoritmer skapa en autonom navigering för en robot.
- Insamling av data.
- Genomföra jämförelser mellan verklighet och det som var planerat, genom bland annat BIM.

Studien som utförts av Prieto et al. (2020) fokuserades på de två förstnämnda punkterna.

En annan studie utförd av Bahreini och Hammad (2021) fokuserade på att ta fram en metod för att använda BIM-baserad navigation för robotar, vid utförandet av inspektioner.

En tredje studie som är utförd av Halder et al. (2021) fokuserar på användningen av fyrbenta robotar, och hur man kan kombinera användningen av dem med BIM-modeller. I studien som Halder et al. (2021) utförde användes Spot, kombinerat med en 360-graderkamera.

3.3.1 Datainsamling med hjälp av robot utrustad med sensorer

Denna studie, som utförts av Prieto et al. (2020), simulerar den föreslagna metoden. All information som presenteras i avsnitt 3.3.1, inkluderat underrubriker, är hämtad från denna källa. Studier som tidigare utförts har varit fokuserade på att automatisera analysen av den data som samlas in på en byggarbetsplats, snarare än på att automatisera själva datainsamlingen. I studien som Prieto et al. (2020) utfört läggs fokus på att automatisera hela processen, det vill säga både analysen och insamlingen av datan.

Tanken bakom metoden som Prieto et al. (2020) föreslår är att skapa en modell, baserat på den data som samlas in, och sedan jämföra denna med den redan existerande BIM-modellen. Studien som är presenterad fokuseras däremot på hur datainsamlingen kan automatiseras. Det kommer skapas en så kallad as-is-modell av byggnaden och de föreslår en metodik för att generera denna.

Prieto et al. (2020) poängterar att framkomligheten för automatiserad teknik, såsom robotar, har förbättrats på senare år, tack vare användningen av lättare byggnadsmaterial. Gips genererar mindre damm och andra rester, än exempelvis murning.

3.3.1.1 Allmänt om robotens utrustning

I studien som utförts fanns en BIM-modell för byggnaden tillgänglig. BIM-modellen kommer användas, med hänsyn till planens utformning, i kombination med LiDAR-teknologi för att möjliggöra robotens positionering. Prieto et al. (2020) poängterar att GPS egentligen hade varit det bästa alternativet, men att det är obrukbart i inomhusmiljöer.

För att säkerställa att roboten kan samla in alla data som krävs, såsom geometrisk information och termisk information, krävs det att roboten utrustas med flertalet sensorer. Utöver detta, för att främja robotens mobilitet, krävs även utrustning som möjliggör interaktion mellan roboten och dess vistelsemiljö, såsom en robotarm (Prieto et al. 2020).

3.3.1.2 *Beskrivning av datainsamling*

För att kunna skapa en rutt för roboten används en så kallad IFC-fil, där IFC står för Industry Foundation Classes. Innehållet i IFC-filen är den informationen som byggnadens BIM-modell är baserad på. Prieto et al. (2020) förklarar att IFC-filen kan bestå av information från byggnader som inte är aktuella, vilket innebär att det första steget blir att identifiera rätt byggnad. Därefter är varje byggnad uppdelad i olika våningsplan, och varje våningsplan har i sin tur utrymmen, såsom rum och korridorer, som definierats.

När all nödvändig information samlats in krävs skapandet av en karta, där alla hinder roboten kan stöta på är redovisade, för att främja en säker passage för roboten. Startpunkten för roboten är alltid i ett rums centrum och genereras av den som styr roboten. Vidare förklarar Prieto et al. (2020) att en algoritm kan användas för att skapa ett schema, gällande vilka rum roboten ska besöka. Roboten tar sig från rummet den befinner sig i till nästa genom att avgöra vilket av de obesökta rummen som ligger närmst. Utöver detta läggs även nyfunna hinder, som inte existerade på de ritningar som fanns i IFC-filen, till på kartan. Roboten känner av sin position i kartan med hjälp av LiDAR-teknologin i kombination med den planritning som hämtats från IFC-filen.

När roboten navigerar sig genom byggnaden behöver den följa ett antal steg (Prieto et al. 2020):

- Skapa en rutt till utgången från nuvarande rum.
- Undersöka huruvida dörren är stängd eller öppen, med hjälp av LiDAR.
- Om roboten finner att dörren är stängd görs ett försök att öppna den. Är dörren öppen skapas en rutt till det rum som roboten ska besöka härnäst.

Vid nästa rum genomförs i princip samma arbetsgång, men i omvänd ordning, där det första steget för roboten blir att avgöra huruvida dörren är stängd eller öppen. Slutligen identifieras en rutt som leder roboten till det nya rummets centrum. Om det skulle vara så att roboten anländer vid en stängd dörr kommer den utföra en skanning som åsytar att finna dörrhandtaget.

Beroende på rummens geometri kan mer än en skanning behöva utföras, exempelvis i korridorer, som räknas som rum, eftersom dimensionerna på en korridor kan göra enbart en skanning otillräcklig.

3.3.1.3 *Att skapa en modell*

I detta skede handlar det om att skapa den så kallade as-is-modellen och sätta den i relation till as-planned-modellen, det vill säga den ursprungliga BIM-modellen. Den data som roboten samlat in sätts in i as-planned-modellen och därigenom ser man vilka delar av as-planned-modellen är representerade i as-is-modellen. Detta ger en indikation på vad som

byggts och inte. As-is-modellen möjliggör en överblick av hur projektet fortgår och vid jämförelser mellan de två modellerna kan det kontrolleras hur många procent av byggnationen som är färdigställd.

3.3.2 OBRNIT (Ontology for BIM-Based Robotic Navigation and Inspection Tasks)

I studien som Bahreini och Hammad (2021) har utfört var syftet att ta fram OBRNIT (Ontology for BIM-based robotic navigation and inspection tasks). Den information som presenteras under rubrik 3.3.2 är hämtad från denna källa. Fyra grundläggande koncept ligger till grund för studien; robotar, byggnader, navigation och inspektioner. I studien används ett hypotetiskt scenario, där en läcka i ett innertak ska inspekteras av roboten. Detta hypotetiska scenario ska påvisa nyttan av OBRNIT, med utgångspunkt i information från BIM och även information gällande inspektionsroboten.

Det första steget i denna hypotetiska studie är att det aktuella rummet specificeras och därefter ska roboten navigera sig till rummet och utföra inspektionen. Vidare förklarar Bahreini och Hammad (2021) att robotens planerade rutt är baserad på en as-built-BIM-modell. Inspektionen sker genom att roboten fotograferar läckan i taket. Den information som roboten hämtar från BIM-modellen är bland annat information om vad som finns i det aktuella rummet, där läckan är, och objekt som finns placerade på vägen från hissen till rummet. Bahreini och Hammad (2021) poängterar också att en så kallad as-is-modell bidrar till en högre säkerhet för roboten, avseende hinder.

I det hypotetiska scenariot stöter roboten på ett hinder, i form av en byggställning, och behöver därför planera om sin rutt. Därefter berättar Bahreini och Hammad (2021) att roboten potentiellt skulle kunna ha kännedom om placeringen av byggställningen om den använt sig av en BIM-modell som blivit uppdaterad.

3.3.3 Metodologi för att inspektera byggprojekt med en fyrbent robot samt en virtuell 3D-miljö

I studien utförd av Halder et al. (2021) används BIM-modellen för en byggnad för att kunna skapa en virtuell miljö, i 3D. Samtlig information under rubrik 3.3.3 är hämtad från denna källa. Syftet med denna virtuella miljö är att skapa möjligheter för roboten att se vilka ytor i byggnaden som är gångbara och därtill även främja dess navigation. Utöver att skapa förutsättningar för roboten skapar den även förutsättningar för människor, som är inblandade i projektet, att få en överblick av byggprojektet.

Den metod som Halder et al. (2021) föreslår är uppbyggd av tre steg. Det första steget innebär att så kallade målpunkter väljs ut och därefter placeras ut i den virtuella miljön. Vidare förklarar Halder et al. (2021) att målpunkterna åsyftar de platser dit roboten ska färdas autonomt och ta en bild, med hjälp av en 360-graderskamera. Kombinerar dessa

målpunkter med geometriska data, från den virtuella miljön, kan så kallade missions, som roboten ska utföra, skapas.

Det andra steget, i den av Halder et al. (2021) föreslagna metoden, är att låta roboten utföra sitt planerade mission. Detta mission grundar sig i att roboten autonomt navigerar sig till målpunkten och förbereder för fotograferingen. Det tredje, och sista steget, i denna metod åsyftar själva insamlingen av data, i form av fotograferingen, som roboten ska utföra. Efter att bilderna är tagna överförs de till den virtuella miljön och där möjliggörs virtuella genomgångar och jämförelser mellan den virtuella miljön och de tagna bilderna.

Halder et al. (2021) använde sig i denna studie av så kallade fiducials för att underlätta navigeringen för Spot. Utöver de tidigare nämnda målpunkterna används även så kallade waypoints, med syfte att navigera Spot förbi hinder och dylikt, mellan olika målpunkter. När roboten identifierar en fiducial sparas dennes position i en lista och det krävs, för att ett mission ska kunna startas, att det existerar en fiducial i denna lista.

