



CHALMERS

Investeringsbedömning för automatisering av kvalitetskontroll

Investment assessment for automation
of quality control

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

Arna Sigbjörnsdóttir

Anton Wretström

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2020
www.chalmers.se

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

Investeringsbedömning för automatisering av kvalitetskontroll

Arna Sigbjörnsdóttir

Anton Wretström



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Institutionen för Industri- och materialvetenskap

Avdelningen för Produktionssystem

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2020

Investeringsbedömning för automatisering av kvalitetskontroll

ARNA SIGBJÖRNSDÓTTIR

ANTON WRETSTRÖM

© Arna Sigbjörnsdóttir, Anton Wretström, Sverige 2020

Examensarbete 2020

Institutionen för Industri- och materialvetenskap

Avdelningen för Produktionssystem

Chalmers Tekniska Högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon +46 31 772 1000

Handledare: Malin Tarrar, Institutionen för industri- och materialvetenskap

Examinator: Åsa Fasth Berglund, Institutionen för industri- och materialvetenskap

Institutionen för industri- och materialvetenskap

Göteborg, Sverige 2020

Förord

Examensarbetet utfördes på avdelningen för Indusri-och Materialvetenskap på Chalmers Universitet och är skrivet av två studenter på Maskinteknikprogrammet med produktionsinriktning.

Vi vill först och främst tacka vår handledare, Malin Tarrar, för vägledningen genom hela arbetet. Tack för insikter och stöttning under omständigheter som berörde oss alla där allt arbete utfördes på distans. Det var värdefullt för oss att kunna vända oss till dig och vi har lärt oss mycket under resans gång. Vi vill även tacka Omkar Saluhnke och Sven Ekered på Stena Innovation Industry Lab för att ni delade kunskap och erfarenhet med oss.

Vi vill även tacka Mattias Färdig på Volvo Penta AB för fint samarbete trots omständigheter som försvårade tillgängligheten till produktionsanläggningen. Vi är tacksamma för all information som du kunde bistå med vilket möjliggjorde bättre resultat.

Vi vill även tacka Tomas, Andreas, Nicolas, Adina, Torbjörn och Sebastian för att ni ville bistå med er kunskap och svara på våra frågor som rörde tekniker och kvalitetskontroller.

Slutligen vill vi även tacka Aemad och Hasan för samarbetet med experiment och information som ni kunde bistå med.

Sammanfattning

Examensarbetet är skrivet på Stena Innovation Industry Lab på Chalmers Universitet och är en del av ett samarbete mellan Stena Innovation Industry Lab, Volvo Penta AB och MVV Casat. På grund av Covid-19 pandemin skedde allt arbete på distans.

Syftet med rapporten är att ta fram investeringsbedömning på automatisering av kvalitetskontroll för jämförelse av befintlig manuell kvalitetskontroll samt undersöka vilken metod för automatisering är lönsammast.

För att skapa kunskap om området gjordes nulägesanalys genom intervjuer och samtal med intressenter samt sökning på diverse metoder för automatisering av kvalitetskontroller. Rapporten behandlar två typer av visionsystem med 2D-kamera eller 3D-kamera i kombination med kollaborativ applikation.

Experiment utfördes med visionsystem bestående av kollaborativ applikation och 2D-kamera medan 3D-kameran behandlades teoretiskt. Experimentet med visionsystemet samt tidigare studier resulterade i att upptäckt av defekter är möjligt.

Resultaten från investeringsbedömningen visade att det kan vara lönsamt att integrera visionsystem med kvalitetskontroll beroende på antal producerade produkter. Även syftet med kvalitetskontrollen väger in i lönsamheten samt vilken av teknikerna som är optimal.

Den här rapporten är skriva på svenska.

Sökord: Investeringsbedömning, Automatisering, Manuell, Kvalitetskontroll, Visionsystem, 2D-Kamera, 3D-Kamera, Kollaborativ Applikation.

Summary

The bachelor thesis was conducted at Chalmers University and is a collaboration between Stena Innovation Industry Laboratory, Volvo Penta AB and MVV Casat. During the Covid-19 pandemic, all work was conducted at distance.

The objective of the thesis was to make an investment assessment on automation of a quality control to detect which method of automation is the most profitable. Also, compare costs with an existing manual quality inspection station.

Interviews and conversations with stakeholders led to a current situations analysis in order to gain knowledge about the production used as a case study and previous work with techniques used to automate quality controls. Two types of vision systems were selected for the comparison: 3D-camera and 2D-camera.

Experiment with a 2D-camera in combination with a collaborative application examined if detection of defects was possible while the 3D-camera was treated theoretically. The experiments showed that detection of defects is possible with a vision system.

The results from the investment assessment showed that integration with a vision system could be profitable but that it depends on the total amount of produced products. In addition, the purpose of the quality control has to be considered when selecting an automated quality control.

The report is written in Swedish.

Keywords: Investment Assessment, Automation, Manual, Quality Control, Visionsystem, 2D-Camera, 3D-Camera, Collaborative Application.

Innehåll

1. INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Bakgrund om specifika förutsättningar	1
1.3 Syfte.....	3
1.4 Avgränsningar	3
1.5 Precisering av frågeställning	3
1.6 Rapportens disposition	3
2. TEORETISK REFERENSRAM	4
2.1 Kvalitetskontroll	4
2.2 Automatisering	4
2.2.1 Introduktion till automatisering	4
2.2.2 Automatiserad kvalitetskontroll.....	5
2.2.3 Automation med kollaborativa applikationer	6
2.2.4 Automation med visionsystem.....	6
2.3 Investeringsbedömning.....	7
2.4 Människan i tillverkningsindustrin.....	11
2.5 Liknande applikationer med visionsystem	11
3 METOD.....	15
3.1 Nulägesanalys.....	15
3.2 Experimentell studie	15
3.2.1 Utrustning	15
3.2.2 Genomförande av experiment	16
3.2.2.2 Manuellt experiment	16
3.2.2.3 Experiment med visionsystem	16
3.3 Investeringsbedömning.....	18
4 RESULTAT	19
4.1 Experimentell studie	19
4.2 Investeringsbedömningen.....	20
4.2.1 Kalkylering	20
4.2.2 Känslighetsanalys	24
5 DISKUSSION	27
5.1 Nulägesanalys.....	27
5.2 Experimentell studie	27
5.3 Investeringsbedömning.....	28

6. SLUTSATS	31
6.1 Framtida arbete	31
REFERENSER.....	33
BILAGOR.....	I

1. INLEDNING

Nedan följer ett inledande kapitel där bakgrund, syfte, avgränsningar och frågeställning berörs.

1.1 Bakgrund

Ökad konkurrenskraft inom tillverkningsindustrin har lett till att kvalitet är en nyckelfaktor samtidigt som efterfrågan ställer krav på flexibilitet (Colledania & Tolio, 2006).

Kontinuerligt förbättringsarbete krävs för att hålla hög effektivitet i tillverkningsprocessen med så låga kostnader som möjligt. Detta samtidigt som kvaliteten av produkten motsvarar kunders förväntningar (Bjurström, 2016). Genom att bibehålla konkurrenskraft och standarder kan även befintlig marknadsställning bibehållas, så kallad *goodwill* (Nationalencyklopedin, 2020).