När roboten anländer till en av målpunkterna stannar den där tills den tagit den efterfrågade bilden och fortsätter därefter mot nästa målpunkt eller waypoint. När bilderna, efter avslutat mission, laddas ner och placeras ut i den virtuella miljön kan en människa navigera sig till olika målpunkter och se bilderna som tagits där.

3.3.4 Slutsatser från studierna

Prieto et al. (2020) konstaterar efter sin utförda studie att arbetet för att ytterligare underlätta inspektionsprocessen fortsätter. Studien simulerades för en byggnad med två våningar och framöver fortsätter arbetet med att skapa en metod för flervåningshus. Vidare menar Prieto et al. (2020) att en enkel metod för jämförelser mellan as-planned- och as-is-modellen ska framtagas, och därtill ska även metoderna testas i praktiken och inte enbart simuleras.

Bahreini och Hammad (2021) drar slutsatsen att OBRNIT bidrar med att samla den viktigaste informationen från BIM och att detta är ett första steg mot att automatisera inspektionsprocessen.

Halder et al. (2021) stötte på problematik när fiducials skulle placeras ut, på positioner som överensstämde med de i den virtuella miljön. Andra problem som identifierades under studien var bland annat robotens passage genom dörröppningar. Slutsatser som dras av Halder et al. (2021) är att implementeringen av robotik, vid utförandet av inspektioner, kan innebära att en effektivisering och tillåta människor att utföra andra uppgifter.

3.4 Inspektionsroboten Spot

Inspektionsroboten Spot är framtagen av företaget Boston Dynamics och är en robot med ben, som har förmågan att röra sig på många olika underlag och i varierande terräng

(Boston Dynamics 2020a). Boston Dynamics (2020a) förklarar också att Spot tar sig fram genom sin omgivning med hjälp av sensorer och att den fjärrstyrs med en läsplattelikhande kontroll. När Spot används är det även möjligt att programmera in så kallade missions som roboten autonomt kan navigera sig fram genom (Boston Dynamics 2022a).

Det är möjligt att lägga till andra teknologier på roboten, såsom exempelvis en Velodyne Puck LiDAR (Boston Dynamics 2020c). I figur 2 återfinns en bild på Spot när en sådan LiDAR-puck är monterad. Figur 3 visar när Spot har en arm monterad, istället för LiDAR-pucken. Boston Dynamics (2020c) förklarar att ett tillägg av detta slag bidrar till ett ökat omfång för Spot. Med rätt tillägg är det möjligt att med hjälp av Spot kunna göra jämförelser mellan verklighet och BIM-modeller (Boston Dynamics 2022b).

Utan tillägg har Spot en räckvidd på omkring fyra meter, men den ökar till cirka 120 meter med tilläggen (Boston Dynamics 2021). Boston Dynamics (2021) menar på att den ökade räckvidden bidrar vid de tillfällen då inspektionsroboten autonomt ska navigera sig fram i sin omgivning. Spots "kärna" är förprogrammerad på ett sätt som främjar inkopplingen av LiDAR (Boston Dynamics 2021).



Figur 2: Spot med LiDAR-pucken monterad.



Figur 3: Spot med arm monterad.

Vidare förklarar Boston Dynamics (2022b) att jämförelser mellan verklighet och BIM-modeller kommer vara behjälpliga på så sätt att det möjliggör tidigare upptäckt av felaktigheter. Därefter poängterar Boston Dynamics (2022b) att det även bidrar till att minska mängden moment, på byggarbetsplatsen, som behöver göras om. Spot möjliggör även inspektioner av platser och utrymmen som anses vara osäkra för människor (Boston Dynamics 2022b).

För att det ska vara möjligt att påbörja så kallade missions med Spot krävs fiducials (Boston Dynamics 2022c). I figur 4 syns en bild på hur en fiducial ser ut. Fiducials ser i princip ut som QR-koder och används för att Spot ska kunna matcha sin interna karta gentemot dess omgivning (Boston Dynamics 2022c). En fiducial ska placeras vid det som ska bli startpunkten för Spots autonoma mission (Boston Dynamics 2022c). Vidare förklarar Boston Dynamics (2022c) att en fiducial kan placeras vertikalt på exempelvis en vägg, på en höjd av cirka 45–60 cm ovanför golvet, eller på golvet. Boston Dynamics (2022c) poängterar även att det är fördelaktigt att placera en fiducial på ett ställe där den kan sitta kvar under en länge tid. Att använda sig av LiDAR kopplat till Spot minskar det antal fiducials som behövs sättas upp (Boston Dynamics 2022c).



Figur 4: En fiducial, som används när ett mission för Spot ska initieras.

3.4.1 Tillvägagångssätt för att använda Spot

En studie utförd av Afsari et al. (2021) studerade Spot och tog fram en procedur för hur Spot kan användas i praktiken. I studien användes så kallad SpotWalk från HoloBuilder, tillsammans med en 360 graders-kamera (Afsari et al. 2021).

Studien började med att fiducials placerades ut och bland dessa fiducials fanns även startpunkten för Spots mission med (Afsari et al. 2021). Därefter vidtogs alla åtgärder som krävdes för att starta upp Spot, det vill säga att batteri sattes i och dylikt (Afsari et al. 2021). Vidare förklarar Afsari et al. (2021) att det måste skapas en rutt för Spot och att detta görs genom att Spot manuellt styrs längs med den tänkta rutten och att det därtill

manuellt sparar punkter av särskilt intresse. Därefter kan Spot använda så kallad autowalk och gå ruten autonomt, samtidigt som data från utvalda punkter samlas in (Afsari et al. 2021).

Vidare observerade Afsari et al. (2021) vissa problem med robotens framkomlighet under studiens gång, bland annat i relation till material och människor. Afsari et al. (2021) menar på att de begräsningar Spot har gällande hinder innebär att det är svårt att använda Spot under arbetstid, när där är mycket folk i rörelse. Det krävs att Spot har en operatör närvarande och den är således inte helt autonom. Det ska även tilläggas att Spot är känslig för saker i byggmiljön, exempelvis objekt som är transparenta och platser som inte har tillräckligt ljus (Afsari et al. 2021).

4 Resultat

I detta kapitel presenteras resultatet av de intervjuer som utförts, samt den fallstudie som ligger till grund för detta arbete.

4.1 Fallstudie

4.1.1 Intervjuer

Nedan följer en sammanställning av de intervjuer som genomförts i studien. I tabell 1 ges en översikt över de olika respondenterna som ställt upp på intervjuer. Därtill finns även intervjuguiden bifogad, i bilaga 1.

Tabell 1: Respondenternas benämning i text, samt deras yrkesroller och vilken frågekategori de besvarat.

Benämning i text	Yrkesroll	Frågekategori
Respondent 1	Platschef	Frågor om robotik i produktion
Respondent 2	Forskare byggrobotik	Frågor om robotik
Respondent 3	Projektledare byggrobotik	Frågor om robotik

Frågor om robotik i produktion

Modelljämförelse vid avstämning av tidplan är ett möjligt alternativ, beroende på vad det är som ska stämmas av. Gäller det avstämning av större moment, exempelvis stomme och innerväggar, kan det fungera bra. Gällande inredningar och installationer ovan undertak och dylikt kan det bli svårare, då detaljeringsgraden troligtvis blir för låg (Respondent 1, 2022).

Om det skulle vara så att modellen som roboten genererar inte är tillräckligt detaljerad skulle andra potentiella användningsområden för roboten kunna vara kvalitetsarbeten, exempelvis avvikelser och kontroller av att saker står på rätt plats (Respondent 1, 2022).

Ett annat alternativt användningsområde för roboten i produktion skulle kunna vara vid skyddsronder. Roboten skulle då kunna delta vid skyddsronden och när det upptäcks en anmärkning kan roboten ta en bild. En fördel skulle kunna vara om det kunde markeras ut på en ritning var bilden är tagen (Respondent 1, 2022). Vidare förklarar Respondent 1

(2022) att det man kontrollerar vid en skyddsronnd bland annat är: fallrisker, snubblingsrisker och allmän ordning (till exempel städning).

Respondent 1 (2022) betonar att en felaktighet som ofta uppkommer är att brunnar hamnar i fel läge. Det hade varit fördelaktigt om en inspektionsrobot kunde vara behjälplig med att i tidigt skede mäta in brunnar, så de hamnar rätt. Vad beträffar positionering av väggar hade roboten kunnat användas till att kontrollera att de hamnat på rätt plats, för att underlätta placering av inredning senare. När det gäller exempelvis kök, med bänkskivor, är det små toleranser som gäller och då är det viktigt att väggar hamnat rätt (Respondent 1, 2022). Att upptäcka sådana eventuella felaktigheter i ett tidigt skede innebär en kostnadsbesparing.

Respondent 1 (2022) identifierar ovan nämnda saker som fördelarna med användningen av en inspektionsrobot i byggproduktion. Därtill menar Respondent 1 (2022) att en nackdel kan vara om roboten har problem med framkomligheten på byggarbetsplatsen.

Frågor om robotik

I forskningsmiljö är det fullt möjligt att generera en så kallad as-built-modell, medan det i praktiken fortfarande studeras huruvida robothunden kan användas till det (Respondent 2, 2022). Det är även viktigt att särskilja vad det är robothunden gör och vad man kan göra med den data man får ifrån hunden (Respondent 3, 2022). Vidare menar Respondent 3 (2022) att hunden inte analyserar datan, utan enbart samlar in information. Beroende på vilken sorts utrustning roboten har kan den samla in olika sorters data (Respondent 3, 2022). Ett punktmoln för byggnaden, som kan användas vid generering av en modell, samlas in med hjälp av LiDAR-pucken (Respondent 2, 2022).

Till viss mån kan det vara möjligt att markera på en ritning var roboten tagit sina bilder (Respondent 2, 2022). Med LiDAR är roboten bra på att kunna lokalisera sig, och detta skulle kunna utnyttjas vid markering av var en bild är tagen (Respondent 2, 2022). Respondent 3 (2022) poängterar att det är möjligt att göra markeringar av denna typ vid exempelvis skyddsronder, men inte när det gäller moment med krav på högre noggrannhet. Krav på noggrannhet är beroende av process. Det saknas i dagsläget sådana krav för skyddsronder men troligtvis är robotens befintliga räckvidd på cirka en meter tillräckligt (Respondent 2, 2022).

Respondent 2 (2022) förklarar att roboten inte förstår vad det är den ser och att det finns arbete att göra med att få den att förstå vad den ser. Med hjälp av exempelvis termiska sensorer skulle det nu vara möjligt för roboten att upptäcka köldbryggor (Respondent 3, 2022).

Det kommer troligtvis, i framtiden, vara möjligt att få en mer automatiserad robot (Respondent 2, 2022). Vidare menar Respondent 2 (2022) att användningen av robotik i byggproduktion, för autonom datainsamling, bara är vid startpunkten. När det gäller robothunden kan det troligtvis blir aktuellt att göra förberedande arbeten för att främja en mer autonom robot. Sådana förberedande arbeten kan vara att markera ut en rutt för roboten, så att det inte placeras saker i dess väg (Respondent 2, 2022). Respondent 2 (2022) menar på att det krävs att det underlättas för roboten, för att säkerställa att den kan

bli mer autonom. Den akademiska versionen av roboten kan inte ladda sig själv, medan den industriella kan det (Respondent 3, 2022). Om den robot som används i produktion kan ladda sig själv skulle detta även innebära att det hade gått att programmera in vilken tid den ska gå sin förutbestämda runda på byggarbetsplatsen (Respondent 3, 2022). Respondent 2 (2022) förklarar att detta i så fall skulle kunna ske efter arbetstid, då arbetsplatsen är tom. Detta skulle underlätta för både roboten och de människor som vistas på arbetsplatsen.

Fördelarna med att använda en inspektionsrobot i byggproduktion är att det möjliggör att inspektioner kan ske oftare (Respondent 2, 2022). Därtill kan inspektionerna bli repeterbara, vilket medför att det är enkelt att jämföra bilderna som samlas tas och punktmolnen. Nackdelen är att det är en dyr utrustning som utsätts för exempelvis damm och vatten. Det är oklart hur bra hållbarheten i en robothund är. Det är en utrustning som kommer vara på arbetsplatsen och därmed finns det en överhängande stöldrisk. Respondent 2 (2022) menar på att roboten fortfarande är komplex att använda, vilket innebär att det krävs en särskild operatör. Således kan inte någon, på arbetsplatsen, befintlig personal kontrollera roboten. Byggarbetsplatser förändras fort och således kan robotens rutter behöva ändras och för tillfället finns det ingen metod för att ändra dessa automatiskt och det krävs en omprogrammering.

I framtiden skulle det kunna vara möjligt att roboten samlar in material, i form av bilder, kontinuerligt. När dessa bilder sedan analyseras skulle det kunna innebära en helt virtuell skydds rond, där anmärkningar hittas i bildmaterialet (Respondent 2, 2022). Dessa bilder skulle i så fall tas på så många ställen att alla väsentliga ytor täcks in, för att en fullständig analys ska kunna utföras. Om denna sorts rond utförs efter arbetstid är det viktigt att säkerställa att det inte finns några hinder i robotens väg, eftersom det potentiellt skulle kunna innebära att roboten fastnar. Den skulle då bli kvar på det stället till någon kom och flyttade den nästa arbetsdag (Respondent 2, 2022).

4.1.2 Data från roboten vid skydds ronden

Fallstudien som utförts i detta examensarbete har grundat sig i användningen av inspektionsroboten vid en skydds rond. Denna skydds rond, och därmed även fallstudien, är avgränsad till ett våningsplan av den aktuella byggnaden. Metodiken gällande användningen av roboten vid skydds ronden var följande:

- Under skydds rondens genomförande startades ett mission för roboten, det vill säga att olika intressepunkter markerades för att roboten sedan autonomt skulle kunna navigera sig till dessa. Intressepunkterna var de anmärkningar som hittades under skydds ronden. Vid varje intressepunkt placerades det ut en fiducial.
- Efter att skydds ronden var genomförd initierades robotens autonoma mission och roboten navigerade sig då autonomt fram längs den bestämda ruten. Längs med denna rutt samlade roboten in material från intressepunkterna, i form av bilder. Bilderna som togs var dels tagna i 360 graders vinkel, dels enbart på själva anmärkningen.

- Vid uppföljande skydds rond, en vecka senare, initierades samma mission igen och bilderna togs således på samma ställen. Tanken med detta var att möjliggöra analys och jämförelser av bilderna från de båda skydds ronderna.

4.1.2.1 Insamlat material

Den initiala skydds ronden

Vid den initiala skydds ronden noterades sex anmärkningar och dessa presenteras nedan. I figur 5 är intressepunkt 1, det vill säga anmärkning 1, visad i form av en 360-graders bild. I figur 6 syns intressepunkt 1 igen, men denna gång är bilden tagen med Spots kamera (samma kamera som tar 360-graders bilderna, fast i detta fall utan 360-gradersvinkeln).

Under ett mission tas det flera olika bilder, både i färg och i svartvitt, men dessa vinklar är de som bäst åskådliggör intressepunkterna. 360-graders bilden ger en uppfattning om var intressepunkten är och sätter den i ett sammanhang. Bilden från Spots kamera ramar in själva anmärkningen och ger en bild av problemet på nära håll.

Som synes i figur 5 och 6 är den första anmärkningen en snubblingsrisk, med ett rör som sticker upp ur golvet. Hålet är dessutom inte övertäckt eller markerat på något vis.



Figur 5: Intressepunkt 1, med 360-graderskamera.



Figur 6: Intressepunkt 1, med Spots kamera.

I figur 7 visas 360-gradersbilden för intressepunkt 2 och i figur 8 visas bilden från Spots kamera för intressepunkt 2. På bilderna syns anmärkning 2 i form av bristande städning i ett av rummen. Anmärkning 2 åskådliggörs tydligast i figur 8, där bilden är tagen direkt mot anmärkningen.



Figur 7: Intressepunkt 2, med 360-graderskamera.



Figur 8: Intressepunkt 2, med Spots kamera.

I figur 9 och 10 presenteras intressepunkt 3. Det är en anmärkning som, precis som anmärkning 2, behandlar bristande städning. Dels ligger det isolering på golvet, dels ligger där plast kvar.



Figur 9: Intressepunkt 3, med 360-graderskamera.

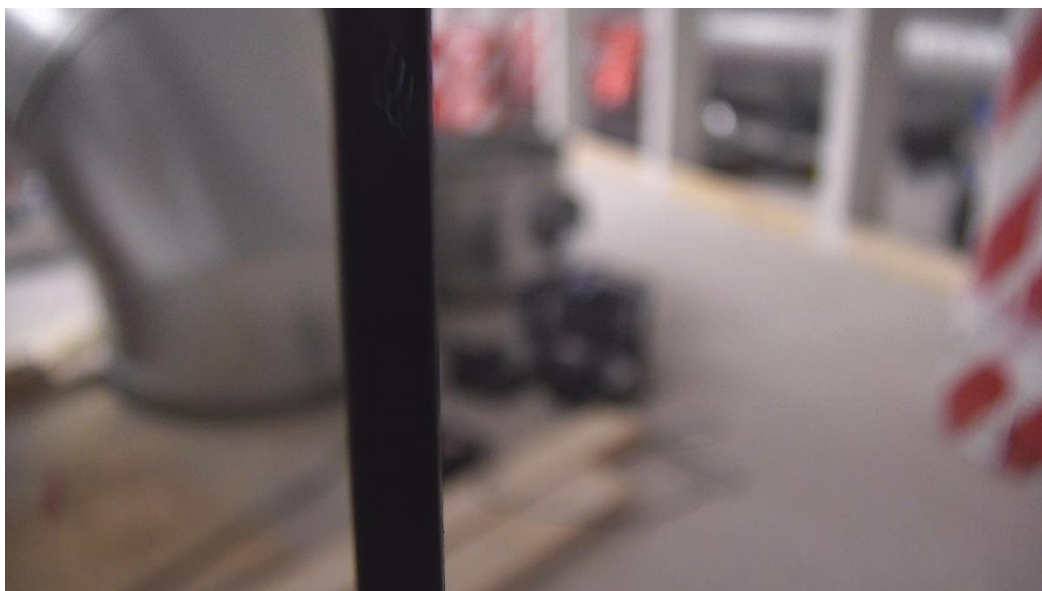


Figur 10: Intressepunkt 3, med Spots kamera.