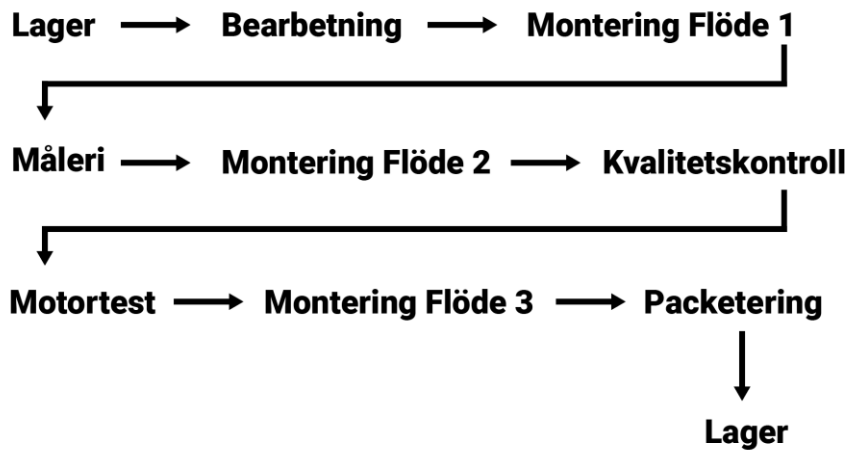
För att minska tidskrävande processer inom manuellt arbete kan lösningen vara att identifiera prisvärda lösningar på digitala automatiseringstekniker med integrering av ett befintligt produktionssystem. (Frustaci, Perri, Cocorullo, & Corsonello, 2020)

Projektet framför en investeringsbedömning och jämförelse mellan befintlig manuell kvalitetskontroll och två typer av visionsystem som finns på marknaden. Samarbete med Krish & Sokoti (2020) kommer medföra möjlighet till tester av visionsystem i en kvalitetskontroll.

1.2 Bakgrund om specifika förutsättningar

Projektet är ett samarbete mellan Stena Industry Innovation Laboratory på Chalmers Universitet, Volvo Penta AB och MVV Casat. Volvo Pentas produktionsanläggning tillverkar marina dieselmotorer och använder i dagsläget MVV Casats tillverkningsystem i produktionen. Detta projekt kommer främst behandla kvalitetskontrollen i produktionsanläggningen även om kostnader kring MVV Casat kommer beröras.

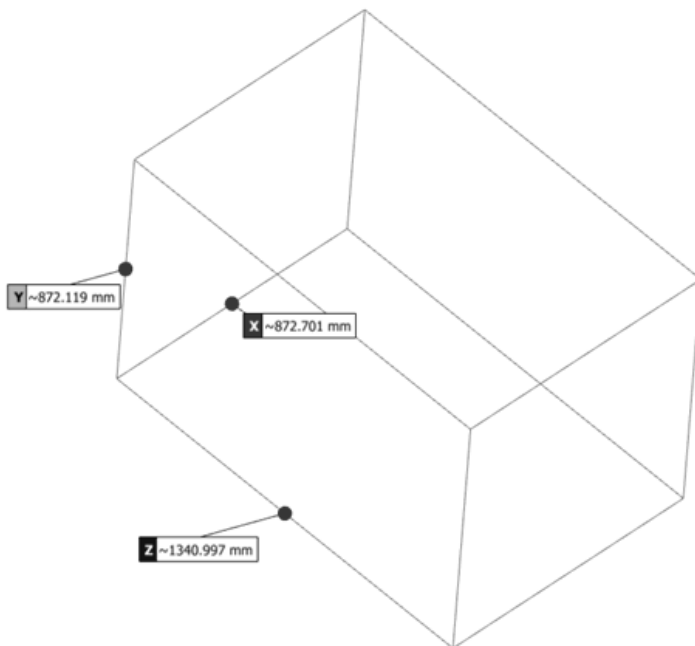
Den produktionsanläggning som används för casestudien arbetar dagtid i enskift där motorerna monteras och vissa komponenter bearbetas på plats, se *figur 1* för produktionsflöde.



Figur 1: Flödesbild för casestudiens produktionsanläggningen

Kvalitetskontrollstationen beläggs 60–70 % av taktiden och består av läcktest samt visuell inspektionen av produkterna som löper parallellt under maskintiden. Antalet producerade produkter hamnar i mellanvolymsegmentet där det tillverkas bland annat två produkttyper: motor 1 och motor 2, se *figur 2* för mått. Motor 1 utgör 40 % av det totala antalet och motor 2 utgör 60 %. Av det totala antalet produkter som produceras per år består 15% av monteringsfel varav en liten del defekta motorer ej detekteras i kvalitetskontrollen och skickas ut till kund.

Majoriteten av detekterade defekter uppstår i Montering Flöde 2 där några av de återkommande felen är ej åtdragna skruvar och muttrar, klämda eller ej åtdragna slangar samt fel metod vid montering.



Figur 2: Mått på komponent 1.

1.3 Syfte

Syftet med studien är att utföra en investeringsbedömning av olika alternativ för automatiserad kvalitetsinspektion av monterade produkter och jämföra dessa med operatörer med samma arbetsuppgifter.

1.4 Avgränsningar

- Endast visionsystem för 2D-kameror eller 3D-kameror kommer att behandlas.
- Enbart teoretisk uppskattning av visionsystem med 3D-kamera.
- Enbart kostnader i produktionen behandlas, ej omkostnader kopplade till goodwill.
- Behandlar enbart eventuella integrationskostnader med MVV Casat.
- Utbildnings- och ergonomikostnader utgår.
- Läcktest ingår inte i experiment av kvalitetskontroll

1.5 Precisering av frågeställning

Vilken metod för kvalitetskontroll är lönsammast vid en monteringslina?

Är det lönsamt att placera automatiserad kvalitetskontroll in-line?

1.6 Rapportens disposition

Inledning – Kapitlet ger introduktion om rapporten där bakgrund om ämnet samt den produktionsanläggning som används i casestudien ges. Även syfte och avgränsningar för projektet nämns.

Teoretisk Referensram – Detta kapitel ger läsaren underbyggande teori om metoder och tekniker som rapporten bygger på.

Metod – Här presenteras metoder som användes för nulägesanalys, experiment samt investeringsbedömningen.

Resultat – Kapitlet presenterar resultat från genomförda experiment samt kalkylering och känslighetsanalys. Vissa av de värden som anges i detta kapitel är hämtade från nulägesanalysen via samtal och intervjuer med intressenter. Denna del ger underlag för slutsatser som dras via senare kapitel.

Diskussion – Resultaten som presenterades i tidigare kapitel diskuteras. Här inkluderas även tidigare studier som presenteras i teoretisk referensram samt kommentarer från intressenter från samtal och intervjuer.

Slutsats – Slutsatsen baseras på frågeställningarna angivna i inledningen.

2. TEORETISK REFERENS RAM

Nedan beskrivs vad en kvalitetskontroll är följt av ett avsnitt med automation med beskrivningen av automatiserad kvalitetskontroll, kollaborativa applikationer och olika typer av visionsystem. Detta är följt av en beskrivning av investeringskalkylering som avslutas med den valda kalkylmetoden för investeringsbedömningen av detta projekt för eventuell automatisering av kvalitetskontroll i casestudiens produktionsanläggning.

2.1 Kvalitetskontroll

Ökad konkurrenskraft och globalisering har lett till att kvalitet blivit en viktig faktor för företag. Att ha förmågan att snabbt anpassa sin produktion och tillverkning efter efterfrågan har blivit en nyckelfaktor inom tillverkningsindustrin. (Colledania & Tolio, 2006).

Kvalitet i tillverkningsammanhang är en produkts förmåga att tillgodese kundens förväntningar och behov (Bergman & Klefsjö, 2012). Då förväntningar ej tillfredsställs kan företag ställas inför *badwill* vilket kan medföra ökade kostnader och värdeminskning (Nationalencyklopedin, 2020). Kontroll av kvaliteten möjliggör att säkra förmågan att tillfredsställa kundens krav vilket också minskar omarbete och eventuell kassering av produkter (Colledania & Tolio, 2011).

Det finns olika typer av kvalitetskontroller beroende på var en kontroll är utplacerad i flödet av en produkts produktion. *Tillverkningskontroll* och *slutkontroll* är exempel på sådana. (Sandholm, 2008)

Tillverkningskontrollen utförs vid en eller flera stationer i produktionsflödet, för att hindra defekta produkter från att gå vidare i flödet. Detta för att förhindra att resurser läggs på produkter med kvalitetsbrister.

Slutkontrollen utförs när produkten har passerat sista tillverkningssteget, för att förhindra att defekta produkter går vidare till lager för leverans till kund.

2.2 Automatisering

Nedan finnes inledande del till automatisering samt en beskrivning av olika typer automatisering av en kvalitetskontroll följt av beskrivning av visionsystem och dess komponenter.

2.2.1 Introduktion till automatisering

Definitionen av automatisering är implementering av ett moment i en process som leder till att processen blir mer självgående (Nationalencyklopedin, 2020). Automatiseringen tog fart under 1900-talet, bland annat på grund av brist på arbetskraft och därmed behov av effektivisering. 1913 var ett framgångsår då Ford Motor Company var först med att möjliggöra masstillverkning inom fordonsindustrin. Monteringslinjen av bilmodellen T-Ford automatiserades vilket kortare ner monteringstiden per bil från 12 till 1,5 timmar. Efter Fords genomslag utvecklades nya sätt att automatisera produktioner i takt med teknikutvecklingen med mekanisering som innebar samspel mellan människor och maskiner (Boisset, 2018). Automatisering har tillämpats inom flera industrier och har möjliggjort ökad produkt-och produktionskvalitet samt givit företag och organisationer ekonomiska fördelar (Nationalencyklopedin, 2020).

Jämförelser mellan människor och maskiner har gjorts där båda parter innebär fördelar och nackdelar. Maskinerna är konsekventa och kan arbeta enligt standardiserade arbetsätt trots farliga eller till och med tråkiga arbetsuppgifter. De är inte lika känsliga för yttre faktorer så som väder eller andra extrema förhållande som kan vara utmanande för människor att befinna sig i. Maskiner kan innebära stora investeringar vid inköp och integration med ett system men kan sänka kostnader långsiktigt då automation kan innebära frigöring av personal då exempelvis arbetskostnaden per arbetstagare är stor i västvärlden. Maskinerna är dock begränsade till teknikutvecklingen samt den kunskap och kapital som omgivningen klarar av att tillföra till systemet. (EMS Solutions, 2020)

Den automation som tillförs till ett system behöver anpassas till den process den integreras med där lämplig kravställning är avgörande för funktionen. (Ståhl, 2010). Teknikutvecklingen har inte hunnit så pass långt att exempelvis människors beslutsförmåga under en process kan översättas till en robot. Detta på grund av att mängden data och identifiering av beslutsfattande som en människa gör under ett arbetsmoment är för komplext för en automatiserad process då exempelvis människor kan fatta flera beslut samtidigt. Detta innebär, som nämntes tidigare, att det även blir svårt att uppskatta kostnaden vid inköp och integration. (EMS Solutions, 2020)

Diagram 1 visar förhållandet mellan kostnad och automatiseringsandelen och visar en nivå då ett optimalt stadie har uppnåtts. Då andelen automatisering ökar sker det en linjär minskning av personalkostnaderna medan den totala kostnaden minskar till en början. Totala kostnaden börjar dock öka då andelen automatisering kommit till den grad att exempelvis verktyg och underhåll ökar snabbare än vad personalkostnaderna minskar. (Gorlach & Wessel, 2008)

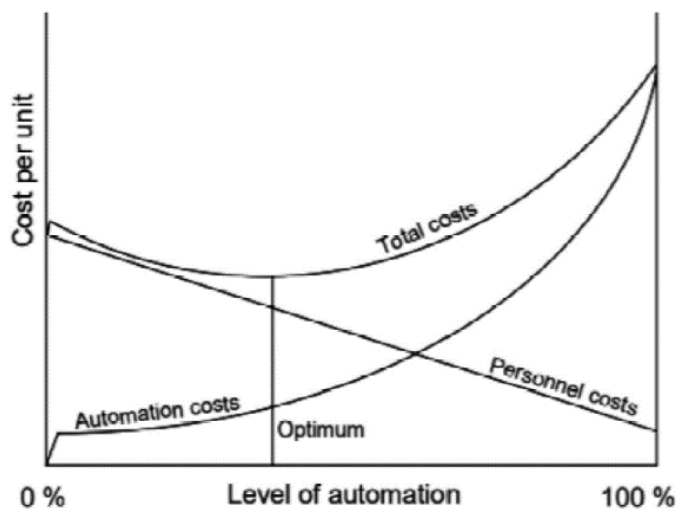


Diagram 1: Optimal automatiseringsnivå.

2.2.2 Automatiserad kvalitetskontroll

Med en automatisk kvalitetskontroll menas att kvalitetsinspektion görs automatisk av en produkt eller detalj. Detta antingen av en maskin, robot eller av system som kan detektera defekter på kontrollobjektet. Den automatiska kvalitetskontrollen ska även kunna ta beslutet om objektet är uppnår dom kvalitetskraven är ställda på en viss kvalitetskontroll. Det finns två olika typer av kvalitetsinspektioner beroende på objektet som ska kontrolleras. Dessa är *förstörande* kontroll och *oförstörande* kontroll. Förstörande kontroll är när

kvalitetsinspektionen påverkar objektet och det förstörs. Motsatt från förstörande kontroll så påverkar inte oförstörande kvalitetsinspektion kontrollobjektet (Sandholm, 2008). Ett exempel på automatisk oförstörande kontroll är visionsystem där automatisk visuell inspektion av ett objekt ingår (Foster III, Griffin, Messimer & Villalobos, 1990).