Intressepunkt 4 presenteras i figur 11 och 12, där figur 11 visar 360-gradersbilden och figur 12 visar bilden som är tagen med Spots kamera. Som synes i figur 12 har Spots kamera inte kunnat fokusera, vilket innebär att bilden blivit suddig och det är således svårt att urskilja anmärkningen. Anmärkning 4 är det som syns till vänster i figur 11, det vill säga reglarna som ligger på marken. Dessa kan utgöra en snubblingsrisk.



Figur 11: Intressepunkt 4, med 360-graderskamera.

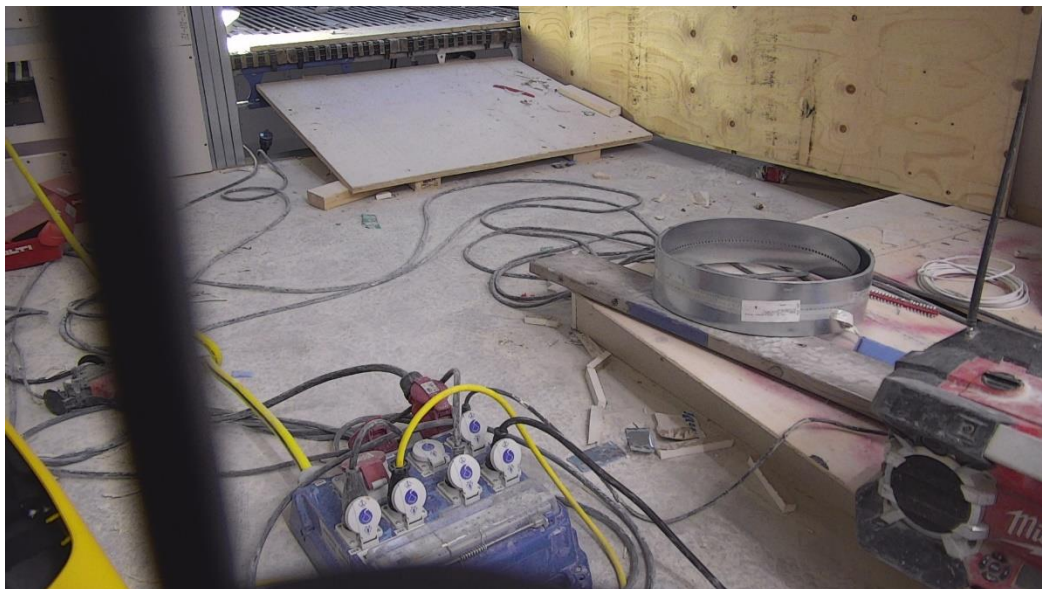


Figur 12: Suddig bild som visar intressepunkt 4, tagen med Spots kamera.

Intressepunkt 5 åskådliggörs i figur 13 och 14. I figur 14 syns det en sladdhärva som kan utgöra en snubblingsrisk, således är det denna som utgör anmärkning 5.



Figur 13: Intressepunkt 5, med 360-graderskamera.



Figur 14: Intressepunkt 5, med Spots kamera.

Den sjätte och sista intressepunkten åskådliggörs i figur 15 och 16. Precis som intressepunkt 2 och 3 handlar anmärkning 6 om bristande städning. Det gäller bland annat plast som ligger på golvet.



Figur 15: Intressepunkt 6, med 360-graderskamera.



Figur 16: Intressepunkt 6, med Spots kamera.

Den uppföljande skyddsronden

Vid den uppföljande skyddsronden utfördes, som tidigare nämnt, samma mission igen. Således är de bilder som nu presenteras tagna på samma ställe som i den initiala skyddsronden.

Intressepunkt 1 åskådliggörs i figur 17 och 18. I båda dessa figurer syns det att anmärkning 1 kvarstår från föregående skyddsron. Att åtgärda denna punkt kan vara problematiskt och således kan det vara en anledning till att den kvarstår.



Figur 17: Intressepunkt 1 vid uppföljande skyddsron, med 360-graderskamera.



Figur 18: Intressepunkt 1 vid uppföljande skydds rond, med Spots kamera.

Under den uppföljande skydds ronden fick inspektionsroboten problem med navigationen, vilket resulterade i att det inte togs några uppföljande bilder vid intressepunkt 2, rummet med bristande städning. Det går således inte att, enbart baserat på bildmaterial från hunden, avgöra huruvida anmärkning 2 är åtgärdad eller inte. Kontroll av åtgärd får därför istället göras på plats eller genom att robotens mission får startas om vid annat tillfälle.

I figur 19 och 20 presenteras intressepunkt 3. I dessa figurer, framförallt i figur 20, syns det att anmärkning 3 är åtgärdad. Det materiel som låg på golvet och utgjorde en snubblingsrisk är numera bortplockat och risken är eliminerad



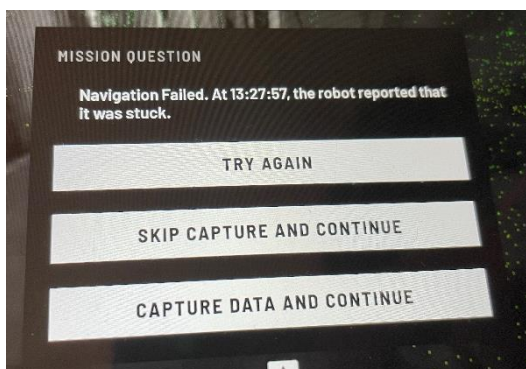
Figur 19: Intressepunkt 2 vid uppföljande skydds rond, med 360-graderskamera.



Figur 20: Intressepunkt 2 vid uppföljande skyddsron, med Spots kamera.

När intressepunkt 4, reglarna på golvet, skulle dokumenteras uppstod det återigen problem med navigationen. I figur 21 återfinns det felmeddelande som dök upp när roboten inte längre kunde navigera sig fram. Figur 22 visar hur den plattan som används för att styra roboten ser ut och hur det såg ut när felmeddelandet uppkom.

Under tiden för fallstudien valdes alternativet *capture data and continue*. Detta innebär att roboten tog en bild där den hade fastnat, istället för att ta en bild på den efterfrågade intressepunkten. I figur 23 åskådliggörs den bild som roboten tog där den fastnade. Eftersom den inte är tagen på samma ställe som i den initiala skyddsronen går det inte, precis som för intressepunkt 2, att avgöra huruvida anmärkning 4 är åtgärdad.



Figur 21: Felmeddelandet som dök upp när robotens navigering misslyckades.



Figur 22: Plattan som används för att styra roboten och en överblick av hur det såg ut när felmeddelandet dök upp.



Figur 23: Bild som togs där navigationen misslyckades.

Vad beträffar intressepunkt 5 och 6 var roboten placerad på samma plats, när både anmärkning 5 och 6 skulle fotograferas. I den uppföljande skyddsronden har enbart anmärkning 6, bristande städning i korridor, blivit fotograferad. I figur 24 och 25 syns det att den anmärkningen är åtgärdad. Anmärkning 5 går det inte att, med hjälp av enbart bildmaterial, avgöra om den är åtgärdad eller inte.



Figur 24: Intressepunkt 6 vid uppföljande skyddsronde, med 360-graderskamera.



Figur 25: Intressepunkt 6 vid uppföljande skyddsron, med Spots kamera.

4.1.3 Observationer kring roboten

Under arbetets gång är det inte enbart robotens beteende under skyddsronen som har observerats. Det har även utförts kontinuerliga observationer av dess beteende under examensarbetets gång.

En vanligt förekommande observation är problematiken kring robotens rörelse på byggarbetsplatsen. De problemen roboten har med framkomligheten beror på att en byggarbetsplats snabbt förändras. Från en dag till en annan kan det tillkomma mycket material, vilket dels kan skapa hinder, dels trånga utrymmen.

I vissa lägen observerades det att roboten kunde ta sig förbi hindren, genom att den successivt arbetade sig runt. I andra lägen kunde roboten inte ta sig förbi ett hinder och rapporterade då att den fastnat. Detta skedde vid den uppföljande skyddsronen, vilket nämndes ovan och illustrerades i figur 21. I figur 21 visas även de tre alternativ som ges när roboten fastnar; *Try again*, *Skip Capture and Continue* samt *Capture Data and Continue*.

Det första alternativet innebär att man ber roboten göra ett nytt försök att ta sig förbi hindret. Detta alternativ användes vid vissa tillfällen under de löpande observationerna, men med blandade resultat. Ibland lyckades roboten navigera sig förbi hindret och ibland fortsatte den fastna. I de fallen då den fortsatte fastna valdes något av de två andra alternativen, *Skip Capture and Continue* eller *Capture Data and Continue*. Det första av dessa alternativ innebär att roboten helt skippar att samla in material vid den specifika punkten och istället tar sig därifrån på smidigaste sätt. Därefter fortsätter roboten sitt mission, såvida man som operatör inte blir tvungen att manuellt styra roboten från platsen.