2.2.3 Automation med kollaborativa applikationer

Definitionen av en industrirobot är automatiskt styrd, omprogrammerbar, universell manipulator med flera frihetsgrader (Nationalencyklopedin, 2020). Kollaborativa applikationer är en typ av industrirobotar som inte kräver säkerhetsåtgärder så som avgränsade områden på grund av säkerhetsrisker. De är designad för att tillföra flexibilitet samt samverka med en operatör för att antingen tillsammans eller parallellt utföra arbetsuppgifter. (Zelinski, 2019)

2.2.4 Automation med visionsystem

Visionsystem används inom industrin för att behandla information om en detalj eller produkt visuellt. Det kan exempelvis vara kamerateknologi med 2D-eller 3D-kameror. (Lui, Ukida, Ramuhalli & Niel, 2015)

Tillämpningsområdena för ett visionsystem sträcker sig från enkla grundläggande uppgifter som att detektera en komponent till komplicerade uppgifter med utvärdering av en komponent. Det finns olika av huvuduppgifter som alla visionsystem har gemensamt och utförs antingen separat eller i kombination med varandra. Tre av dessa är: (SICK, 2018)

1. Mätning, uppgiften innebär att visionsystem inspekterar ett objekts dimensioner så som längd och bredd med mera.
2. Positionering, uppgiften innebär att visionsystem identifierar ett objekts position och sedan rapportera till systemet objektets koordinater och position i referens till en systemets referenspunkt.
3. Inspektion, uppgiften innebär att visionsystem kontrollerar kvalitén av ett objekt. Kontrollerar om objektets alla delar ingår och identifiera avvikelser och defekter.

Ljusförhållanden behöver vara optimerade för att ett visionsystem ska kunna utnyttjas på bästa sätt. Vid ogynnsamma ljusförhållanden kan systemet missa detaljer (Lui et al., 2015). Visionsystem är även känsliga för smuts på kameranlinser men även smuts på lysrör som belyser arbetsplatsen. Visionsystem har även omfattande inköps och installationskostnader på grund av den dyra tekniken (Hussein & Flodin, 2019).

Fördelarna med ett visionsystem är att den konsekvent utför samma kontroll utan att lägga personliga värderingar i bedömningen. Genom referensbilder och algoritmer blir bedömning alltså densamma vid varje kontroll. (Cubero, Aleixos, Moltó, Gómez-Sanchis & Blasco, 2010)

2.2.4.1 2D-Kamera

2D-kameror skapar överblickbild genom att antingen använda area scan-kamera eller genom line scan-kamera. Visionsystem med 2D-kamera analyserar ett objekt i x-och y-led vilket ger överblickbild av objektet. Beroende på vad som eftersökts kan bilden vara monokrom eller i färg. Överblicksbilden jämförs, av visionsystemet, med referensbild med hjälp av algoritmer (SICK, 2018). Ett visionsystem med 2D-kamera kan utföra enkla kontroller då den undersöker ett objekt i två dimensioner (Harding, 2015).

2.2.4.2 3D-Kamera

3D-kameror används inom skanningteknik eller snapshotteknik. Skanningtekniken skannar ett objekt genom att antingen kameran rör sig över ett statiskt objekt eller att objektet rör sig under en statisk kamera. Snapshottekniken, eller stillbildstekniken, kan placeras statiskt vid ett statiskt objekt. Bägge teknologierna skapar en tredimensionell motsvarighet av objektet som sedan jämförs med en CAD-fil och analyseras med hjälp av algoritmer. (SICK, 2018)

3D-kameror undersöker objekt i x-, y-och z-led och kan även rotera runt koordinatsystemets tre axlar för att skapa en detaljerad tredimensionell bild av objektet. Detta möjliggör avancerade kontroller av objekt. (Harding, 2015)

Förmågan att undersöka i z-led möjliggör att tekniken kan upptäcka fel och defekter på objekt även vid låga kontraster och ljusförhållanden. Detta genom att tekniken upptäcker höjdskillnader och på sätt upptäcka avvikelser. (SICK, 2018)

2.3 Investeringsbedömning

Nedan beskrivs olika kalkylmetoder och avslutas med den slutliga kalkylmetoden för projektet, Ståhls kalkylmodell.

Pay-back-metoden

Pay-back-metoden som även kallas återbetalningsmetoden. Det är en enkel variant av investeringskalkylering. Metoden går ut på att ta reda på hur lång tid det tar innan investeringen har betalat beloppet av investeringen. Återbetalningstiden man får fram jämförs sedan med den längsta möjliga återbetalningstid som accepteras av ett företag. Beslut tas om återbetalningstiden är mindre än den maximala återbetalningstiden satt av företaget och det alternativ med kortast återbetalningstid är bäst. Pay-back-metoden är en enkel metod och används för det mesta för att göra en tidig bedömning av en investering. Nackdelen med metoden att den inte fastställer lönsamheten hos en investering. (Skärvad & Olsson, 2017)

Kapitalvärdemetoden

Kapitalvärdemetoden kallas även nuvärdemetoden. Metod innebär att en investerings inbetalningar och utbetalningar räknas om till nuvärde tidpunkten vid investeringstillfället, detta med hjälp av en kalkylränta. Alla in- och utbetalningarna som kommer under investeringskalkylen tidräkning jämförs sedan med grundinvesteringen och ett så kallat

kapitalvärde räknas ut. Kapitalvärdet är en differens mellan inbetalningsöverskott beräknat med kalkylräntan och grund investeringen. En alternativ är lönsamt om dess kapitalvärde är större än 0 och vid flera olika alternativ den med högst kapitalvärde som ska rekommenderas. Kapitalvärdemetoden är en lämplig för kalkylering av alternativ som innebär in- och utbetalningar under åren som investeringen är verksam. En nackdel med metoden är att om olika alternativ har stor skillnad i grundkostnad kan kalkylen bli missvisande. (Skärvad & Olsson, 2017)

Annuitetsmetoden

Annuitetsmetoden är lik kapitalvärdemetoden men annuitetsmetoden analyserar in- och utbetalningar på ett genomsnittligt år under investeringskalkylen tidsräkning, medan kapitalvärdemetoden analyserade alla in- och utbetalningar under kalkylens tidsräkning. Precis som kapitalvärdemetoden räknas in- och utbetalningar om till nuvärde. Beslutet om en investering är lönsam är om differens mellan det genomsnittliga inbetalningsöverskottet av det valda året med den genomsnittliga årliga kapitalkostnaden för investeringen är positiv. Vid flera olika alternativ ska den med högst differens som ska rekommenderas. Kapitalvärdemetoden är en lämplig för kalkylering av alternativ som innebär in- och utbetalningar under åren som investeringen är verksam. Metoden lämpar sig även för när olika alternativ med olika lång livslängd. (Skärvad & Olsson, 2017)

Internräntemetoden

Internräntemetoden innebär att man räknar ut en internränta på en investering som är ett mått på lönsamheten av investeringen. Internräntan är den årliga förväntningen och avkastningen på ett kapital som investerats. Ju högre internränta desto mer lönsammare är en investering. Beslut om en investering tas om internräntan är större eller lika med som kalkylräntan. Vid flera investeringsalternativ så är det alternativ med högst internränta. Internräntemetoden lämpar sig för investeringar där man inte kan på förhand ge sig till känna av kalkylräntan för investeringen. Kalkylen innebär att investerings lönsamhet beräknas genom komma fram till en internränta som är ett mått på lönsamheten av investeringen. (Skärvad & Olsson, 2017)

Ståhls kalkylmodell – den slutliga kalkylmetoden för projektet

Ståhls kalkylmodell är en ekonomisk modell som är framtagen av Jan-Eric Ståhl från Lunds universitet (Ståhl, 2010). Modellen framför produktionskostnad, i detta fall kostanden för kvalitetskontroll för någon av alternativen: Manuell, 2D-kamera visionsystem och 3D-kamera visionsystem. I modellen ingår de faktorer som har störst påverkan på produktionskostnaden. Modellen utgår från annuitetsmetoden som är beskriven ovan. Modellen går ut på att bryta ner ett produktionssystem till individuella kostnader. Detta gör det möjligt att analysera varje kostnadsfaktor individuellt och för att studera dess effekt på den totala kostnaden för kvalitetskontrollen. Modellen är modifierad för att passa projektet och visas i ekvation 1 nedan och består av 5 kostnadstermer (b, c1, c2, d och P) som i sin tur består av huvudfaktorer, där vissa av faktorerna består av andra diverse parametrar (*se ekvation 2 till 13 nedan*). För förklaring av parametrar som ingår i kalkylen se *bilaga 1*.

$$K = \frac{k_b}{N_0} \cdot \left[\frac{N_0}{(1 - q_Q)} \right]_b + \frac{k_{CP}}{60 \cdot N_0} \cdot \left[\frac{t_0 \cdot N_0}{(1 - q_Q)} \right]_{c_1} +$$

$$+ \frac{k_{CS}}{60 \cdot N_0} \cdot \left[\frac{t_0 \cdot N_0}{(1 - q_Q)} \cdot \frac{q_s}{(1 - q_s)} \right]_{c_2} + \frac{k_D}{60 \cdot N_0} \cdot \left[\frac{t_0 \cdot N_0}{(1 - q_Q) \cdot (1 - q_s)} \right]_d + P$$

Ekvation 1: Ståhls kostnadsmodell (Ståhl, 2010).

Där huvudfaktorerna är K är kostnaden för kvalitetskontrollen per detalj för alternativen av kvalitetskontrollen. Kostnadstermen b beskriver kostnaden av material per detalj och här tar man hänsyn till kassationer av felaktiga detaljer från serien av detaljer. Kostnadstermen c_1 beskriver kostnaden för utrustningen vid produktion, i detta fall när kvalitetskontroll sker. Kostnadstermen c_2 beskriver däremot kostnaden av utrustningen vid stillestånd eller vid omställning av utrustningen. Kostnadstermen d beskriver kostnaden av lön för operatör med mera. Term d är oberoende om utrustningen är aktiv eller vid stillestånd. Term P står för ”penalty” och är kostnader för brister i kvalitén eller i kvalitetskontrollen.

Andel kassationer räknas ut i ekvation 2 nedan.

$$q_Q = \frac{N_Q}{S}$$

Ekvation 2: Andel kassationer (Ståhl, 2010).

Andel produktionsstillestånd räknas ut genom ekvation 3 nedan.

$$q_s = \frac{t_s}{t_p}$$

Ekvation 3: Andel produktionsstillestånd (Ståhl, 2010).

Maskintimkostnaden under produktion räknas ut genom ekvation 4 nedan. I modellen används annuitetsmetoden för att beräkna maskintimkostnaden (Ståhl, 2010).

$$k_{CP} = \frac{a_f \cdot K_0 + T_{plan} \cdot \left(\frac{k_{UHh}}{h_{UH}} + k_{ph} \right)}{T_{plan}}$$

Ekvation 4: Maskintimkostnad under produktion (Ståhl, 2010).

Maskintimkostnad vid stillestånd och omställning räknas ut genom ekvation 5 nedan.

$$k_{CS} = \frac{a_f \cdot K_0}{T_{plan}}$$

Ekvation 5: Maskintimkostnad vid stillestånd och omställning (Ståhl, 2010).

Lönekostnad per timma räknas ut genom ekvation 6 nedan. $Fk_{personal}$ står för en faktor som är uttryckt i gånger bruttolönen. Faktorn består ut av kostnader för personalutrymmen, kostnader för arbetsledning med mera (Ståhl, 2010).

$$k_D = X \cdot K_{personal} \cdot FK_{personal}$$

Ekvation 6: Lönekostnad per timma.

Nominell cykeltid per detalj räknas ut genom ekvation 7 nedan.

$$t_0 = t_m + t_h$$

Ekvation 7: Nominell cykeltid per detalj (Ståhl, 2010).

Verkliga förädlingstiden räknas ut genom ekvation 8 nedan.

$$t_p = t_0 + t_s$$

Ekvation 8: Verkliga förädlingstiden (Ståhl, 2010, s.69).

Grundinvesterings värde av utrustning räknas ut genom ekvation 9 nedan.

$$K_0 = K_{installation} + K_{utrustning} + ns \cdot K_{kamera}$$

Ekvation 9: Grundinvesteringsvärde av utrustning.

Annuitetsfaktorn räknas ut genom ekvation 10 nedan. a står för den konstanta årliga kostanden per år, vidare förklaring nedan.

$$a_f = \frac{a}{K_0}$$

Ekvation 10: Annuitetsfaktorn (Ståhl, 2010).

Konstant årliga kostnaden (annuitet) räknas ut genom ekvation 11 nedan. Annuitetsmetoden anger hur lönsam en investering är utslaget på investeringens livstid. Detta ger en konstant årlig kostnad som är som är uträknad på tiden n , som står för brukstiden i antal år. Annuiteten är beräknad på grund investeringen K_0 och en kalkylränta p uppskattas för att sätta ett krav på avkastningen av en viss investering (Lantz, Löfsten & Isaksson, 2018). Brukstiden är kopplad till den tekniska livslängden och den ekonomiska livslängden av utrustningen.

$$a = K_0 \cdot \frac{p \cdot (1 + p)^n}{(1 + p)^n - 1}$$

Ekvation 11: Konstant årliga kostnaden (annuitet) (Ståhl, 2010).

Tiden för en batch genom ett förädlingssteg räknas ut genom ekvation 12 nedan.

$$T_p = S \cdot t_0$$

Ekvation 12: Tiden för en batch genom ett förädlingssteg (Ståhl, 2010).

Kostnader för brister i kvalitet eller i själva kvalitetskontrollen räknas ut i ekvation 15 nedan.

$$P = \frac{(P_{procent} \cdot S \cdot P_{släpp}) + (P_{fel} * N_Q)}{S}$$

Ekvation 13: Penaltykostnader i kvalitet och brister i kvalitetskontroll.

2.4 Människan i tillverkningsindustrin

Människan spelar en central roll för tillverkningsindustrin. Försök till att effektivisera bort människan från produktionslinan har hittills inte varit framgångsrika. Däremot har det visat sig vara en trend bland utvecklare att placera människor i övervakande roller. (Krugh & Mears, 2018)

Ergonomiska analyser kan genom proaktivt ergonomiskt arbete minska risker för belastningsskador vid en tillverkningslina. Ju tidigare en funktionsenlig design tillämpas desto mindre blir kostnaden. (Falck, Örtengren & Högberg, 2009)

2.5 Liknande applikationer med visionsystem

Nedan presenteras vad 8 tidigare studier och applikationer med visionsystem resulterat i.