Det andra alternativet innebär att roboten samlar in data, det vill säga tar en bild, där den står och sedan fortsätter från platsen. Detta innebär däremot att den inte kommer kunna ta bild på det man egentligen bett den ta bild på.

Det observerades även att roboten hade svårt att uppfatta vissa sorters hinder. Exempelvis kan den inte uppfatta en lastpall och dess mellanrum, mellan brädorna. Det handlar därför om att göra vissa anpassningar av en byggarbetsplats, för att underlätta för roboten och kunna få ut maximal nytta av den. Anpassningarna kan exempelvis innebära att det markeras ut var roboten kommer gå, så att material inte ställs i dess planerade bana. Ett komplement till detta skulle kunna vara att roboten går ronder efter arbetstid, för att minska störningsmoment i form av människor.

5 Analys och diskussion

I detta kapitel analyseras detta examensarbets resultat, som presenterades i föregående kapitel, kopplat till den teori som presenterades i kapitel 3. Utöver detta diskuteras även resultatet kopplat till den bakgrund som presenterades i kapitel 1.

5.1 Inspektioner i byggbranschen

5.1.1 Användning av olika bilder

Halder et al. (2021) menar att man genom användningen av en 360-graderskamera kan skapa en känsla av att vara på plats på bygget. I denna studie användes bland annat en 360-graderskamera och dessa bilder finns presenterade i kapitel 4. De bilderna som är tagna i 360 graders vinkel skapar en bra känsla för var på byggarbetsplatsen den aktuella anmärkningen befinner sig. Däremot känns det aktuellt att kombinera med de bilderna som är tagna på enbart anmärkningen, precis som gjorts i denna studie. Att använda enbart 360-gradersbilden hade gjort det svårt att avgöra vad anmärkningen var. Det skulle däremot kunna vara så att 360-gradersbilden kan medföra upptäckten av andra anmärkningar i efterhand vid vidare analys av bilden.

Asadi et al. (2018) uttryckte att inspektioner i byggbranschen numera till största delen görs med manuella metoder. Vidare menar Asadi et al. (2018) att sådana metoder är kostsamma och tidsödande. Halder et al. (2021) föreslår användningen av robotar vid inspektioner på en byggarbetsplats och menar på att det förenklar arbetet. Roboten skulle då kunna användas på ett sätt som föreslagits i detta examensarbete, där dess kameror utnyttjas för att samla in data från bygget. Det behöver inte enbart handla om skyddsronder, utan det kan även handla om andra typer av inspektioner.

5.1.2 Användning av tillägg på inspektionsroboten

Boston Dynamics (2020c) förklarar att det finns olika tillägg som kan göras på roboten, bland annat en LiDAR-puck som ökar räckvidden Spot får. Räckvidden blir 120 meter istället för 4 meter, när LiDAR-pucken är monterad (Boston Dynamics, 2021). När denna studie utfördes hade Spot ingen LiDAR-puck monterad, utan den hade en arm istället. Som nämntes i kapitel 4 uppstod vissa problem när Spot skulle navigera sig fram under den uppföljande rondan. Troligtvis berodde dessa problem på att den inte hade LiDAR-

pucken monterad och att det inte fanns tillräckligt många fiducials längs med ruten. Att enbart placera fiducials vid de olika intressepunkterna är otillräckligt och för att säkerställa att navigationen ska fungera, utan LiDAR-pucken, krävs det fler fiducials. Det hade varit rimligt att ha en fiducial var fjärde meter, baserat på den räckvidd som Boston Dynamics (2021) menar att Spot har utan LiDAR. Hade LiDAR-pucken varit monterad hade det troligtvis varit tillräckligt med de fiducials som sattes upp under skyddsronnen.

5.1.3 Olika hinder för roboten

Afsari et al. (2021) nämnde, efter att de utfört sin studie med Spot, att den upplevdes vara känslig när människor eller saker var i vägen. De identifierade även att Spot var känslig för transparenta ytor och mörka platser. Under den studien som utfördes i detta examensarbete observerades det att roboten var känslig för reflekterande/transparenta ytor, såsom fönster. På den våning som var aktuell för skyddsronnen finns inga fönster, men känsligheten märktes då Spot skulle transporteras till den aktuella våningen. När intressepunkt 4 skulle dokumenteras under den uppföljande skyddsronnen uppstod det, som nämnt i kapitel 4, problem med navigeringen. Troligtvis berodde detta på att det hade hamnat material framför den fiducial som sattes upp vid intressepunkt 4 under den initiala skyddsronnen. Utöver detta kan det också ha berott på att platsen där roboten fastnade var ganska trång och mörk. Det kan ha varit en störning för roboten. Dessa två faktorer föranledde det felmeddelande, i figur 21, som uppkom.

I studien som genomfördes av Bahreini och Hammad (2021) stötte roboten på ett hinder, i form av en byggställning. Bahreini och Hammad (2021) menade på att detta kunde undvikits om roboten som de använde hade haft tillgång till en BIM-modell där hindret var markerat. Den roboten som användes i den fallstudie, som detta examensarbete grundar sig i, är en akademisk version och är således inte helt utvecklad än. I framtiden kan det troligtvis vara möjligt att ge roboten tillgång till BIM-modeller och på så sätt hjälpa den att uppfatta vissa hinder. Det är ju däremot inte möjligt för den att få kännedom om material som står i vägen, då detta inte representeras i en BIM-modell.

Byggarbetsplatser förändras fort och på enbart en vecka hade mycket material flyttats eller tillkommit. Dessa snabbt förändrande miljöer försvårar robotens framfart på en byggarbetsplats, eftersom den är känslig för hinder och får svårare att navigera sig fram. Studien utfördes under lunchtid vilket innebar att det inte fanns några människor där, bortsett från de som utförde studien. Hade det funnits människor närvarande hade det, som Afsari et al. (2021) identifierade i sin studie, kunnat uppstå framkomlighetsproblem för roboten.

5.1.4 Analys av insamlat material

Den metod som Prieto et al. (2020) föreslog innebar att insamlingen av data på en byggarbetsplats skulle automatiseras. Prieto et al. (2020) menade även att tidigare studier fokuserat på att automatisera själva analysen av datan och inte insamlingen. Den fallstudie

som utförts i detta arbete testar en automatisering av en skyddsron. Vad beträffade analysen av datan, det vill säga de bilder som togs, gjordes den genom en okulär jämförelse mellan bilderna från den initiala skyddsronen och den uppföljande. Således är alltså, i detta fall, analysen manuell, medan insamlingen av data är autonom. Hela processen med skyddsronen är däremot till största delen manuell, eftersom en människa måste gå skyddsronen och hitta anmärkningarna, för att kunna starta inspektionsrobotens mission.

Till viss mån försvårades analysen av det insamlade materialet på grund av varierande kvalitet på bilderna. I figur 6 är ställningen som skyddar Spots kamera delvis i vägen. Det är däremot ändå möjligt att urskilja vilken anmärkning bilden vill visa, det vill säga röret som sticker upp ur golvet. Vad beträffar figur 12 är den bilden suddig och det är omöjligt att, enbart genom att kolla på den bilden, urskilja vad bilden ska föreställa. Således går det inte att se vad den anmärkningen är, det vill säga reglarna som utgör en snubblingsrisk. Kollar man enbart på den bilden som är tagen i 360 graders vinkel, figur 11, kan man se att reglarna ligger där, men det är svårt att identifiera att det ska vara anmärkningen.

5.1.5 Vad roboten kan avhjälpa

Den metod som Prieto et al. (2020) introducerar åsyftar att generera en modell, som kan jämföras med en befintlig BIM-modell. Respondent 1 (2022) menade på att det skulle kunna vara möjligt att använda sig av modelljämförelse då större saker ska avstämmas i tidplanen, exempelvis stommen. Respondent 2 (2022) förklarade att roboten inte uppfattar vad den ser. Detta innebär således att när det blir mer detaljerade saker, exempelvis installationer ovan undertak, är det svårt för roboten att uppnå en tillräckligt hög detaljeringsgrad. Respondent 1 (2022) poängterar även att roboten skulle kunna avhjälpa vid kvalitetsarbeten, så som att kontrollera att saker och ting hamnat på rätt plats. När det handlar om exempelvis bänkskivor i kök är det viktigt att väggar hamnat rätt, då det inte finns någon större felmarginal (Respondent 1 2022).

Den metod som fallstudien grundar sig på innebär en okulär jämförelse mellan de bilder som tagits vid de olika tillfällena. Nu är hela processen, förutom när ett mission utförs, manuell. Själva skyddsronen behöver en operatör som är med och observerar, samt startar ett mission. I framtiden hade det kanske kunnat ges möjligheter för att göra åtminstone den uppföljande skyddsronen helt automatiserad, med liknande metodik som den Prieto et al. (2020) föreslår. Respondent 2 (2022) menar på att det kan vara möjligt att automatisera datainsamlingen vid en skyddsron, genom att roboten kontinuerligt tar bilder och att skyddsronen utförs genom analys av bildmaterialet. Detta skulle innebära att åtminstone den del av en skyddsron som behandlar datainsamling blir automatiserad.

I den studie som Halder et al. (2021) utförde drog de slutsatsen att implementeringen av robotik vid inspektioner skulle kunna möjliggöra att människor kan ägna tid åt andra uppgifter. Studien som utfördes i detta arbete är, som nämnts, till stor del manuell. Om det däremot är möjligt att göra den uppföljande skyddsronen autonom skulle det vara möjligt för den person som startar robotens mission att göra annat under tiden.

Analysen och jämförelsen av bilderna gjordes i denna fallstudie okulärt och det krävs att en operatör gör denna jämförelse, eftersom roboten inte kan urskilja risker. Är det sedan tal om kvalitetskontroller är det möjligt för roboten att vara behjälplig där. Respondent 1 (2022) nämnde att roboten i framtiden skulle kunna vara behjälplig med kontroller, så som kontroller av att allting hamnar på rätt plats.

Det handlar även om att planera vad man vill att roboten ska vara behjälplig med. Intervjuer användes i denna studie för att identifiera vad roboten skulle kunna avhjälpa. I praktiken kan det tänkas vara aktuellt med ett möte där man planerar vad man vill att roboten ska vara behjälplig med. I framtiden, när robotens användbarhet ökas, blir detta troligtvis mer aktuellt.

En av fördelarna med roboten, som Respondent 2 (2022) tog upp, gällde att datainsamling kan ske kontinuerligt. Om denna fördel kopplas till det som Halder et al. (2021) tog upp, gällande att robotar skulle kunna underlätta inspektioner och att inspektioner ska ske kontinuerligt, kan det ses fördelar med det som Respondent 2 (2022) föreslår.

Inspektioner handlar om att få en överblick av hur arbetet på en byggarbetsplats fortlöper, enligt Halder et al. (2021), och att utnyttja roboten till detta anses lämpligt. Att få material som är kontinuerligt uppdaterat medför inte enbart förståelse för byggprojektets nutid, utan även dess dåtid, eftersom det då är möjligt att studera material bakåt i tiden om det skulle vara av intresse. Det kan vara bra att ha möjlighet att gå tillbaka och kolla igenom gammal insamlad data, för att exempelvis kunna följa hur ett specifikt moment fortlöpt och när exakt det blev färdigt.

5.1.6 Jämförelse med nuvarande metod för skyddsronder

Prevent (u.å) menar på att det används manuella metoder för skyddsronder, där anmärkningar och åtgärdsförslag antecknas. Utöver detta används ibland en checklista (Prevent u.å.).

I denna studie användes, i stället för anteckningar, bildmaterial. Metoden medför en förenkling i att det går att se vad anmärkningen innebär. Går det sedan i framtiden att markera ut på ritning var anmärkningen är besparas man att behöva beskriva skriftligen var en anmärkning finns, vilket Respondent 2 (2022) menar ska vara möjligt (med en noggrannhet på cirka en meter). Går det därtill även att göra den uppföljande skyddsronden autonom skulle det innebära en tidsbesparing. Respondent 1 (2022) menar att det hade varit fördelaktigt om det på en ritning kunde markerats ut var en bild är tagen och således var anmärkningen finns.

Det är däremot svårt att avgöra om den metod som föreslås i detta arbete medför en förbättring av processen eller inte. Det bildmaterial som samlas in anses bli mer överskådligt än anteckningar. Däremot kan det kanske krävas någon anteckning som beskriver vad anmärkningen på bilden innebär plus ett åtgärdsförslag. Detta skulle i så fall innebära att den föreslagna metoden, i nuläget, inte innebär en effektivisering kontra den traditionella metoden.

Det ska även tilläggas att denna metod är ett initialt försök att skapa en automatiserad skyddsron. I framtiden skulle denna metod kunna utvecklas till något som är ekvivalent med den metod som Respondent 2 (2022) föreslog. Den metod som Respondent 2 (2022) föreslog skulle innebära en automatisering av den datainsamling som sker för en skyddsron. En sådan metod skulle däremot, som Respondent 2 (2022) själv konstaterade, innebära att den rutt som roboten går måste hållas fri från hinder och dessutom att hela arbetsplatsen ska täckas in i den rutt. Täcks inte hela arbetsplatsen in är det inte möjligt att få en fullständig datainsamling för en skyddsron. Grundprincipen i den metoden är densamma som i den studie som utförts i detta arbete, det vill säga att de bilder som samlas in analyseras okulärt.

5.1.7 Kritik till studien

Den skyddsronen som fallstudien grundar sig på utfördes, som nämnt, enbart på ett våningsplan. Att ronden endast utfördes på ett våningsplan berodde på den begränsade tiden under vilken ronden kunde utföras. En mer rättvis bild av hur denna föreslagna metod skulle kunna användas i praktiken hade givits om ronden utförts i hela byggnaden.

Enligt Aaltio och Heilmann (2010) ska en fallstudie studera ett specifikt fall, i dess specifika miljö. Till viss mån utfördes denna studie i robotens specifika miljö, det vill säga på en byggarbetsplats, men utan människor. Att utföra skyddsronen när det inte var några människor på plats innebar att ett eventuellt störningsmoment för roboten eliminerades. Det hade varit mer representativt om studien genomfördes när människor var på plats, då man kunde observerat hur roboten hanterade den situationen. Detta hade inneburit att miljön blivit mer specifik, eftersom många människor vistas på en byggarbetsplats och roboten bör således kunna hantera det.

Ytterligare en sak som hade kunnat ge studien mer substans hade varit om en skyddsron utförts med LiDAR-pucken monterad, istället för armen. De fiducials som sattes upp under ronden hade troligtvis varit tillräckliga om LiDAR-pucken varit monterad, men det hade varit intressant att kunna göra en jämförelse av ronden med och utan LiDAR.

5.1.8 Inspektioner idag

Ekanayake et al. (2021) menar på att det sätt som inspektioner idag utförs på innehåller brister, i form av felaktigheter och ineffektivitet. Karimi et al. (2021) poängterar att datainsamlingen som görs vid inspektioner görs av många parter och därför levereras i olika format.

I denna studie användes en inspektionsrobot till ett specifikt fall av inspektioner; skyddsron. Sett till andra inspektioner som görs hade användningen av roboten kunnat bidra till att det material som samlas in är av samma typ. Olika yrkesgrupper kan använda roboten till dokumentation, och på så sätt få en homogenitet i hur datainsamlingen på ett bygge sker. Inspektioner som kräver att olika yrkesgrupper ska transportera sig till

arbetsplatsen hade kunnat avhjälpas genom användning av en inspektionsrobot, då den i framtiden skulle kunna användas helt autonomt. Respondent 2 (2022) menar på att roboten i framtiden kommer kunna bli mer autonom. Det skulle även kunna bli aktuellt för roboten att gå tidsinställda ronder efter arbetstid (Respondent 3, 2022). Planeringen av dessa ronder hade då förslagsvis kunnat ske genom möten, med berörda parter.

5.1.8.1 Hur en inspektionsrobot kan bidra

Att använda en inspektionsrobot vid utförandet av inspektioner kan bidra med kontinuitet. Om det är möjligt att, som denna studie delvis visat, automatisera ronder för att roboten kontinuerligt ska samla in data kan man enkelt få en överblick av projektets framsteg. Sker dessa ronder efter arbetstid minimeras störningen, både för roboten och människorna som vistas på arbetsplatsen. Att de inblandade i projektet sedan kan ta del av det material som samlas in och välja ut sina intressepunkter anses vara en stor fördel. Detta skulle innebära att alla olika underentreprenörer har tillgång till samma material. Innan det testas helt i praktiken är det däremot svårt att fastställa huruvida det är möjligt för roboten att ta bilder som täcker in allt som krävs av olika entreprenörer. Skulle det däremot vara så att robotens insamlade material kan vara givande för alla entreprenörer anses roboten kunna bidra mycket.

6 Slutsatser

I detta kapitel besvaras de frågeställningar som formulerades i avsnitt 1.3. De slutsatser som dras i detta kapitel grundar sig i den teori som presenterades i kapitel 3, i resultatet som presenterades i kapitel 4 samt i de analyser och diskussioner som togs upp i kapitel 5.

6.1 Svar på frågeställningar

6.1.1 Vilka är svårigheterna på en byggarbetsplats, som en inspektionsrobot skulle kunna avhjälpa?

Exempelvis kan det handla om att roboten ska kontrollera att väggar i kök hamnar rätt, så att bänkskivan kan få plats. Ett annat exempel är att kontrollera att golvbrunnar hamnar på rätt plats, något som vid intervjuerna i denna studie identifierats som ett problemområde. Det kan även vara lämpligt att ha med roboten vid skyddsronder, då den kan vara med och dokumentera de anmärkningar som upptäcks.