Production Process Development - A current situation and improvement analysis of a polymer production line

I studien framfördes fem olika typer av så icke-destruktiva tekniker för kvalitetskontroll av små polymerprodukter. Defekter som undersöktes av metoderna var sprickor, ytdefekter och geometri-defekter som kunde uppstå på polymerprodukterna. De tekniker som togs upp i studien var: laserteknik, visionteknik, ultraljudsteknik, datortomografi och slutligen läckagetestteknik. I visiontekniken kombinerade man en mjukvara med en kamera för att fånga upp ljus och skapa en bild av det undersökta objektet. Resultatet av studien visade att vid bra förutsättningar fanns det en möjlighet med teknikerna ovan nämnda att cirka 50–70 % av defekterna upptäcktes hos produkterna.

Närmare resultat med visionteknik, kom studien fram till att defekter som ytdefekter och sprickor var svårt att upptäcka med visionsystem. Detta på grund av väsentliga faktorn med rätt belysning och upplösning för kamerorna. En annan aspekt var att fel kunde förekomma på ett flertal ställen och detta gjorde att kameratekniken hade svårt att få bra upplösning av defekten. Studien kom fram till att flera kameror krävdes för att upptäcka defekter i geometrin

på polymerprodukten. Detta möjliggjorde att varje enskild kamera är fokuserad på en specifik del av produkten, vilket ger resultat att noggrannheten ökar genom ökad upplösning. Ett väsentligt resultat var även att säkerställa att det inte finns lampor som stör ljussättningen kvalitetskontrollen. Författarna av studien upplyste fördelen med att visiontekniken har förmågan att utföra en kontroll i snabb hastighet, under en sekund, och samla in information och utföra kvalitetsmätningar som: längd, vinklar, rundhet och parallellitet hos undersökningsobjektet.

Studien kom även fram att en kombination av laser- och visionteknik var lämpligast resultatmässigt med upptäck av defekter men även kostnadsmässigt var kombinationen mest lönsamt för det studerade företaget i studien, detta med hjälp av Ståhls kostnadsmodell. (Sundbye & Strandberg, 2019)

Implementation of machine vision on a collaborative robot

I studien så undersöktes möjligheten att kombinera visionsystem med den kollaborativa applikationen UR10 robot från Universal Robots för att säkerställa kvalitén vid limning av ramen av en motor. Syftet med studien var att undersöka om det var möjligt och fördelaktigt att implementera ett visionsystem på en kollaborativ applikation för att säkerställa kvalitet. Flera kameror testades varav 2D kameran Wrist Camera från Robtiqs ingick. Slutresultaten av studien gav att en kollaborativ applikation, UR10, kunde arbeta med visionsystem för att upptäcka kvalitetsfel. Studien kom även fram till svårigheter med kommunikationen mellan visionsystem och roboten och att använda en kamera som var kompatibel med den inbyggda robotprogramvaran, men påpekade att systemet kräver mer utveckling och träning för att fungera i industrin. Författarna av studien kom även fram till att användandet av kollaborativa applikationer kan underlätta för operatörerna vid tunga lyft och repetitiva arbeten och att kunna kombination av kollaborativ applikation tillsammans med ett visionsystem kan öka produktiviteten och ge ekonomiska fördelar för ett företag. (Leidenkrantz & Westbrandt, 2019)

Automatisering av kvalitetskontroll inom tillverkning av kugghjul: En fallstudie

I studien så undersöktes möjligheten att automatisera en kvalitetskontroll av kugghjul. Studien var en fallstudie och baserades på intervjuer och studier av företag som brukade olika typer av visionsystem vid kvalitetskontroll. Studien tog även upp vad konsekvenserna blir av automatisering av kvalitetskontroll och vilka är riskerna med ett visionsystem. Resultatet blev att automatisk kvalitetskontroll av olika typer av tekniker lämpar sig olika beroende på objektet som ska kontrolleras. Studien kom fram till den mest betydande faktorn vid automatisk kontroll är ytan på kontrollobjektet. Studiens kontrollobjekt, kugghjul, hade en högblank yta vilket medförde slutsatsen att den lämpligaste tekniken för att upptäcka defekter på ytor var laserskanning på grund av dess noggrannhet.

Resultatet av vad vilka risker det fanns med en automatiserad kvalitetskontroll är att tekniken med visionsystem är känslig för yttre omständigheter, som till exempel ljussättningen. Vid bristfällig ljusmiljö kunde felaktiga produkter godkännas och släppas vidare för vidare bearbetning. Detta gav slutsatsen att miljön där det automatiska systemet ska verka kräver att

vara konstant och förutsägbar för att fungera optimalt. Ur ekologisk och ekonomisk synvinkel kom studien fram till genom automatisk kontroll drar i nytta av färre resurser genom att felaktiga produkter kan upptäckas tidigt för att inte gå vidare i produktionsflöde för att sedan behövas att kasseras. (Hussein & Flodin, 2019)

Automated visual inspection: A tutorial

Studien framförde en redovisning av automatisk visuell inspektion, machine vision, med inriktning på inspektion på elektroniska kretskort. Artikelns tog upp jämförelser med machine vision och manuell kontroll där kontroll av avvikelse på kretskort med där ett flertal komponenter ingick. Resultatet blev att manuell visuell inspektion upptäckte cirka 70–90 % av avvikelserna medan elektroniska testutrustning identifierade cirka 85–95 % och machine vision system cirka 99 % av avvikelsena. Detta på grund av att systemet hade förmågan att jämföra kretskortets bild med en väldefinierad databas med olika komponents position och orientering. Studien nämner dock nackdelen med att skapandet av databasen för den machine vision systemet är ett tidkrävande och komplicerat arbete.

Författarna av studien tar även upp automatiska visuella inspektionsystem hade en svaghet att i vissa fall ha svårighet att skilja på godkänd komponent och felaktig komponent. Detta på grund av att systemet urskiljer en felaktig komponent genom att kolla på form och storlek på objektet. I vissa tillämpningar så hade emellertid felaktiga komponenter samma form och storlek som godkända komponenter och tvärtom. Detta gjorde att beslutet om produkten kvalitet tidvis betygsattes felaktigt. (Foster III et al., 1990)

Quality inspection performed by a flexible robot system

I studien så framfördes ett test med en kombination med den kollaborativa applikationen UR5 robot från Universal Robots med 3D sensors visionsystem för att utföra kvalitetskontroll av låsning av pluggar och uttag på ett chassi med storleken 1,4 m². Kameran som användes använde en skannings-teknik och hade möjlighet att inspektera ett område med volymen 120x70x50 mm och levererade högupplösta bilder av kontrollobjektet. Ett test utfördes i studien där man kontrollerade kvaliteten på pluggar och uttag på chassi. 426 olika komponenter kontrollerades, varav 43 av dessa innehöll kvalitetsbrister. Testet resulterade i att den totala precisionen för systemet blev cirka 99,2 %. Inget av de 43 komponenterna med kvalitetsbrister missades av visionsystemet och endast 3 av de 386 korrekta komponenterna var betecknade som felaktiga av systemet. Studien framförde resultat för cykeltider för systemet och det var att det tog cirka 1,8 sekunder för roboten att positionera sig ovanför kontrollobjekt, 4,5 sekunder för datainsamling av bilder, 6,5 sekund för regerstering av data och mindre än 0,1 sekunder för beslutfattning för visionsystemet vilket ger en total cykeltid per detalj på cirka 12,9 sekunder. (Rooker, Hofmann, Minichberger, Ikeda, Ebenhofer, Fritz & Pichler, 2014)