En annan sak den kan vara behjälplig med är avstämning av tidplan. Det skulle kunna vara att det genereras en så kallad as built-modell från roboten, som kan jämföras med en as planned-modell. Om dessa modeller jämförs med varandra kan det vara möjligt att se hur mycket som är färdigställt. En sådan jämförelse anses dock vara mest aktuell då större moment, så som stommen, ska avstämmas. Mer detaljerade moment, exempelvis installationer ovan undertak, kan inte roboten uppfatta.

6.1.2 Hur effektivt är användandet av inspektionsrobotar i dagsläget?

I nuläget kräver en inspektionsrobot fortfarande en operatör, som har kunskaper om robotens komplexitet. Detta innebär att användbarheten i nuläget inte är särskilt hög, eftersom det krävs särskild kompetens för att nyttja den. Det finns däremot saker med en inspektionsrobot som gör den effektiv, så som att den kan generera kontinuerlig insamling av data, i form av bilder, på en byggarbetsplats. Denna data kan sedan okulärt analyseras. Detta kan leda till att felaktigheter upptäcks och hanteras i tid, vilket skulle innebära en kostnadsbesparing.

I dagsläget är det även möjligt att, med hjälp av en LiDAR-puck kunna generera en så kallad as built-modell. Denna modell kan sedan jämföras med en befintlig BIM-modell, vilket skulle kunna användas för en effektiv avstämning av ett projekts tidplan.

6.1.2 Hur ser framtiden för automatisering och digitalisering i byggbranschen ut?

En gemensam slutsats från tidigare studier är att det finns stora möjligheter med automatisering, i form av robotik, i byggbranschen. Användningen av robotik har identifierats som en möjlighet till effektivisering av de idag manuella inspektionsmetoderna. Den studie som gjordes i detta arbete var en relativt förenklad metod, för att kunna testa om det i framtiden kan utföras skyddsronder på ett automatiserat vis. Att dokumentera en skydds rond med den metoden anses vara bra, då kvaliteten på bilderna blev bra. Ett bra komplement till detta hade dock kunnat vara möjligheten att på en ritning, digitalt, markera ut var exakt en bild är tagen. På så sätt skulle det även åskådliggöras var en anmärkning befinner sig. Skulle det sedan vara möjligt att låta roboten gå kontinuerliga rundor på arbetsplatsen och samla in bildmaterial, som sedan okulärt kan analyseras, anses effektiviteten kunna öka.

Framtiden för automatisering kan även behandla hur jämförelser mellan BIM-modeller kan användas för att kontrollera hur ett byggprojekt fortlöper. Detta skulle således skapa ett samspel mellan automatisering och digitalisering inom byggbranschen, då BIM numera är ett vanligt förekommande digitalt hjälpmedel.

6.1.4 Vilka är för- och nackdelarna med att använda en inspektionsrobot i byggproduktion?

De fördelar som identifierats genom denna studie är:

- Att det material som roboten samlar in potentiellt kan användas vid avstämning av tidplanen. Detta gäller i så fall moment med låg detaljgrad, exempelvis stomme. Att genomföra avstämmningar i tidplanen på detta sätt skulle kunna innebära att det ges en bra överblick av hur projektet fortlöper. Detta skulle kunna ske med modelljämförelse, mellan en as built-modell och en as planned-modell (befintlig BIM-modell).
- Den kan användas vid kontroller av avvikelser och kontrollera att saker hamnar på rätt plats. Detta skulle kunna medföra kostnads- och tidsbesparingar, då felaktigheter kunnat upptäckas och åtgärdas i tid.
- Den kan bidra till kontinuerlig insamling av material, för att underlätta kontroll av hur arbetet fortlöper. Inspektionerna blir dessutom repeterbara. Detta skulle kunna innebära tidsbesparingar, då de människor som är inblandade i projektet inte själva hade behövt utföra själva inspektionen. Däremot krävs fortfarande en okulär analys av det material som roboten samlar in.

De nackdelar som identifierats genom denna studie är:

- Roboten är känslig för om saker står i dess väg och det finns stor risk för att detta händer på en byggarbetsplats, där det är mycket material inblandat. Därtill är den komplex att använda och kräver en extern operatör.
- Den är dyr och medför en stöldrisk om den vistas på bygget. Detta skulle således kunna innebära stora kostnader, dels under inköpet och potentiellt under dess vistelse på en byggarbetsplats.
- Det är ännu inte klarlagt hur hållbar roboten är och den utsätts för exempelvis damm och smuts på en byggarbetsplats.

6.2 Förslag på framtida studier

Denna studie fokuserades enbart på hur en skydds rond skulle kunna utföras med hjälp av en inspektionsrobot. I framtiden hade det varit intressant om inspektionsroboten studerades i någon annan sorts inspektion, exempelvis vid inspektioner av hur ett byggprojekt fortlöper.

När robotiken utvecklas vidare och det går att använda roboten mer autonomt än nu kan det även vara intressant att se om roboten skulle kunna arbeta mer i samspel med människor. Det hade varit intressant att studera om roboten kunde gjort löpande kontroller av det som byggs. Antingen när det är folk i rörelse eller när människor gått hem för kvällen och roboten är ensam kvar.

Ytterligare ett förslag till en framtida studie hade kunnat vara att studera huruvida det faktiskt hade varit möjligt att använda roboten vid avstämning av tidplan. Det hade då kanske varit möjligt att ta fram någon slags plan för hur detta skulle ske.

8 Referenser

Aaltio, I. & Heilmann, P. (2010). *Encyclopedia of Case Study Research*. Kalifornien: SAGE Publications.

Afsari, K., Halder, S., Ensafi, M., DeVito, S. & Serdakowski, J. (2021). Fundamentals and Prospects of Four-Legged Robot Application in Construction Progress Monitoring. *57th Annual Associated Schools of Construction International Conference*. Chico, Kalifornien 5–8 april 2021, ss. 270–278.

Arbetsmiljöverket (2020). *Arbetsmiljöförordningen*. <https://www.av.se/arbetsmiljoarbete-och-inspektioner/lagar-och-regler-om-arbetsmiljo/arbetsmiljolagen/arbetsmiljoforordningen/#7> [2022-03-16].

Arbetsmiljöverket (2022a). *Fysiska arbetsmiljörisker*. <https://www.av.se/produktion-industri-och-logistik/bygg/risker-vid-byggnad--och-anlaggningsarbeten/vanliga-arbetsmiljorisker-vid-byggnads--och-anlaggningsarbete/fysiska-arbetsmiljorisker/> [2022-03-16].

Arbetsmiljöverket (2022b). *Vanliga arbetsmiljörisker vid byggnads- och anläggningsarbete*. <https://www.av.se/produktion-industri-och-logistik/bygg/risker-vid-byggnad--och-anlaggningsarbeten/vanliga-arbetsmiljorisker-vid-byggnads--och-anlaggningsarbete/> [2022-03-16].

Arbetsmiljöverket (2022c). *Förebygg risker på arbetsplatsen*. <https://www.av.se/produktion-industri-och-logistik/bygg/forebygg-risker-pa-byggarbetsplatsen/> [2022-03-16].

Arbetsmiljöverket (2022d). *Ansvar vid byggnads- och anläggningsarbete*. <https://www.av.se/produktion-industri-och-logistik/bygg/ansvar-vid-byggnads--och-anlaggningsarbete/> [2022-03-16].

Asadi, K., Ramshankar, H., Pullagurla, H., Bhandare, A., Shanbhag, S., Mehta, P., Kundu, S., Han, K., Lobaton, E. & Wu, T. (2018) Vision-based integrated mobile robotic system for real-time applications in construction. *Automation in Construction*, vol. 96, ss. 470–482. doi: 10.1016/j.autcon.2018.10.009

Bahreini, F. & Hammad, A. (2021). Towards an Ontology for BIM-Based Robotic Navigation and Inspection Tasks. *38th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*. Dubai, UAE 3–4 november 2021, ss. 1025–1032.