Advances in machine vision applications for automatic inspection and quality evaluation of fruits and vegetables

I studien så framförs metoder för att inspektera kvaliteten med visionsystem av frukter och grönsaker. Kontraster och belysning var två parameterar som var avgörande för resultatet. Genom att ha en bra bakgrundsbeslyning tillsammans med en bakgrund som skiljer sig från kontrollobjekt möjliggjorde att objektets form och siluett framhävdes på ett bra sätt och vilket möjliggjorde att bilder med hög kontrast och tydlighet kunde tas. (Cubero et al., 2010)

Adaptive autonomous positioning of a robot vision system: Application to quality control on production lines

Studien undersökte hur ett automatisk visionsystem tillsammans med en robot fungerade vid en visuell kvalitetskontroll på en produktionslinje som tillverkade tvättmaskiner. Studien undersökte även hur en robot som är adaptiv till flera uppgifter kan påverka produktionslinjen och företagets genomgående produktion. Författarna nämner i sin slutsats att undersökning i kvalitetskontroll hade uppnått samma resultat, som en robot som förflyttar en kamera, genom en kombination av ett flertal av fasta kameror som utför flera visuella inspektioner. Författarna framhävde däremot att i verkligheten är valet av ett visionssystem med robot mer effektivt, även i ekonomiska termer, i jämförelse med en kombination med flera av fasta kameror. Att ha kameran fäst vid robotens end-effector möjliggör att snabbt och enkelt flytta kontrollsystem då den inspekterade objektet förändras i produktionen. Studien nämnde att denna företelse inträffar ofta i industriella sammanhang där produktion av många olika modeller utförs längs samma monteringslinje. (Montironi, Castellini, Stroppa & Paone, 2014)

Improving the piston assembly by machine vision recognition technology

I studien undersöktes om kvalitetsbrister kunde utföras med hjälp av visionsystem vid montering av kolvar på bensinmotorer i en produktionslinje. Följande kvalitetsfel kunde uppstå vid monteringen: missad kolv, omvänd kolv och felaktig kolv till modell. Med hjälp av visionsystemet och avancerade algoritmer kom författarna fram till resultatet att systemet, effektivt kan identifiera de tre olika typerna av kvalitetsfel av kolvarna för motererna. Detta gjorde även att hastigheten i produktionen kunde säkerställas men även att lösningen eliminerar potentiella olyckor som sker vid felmontering av en motor. Visionsystemet sänkte även arbetsintensiteten för anställda på produktionen. (Yue, Ren, Lei & Wei, 2010)

3 METOD

Nedan redovisas de metoder som användes.

3.1 Nulägesanalys

Nulägesanalysen utgjordes av intervjuer och samtal med intressenter som en deskriptiv del av studien för att samla kunskap och skapa förståelse. Detta utfördes kontinuerligt för att analysera inkommen information samt för att styrka trovärdighet.

Semistrukturerade intervjuer med anställda på casestudiens produktionsanläggning skedde via mailkontakt. Då produktionsanläggningen stängdes tillfälligt för besökare på grund av rådande omständigheter förbereddes ett frågeformulär som besvarades på distans. Vid distanskontakt begränsades möjligheten till följdfrågor.

Ostrukturerade intervjuer i form av samtal och diskussioner med experter skedde i syfte att samla kunskap om kvalitetskontroller vid dem tillfällen då kontakt med produktionsanläggningen var begränsad. Dessa samtal och diskussioner skedde även i syfte att undersöka nuläge inom kvalitetskontroller samt lämpliga tekniker för automatisering av kvalitetskontroll.

3.2 Experimentell studie

Den experimentella studien utfördes i syfte att kunna förutse hur implementering av visionsystem med kollaborativ applikation och 2D-kamera kan påverka produktionsresultat. Påverkan mättes genom att jämföra andelen upptäckta defekter vid manuellt experiment och andelen upptäckta defekter vid experiment med visionsystem. Experimenten utfördes i samråd med Krish & Sokoti (2020).

Experimenten ger praktisk förståelse för teknikerna och möjliggör, förutom jämförelse med produktionsresultaten, även jämförelse med upptäckter från litteratursökningen. Dock kontrolleras olika produkter i rapporterns experiment och i casestudiens kvalitetskontroll. Det medför krav på medvetenhet om att resultaten kan vara missvisande mot vad en eventuell implementering kan resultera i. Felfrekvensen på produktserie i experiment motsvarar kvalitetskontrollens felfrekvens av en total serie.

Experiment utfördes ej på 3D-kamera, utan behandlas endast teoretiskt.

3.2.1 Utrustning

Universal Robots - UR3

UR3 är en sexaxlad kollaborativ applikation. Nyttolasten som roboten kan lyfta är cirka 3 kg, då är vikten för verktyget som kan appliceras på roboten inte inkluderat. Roboten har också en noggrannhet på 0,03 mm och en räckvidd på 0,5 m (Universal Robots, 2020). Genom sin flexibla handled kan olika typer av verktyg appliceras på roboten vilket gör att användningsområdet är stort. Fördelen med UR3 är att den är designad för enkel installation och programmering med hjälp av tillhörande handhållen pedant (Universal Robots, 2020).

Robotiqs - Wrist Camera

Robotiqs Wrist Camera är tillverkad specifikt för Universal Robots och deras serier med kollaborativa applikationer. Det är en areascan 2D-kamera. Kameran tar en överblicksbild av

objektet som kan jämföras med en referensbild. Kameran är tillverkad för Universal Robots och deras mjukvara. Wrist Cameran är framtagen för att vara användarvänlig och för enkel programmering.

Programmeringen av en kamera kräver ingen speciell utbildning, designad för att enkel programmering. Wrist Camera använder sig av mjukvaran i roboten och dess position för att undersöka ett objekt och analysera det. Kameran kan, i kombination med en UR3, undersöka ett kontrollobjekt upp till 36x26 cm. Upplösningen av bilderna från kameran beror av systemversioner hos roboten. Vikten av kameran är cirka 160 g och måste fortfarande beaktas vid beräkning av robotens nyttolast. Kameran ändrar robotens tyngdpunkt vilket beaktats när programmering av robotens position utförs (Robotiq, 2020).

3.2.2 Genomförande av experiment

Två experiment, ett manuellt experiment med en mänsklig operatör och ett automatiserat experiment med visionsystem. Kontrollobjektet var en drönare, se *figur 2*. Drönaren monterades med videoinstruktioner men en avskalad version användes i experimenten. Se monteringsinstruktioner för komplett drönare i *bilaga 3*.