- Balzan, A., Cabrera Aparicio, C. & Trabucco, D. (2021). Construction Robotics: Current Approaches, Future Prospects. *CTBUH Journal, Issue 1*. https://global.ctbuh.org/resources/papers/4429-Balzan_Robotics.pdf
- Barbour, R. (2008). *Introducing Qualitative Research*. Kalifornien: SAGE Publications.
- Barlow, C. A. (2010) *Encyclopedia of Case Study Research*. Kalifornien: SAGE Publications.
- Bock, T. (2015). The future of construction automation: Technological disruption and the upcoming ubiquity of robotics. *Automation in Construction*, vol. 59, ss. 113–121. doi: 10.1016/j.autcon.2015.07.022
- Boston Dynamics (2020a). *Spot Information for Use*. Waltham: Boston Dynamics. <https://www.bostondynamics.com/sites/default/files/inline-files/spot-information-for-use-en.pdf>
- Boston Dynamics (2020b). *Game Changing Automation*. Waltham: Boston Dynamics. <https://www.altohelix.com/wp-content/uploads/2021/08/Boston-Dynamics-eBook-Game-Changing-Automation.pdf>
- Boston Dynamics (2020c). *Spot Enhanced Autonomy Package*. Waltham: Boston Dynamics. <https://www.bostondynamics.com/sites/default/files/inline-files/spot-enhanced-autonomy-package-reference.pdf>
- Boston Dynamics (2021). *Spot Enhanced Autonomy Payload (EAP)*. <https://support.bostondynamics.com/s/article/Spot-Enhanced-Autonomy-Package-EAP> [2022-03-02].
- Boston Dynamics (2022a). *Spot – The Agile Mobile Robot* https://www.bostondynamics.com/products/spot#id_first [2022-03-01].
- Boston Dynamics (2022b). *Spot for Construction*. <https://www.bostondynamics.com/solutions/construction> [2022-03-01].
- Boston Dynamics (2022c). *About fiducials (access download here)*. <https://support.bostondynamics.com/s/article/About-Fiducials> [2022-03-11].
- Bryman, A. (2016). *Samhällsvetenskapliga metoder*. 3e uppl., Stockholm: Liber AB.
- Byggföretagen (2021) *Här är de sex största digitaliseringsteknikerna i byggbranschen*. <https://byggforetagen.se/2021/01/har-ar-de-sex-storsta-digitaliseringsteknikerna-i-byggbranschen/> [2022-03-08].
- Ekanayake, B., Kwok-Wai Wong, J., Ahmadian Fard Fini. A. & Smith, P. (2021). Computer vision-based interior construction progress monitoring: A literature review and future research directions. *Automation in Construction*, vol. 127. doi: 10.1016/j.autcon.2021.103705
- Evers, J. C. & van Staa, A.L. (2010) *Encyclopedia of Case Study Research*. Kalifornien: SAGE Publications.

Forbes, L. H. & Ahmed, S. M. (2011). *Modern Construction: Lean Project Delivery and Integrated Practices*. Boca Raton: CRC Press.

Fowler, S. (2021). *Connecting the Construction Site*. Stockholm: Smart Built Environment. <https://www.uppkoppladbygg.se/media/czwff5iw/ub-white-paper-iot-och-big-data-eng.pdf>

Halder, S., Afsari, K., Serdakowski, J. & DeVito, S. (2021). A Methodology for BIM-enabled Automated Reality Capture in Construction Inspection with Quadruped Robots. *38th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*. Dubai, UAE 3–4 november 2021, ss. 17–24.

Hammond, M. & Wellington, J. (2021). *Research Methods: The Key Concepts*. 2a uppl., Routledge.

Karimi, S., Gomes Braga, R., Iordanova, I. & St-Onge, D. (2021). Semantic Optimal Robot Navigation Using Building Information on Construction Sites. *38th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*. Dubai, UAE 3–4 november 2021, ss. 57–64.

Kearney, M. W. (2017). *The SAGE Encyclopedia of Communication Research Methods*. Kalifornien: SAGE Publications.

Kim, M. J., Chi, H.-L., Wang, X. & Ding, L. (2015). Automation and Robotics in Construction and Civil Engineering. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 79, ss. 347–350. doi: 10.1007/s10846-015-0252-9

Kirk, J. & Miller, M. L. (1986). *Reliability and Validity in Qualitative Research*. Kalifornien: SAGE Publications.

Litwin, M. S. (1995). *How to Measure Survey Reliability and Validity*. Kalifornien: SAGE Publications.

Maas, G. & van Gassel, F. (2005) The influence of automation and robotics on the performance construction. *Automation in Construction*. vol. 14. doi: 10.1016/j.autcon.2004.09.010

McEwan, B. (2017). *The SAGE Encyclopedia of Communication Research Methods*. Kalifornien: SAGE Publications.

Olsen, W. (2012). *Data Collection: Key Debates and Methods in Social Research*. Kalifornien: SAGE Publications.

Packer, M. (2011). *The Science of Qualitative Research*. New York: Cambridge University Press.

Paterson, B. L. (2010). *Encyclopedia of Case Study Research*. Kalifornien: SAGE Publications.

Prevent (u.å.). *Skyddsron*. <https://www.prevent.se/jobba-med-arbetsmiljo/kom-igang/riskbedomning/skyddsron/> [2022-03-16].

- Prieto, S. A., García de Soto, B. & Adán, A. (2020). A Methodology to Monitor Construction Progress Using Autonomous Robots. *37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*. Kitakyushu, Japan. 27–28 oktober 2020, ss. 1515–1522.
- Rahimian, F. P., Seyedzadeh, S., Oliver, S., Rodriguez, S. & Dawood, N. (2020). On-demand monitoring of construction projects through a game-like hybrid application of BIM and machine learning. *Automation in Construction*, vol. 110. doi: 10.1016/j.autcon.2019.103012
- Regeringen (2017). *För ett hållbart digitaliserat Sverige – en digitaliseringsstrategi*. Stockholm:Regeringen
https://www.regeringen.se/49adea/contentassets/5429e024be6847fc907b786ab954228f/digitaliseringsstrategin_slutlig_170518-2.pdf
- Sezer, A. A. & Rudberg, M. (2021). *Modernised Inspection Process*. Stockholm: Smart Built Environment. <https://www.uppkoppladbygg.se/media/1komvyt3/ub-white-paper-ncc-scharc-moderniserad-besiktningprocess-eng.pdf>
- Simons, H. (2009). *Case Study Research in Practice*. Kalifornien: SAGE Publications.
- Svensk Byggtjänst (2017). *Byggbranschen och digitalisering*. Stockholm: Svensk Byggtjänst.
https://info.byggtjanst.se/rs/626-CSV-637/images/d5_digitaliseringsundersokning.pdf
- Svensk Byggtjänst (2021). *Vad är BIM?* <https://byggtjanst.se/artiklar/vad-ar-bim> [2022-03-02].
- Swanborn, P. (2010). *Case Study Research: What, Why and How*. Kalifornien: SAGE Publications.
- Tight, M. (2017). *Understanding Case Study Research: Small-scale Research with Meaning*. Kalifornien: SAGE Publications.
- Tillväxtverket (2018). *Digitalisering används främst för effektivisering*. <https://tillvaxtverket.se/statistik/vara-undersokningar/resultat-fovven-2017/2018-06-21-digitalisering-anvands-framst-for-effektivisering.html> [2022-03-02].
- Vähä, P., Heikkilä, T., Kilpeläinen, P., Järviluoma, M. & Gambao, E. (2013). Extending automation of building construction – Survey on potential sensor technologies and robotic applications. *Automation in Construction*, vol. 36. doi: 10.1016/j.autcon.2013.08.002
- Ward, K. & Street, C. (2010). *Encyclopedia of Case Study Research*. Kalifornien: SAGE Publications.
- Wästerfors, D. (2018). *The SAGE Handbook of Qualitative Data Collection*. Kalifornien: SAGE Publications.
- Yazdani, A. (2019) *Digitaliserad produktionsprocess byggproduktion*. Stockholm: Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond.

<https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/e6a475d4-20ba-4b20-b8f8-a0acd72a63ed/FinalReport/SBUF%2013473%20Slutrapport%20Digitaliserad%20Produktionprocess.pdf>

Yue, A. R. (2010). *Encyclopedia of Case Study Research*. Kalifornien: SAGE Publications.

9 Bilagor

9.1 Bilaga 1

Intervjuguide Automatisering och digitalisering av byggbranschen: Fallstudie med robothund

Denna intervju utförs med syfte att användas i mitt examensarbete, som behandlar ämnet automatisering och digitalisering i byggbranschen. Tanken med intervjun är att identifiera möjligheter med robotik i byggbranschen och eventuella hinder. Intervjufrågorna kommer vara avgränsade till användningen av Spot, från Boston Dynamics.

Om medgivande ges kommer det utföras ljudinspelningar under intervjun. Respondenterna kommer vara anonyma.

Intervjufrågor

Frågor om robotik

- Är det möjligt att generera en så kallad as-built-modell och sedan jämföra med en befintlig BIM-modell?
- Finns det möjlighet att på ett smidigt sätt markera i modellen var olika bilder är tagna och på så sätt kunna åskådliggöra delar av modellen med bilder?
- Kan man uppnå en modell med hög detaljeringsgrad? Uppfattar roboten exempelvis om en vägg är enklad eller dubblad eller om det finns installationer i den?
- Just nu kräver roboten fortfarande en del av sin operatör. Kommer det i framtiden vara möjligt att få en än mer automatiserad inspektionsrobot?

- Vilka för- och nackdelar ser du med användningen av en inspektionsrobot i byggproduktion?
- Tror du att man potentiellt skulle kunna automatisera skyddsronder i framtiden?

Frågor om robotik i produktion

- Anser du att det finns en möjlighet att använda modelljämförelse, d.v.s. jämförelse av en modell som roboten skapat kontra en befintlig BIM-modell, vid avstämning av tidplanen?
- Om den modellen som roboten genererar inte är tillräckligt detaljerad för att kunna användas vid avstämning av en tidplan, ser du något annat användningsområde för modellen?
- Ser du något annat användningsområde för roboten? Något inom projektet som den skulle kunna avhjälpa.
- Ser du användningen av en inspektionsrobot som ett verktyg att använda i framtiden, vid inspektioner?
- Vilka för- och nackdelar ser du med användningen av en inspektionsrobot i byggproduktion?