Samma upplägg för bägge experimentet utfördes där endast antalet drönare skiljde sig åt, se *bilaga 4*. Fem serier kontrollerades där en serie utgjordes av 20 kvalitetskontroller av drönare. Monteringsfel på drönaren placerades ut slumpmässigt där felfrekvensen motsvarar casestudiens produktionsanläggning.

3.2.2.2 Manuellt experiment

Experiment utfördes av person A, B och C, se *tabell 1*.

Tabell 1: Deltagare och uppgifter i experimentet.

Deltagare	Uppgift
Person A	Kvalitetskontrollera drönaren
Person B	Ställa om drönare enligt slumpad ordning
Person C	Tidtagning av kvalitetskontrollen

Person A hade tillgång till korrekt monterad drönare som referens under experimentet. Person A kände till drönaren sen tidigare och fick därför inga anvisningar innan experimentet startade. Utrustningen bestod av en korrekt monterad drönare och tre drönare med varierande monteringsfel, se *bilaga 4*.

3.2.2.3 Experiment med visionsystem

Utrustningen av visionsystemet var förutbestämd och utgjordes av en kollaborativ applikationen UR3 samt 2D-kameran Wrist Camera, se *figur 3* och *figur 4*.

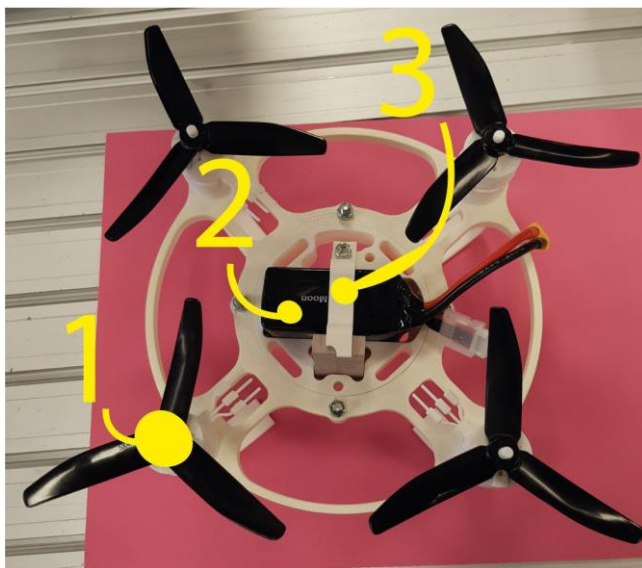


Figur 3: Utrustning för visionsystem bestående av UR3 och Wrist Camera.



Figur 4: Wrist Camera monterad på UR3.

Utrustningen användes för att ta bilder av drönaren vid förutbestämda positioner som sedan analyserades i syfte att detektera monteringsfel på drönaren. Utrustningen för visionsystemet programmerades och förbereddes av Krish & Sokoti (2020). UR3 hade funktionen positionera Wrist Camera i rätt position för att utföra funktionen bildtagning. Enbart en av fyra propellrar för igenkänning, se *figur 5*.



Figur 5: Drönare med markerade inspektionsområden. 1: Propell. 2: Batteri. 3: Batterihållare

Experiment utfördes av person A och B se tabell 2 nedan.

Tabell 2: Deltagare och uppgifter i experiment med visionsystem

Deltagare	Uppgift
Person A	Kontroll av utrustning samt omställning av drönare enligt slumpad ordning
Person B	Noterade feedback från systemet med resultat efter varje kontroll
Person C	Överflödigt för experiment

Person A placerade omställd drönare under Wrist Cameran och gav startsignal till UR3 och Wrist Cameran som var förinställd. Person B noterade resultaten.

3.3 Investeringsbedömning

Investeringsbedömningen utgjorde en prediktiv studie och behandlades utifrån sju kombinationer av 3D-kamera, 2D-kamera och kollaborativ applikation samt casestudiens manuella kontroll. Den grundades huvudsakligen utifrån de framtagna kalkylerna för respektive fall men betydande faktorer så som arbetsmiljö och slutsatser från tidigare studier vägdes in i beslutet. Diverse parametrar vägdes mot varandra och rankades där betydande parametrar som behövs direkt vid implementering vägde tyngst medan andra parametrar kan gynna produktionen i framtiden.

Kostnadsmodellen som valdes för att utgöra grund för investeringsbedömningen valdes tack vare dess omfattning och flexibilitet då den kunde anpassas till det egna projektet.

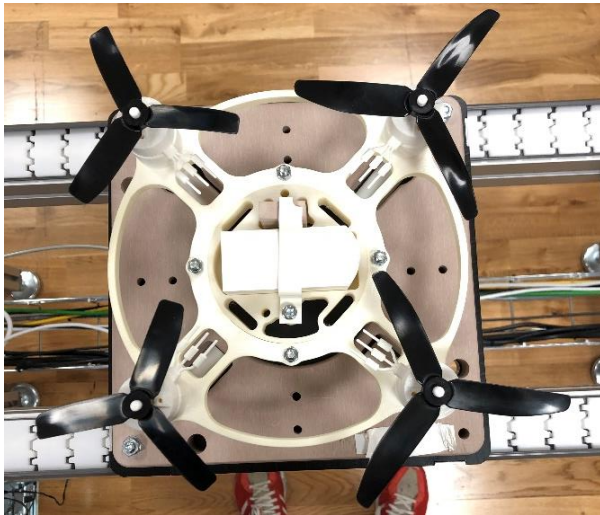
Riskbedömning utfördes genom känslighetsanalys för att se påverkan av kostnadsdrivande faktorer.

4 RESULTAT

Nedan presenteras metod, resultat och analys för experimentella studien.

4.1 Experimentell studie

Experimentet med visionsystemet anpassades efter experiment utförda av Krish & Sokoti (2020). Komplikationer med detektering av föremål med liten kontrastskillnad mot bakgrunden försvårade för visionsystemet att upptäcka defekter så som skruvar och bultar. Exempel på svårigheter att upptäcka defekter på grund av kontrastskillnader hände under experimentet med visionsystemet då det vita batteriet som monterades på drönaren i det manuella experimentet byttes ut mot ett svart batteri tidigt i experimentet. Se *figur 6* för vitt batteri monterat på kontrollobjektet.



Figur 6: Avskalad drönare med vitt batteri

Visionsystemet programmerades att placeras horisontellt över kontrollobjektet medan testoperatören i det manuella testet hade möjlighet att plocka upp kontrollobjektet och inspektera från alla vinklar.

Värt att notera är att parametrar ändrades utan att dokumenteras under experimentet med visionsystemet.

Visionsystemet upptäckte 93 % av antalet defekta produkter medan manuella kontrollen upptäckte 100 % av antalet defekta produkter. Visionsystemet underkände 11 % av antalet korrekta produkterna medan den manuella kontrollen underkände 1 % av antalet korrekta produkter. Visionsystemet var åtta gånger långsammare än manuella kontrollen från start till slut av kvalitetskontroll. Se *tabell 3* för resultat.

Tabell 3: Resultat från manuellt experiment samt experiment med visionsystem

	Manuell	Vision
Hanteringstid [sek]	4	7
Kontrolltid [sek]	3	49
Cykeltid [sek]	7	56
Partistorlek [st]	20	20
Total seriestorlek [st]	100	100
Antal utplacerade defekter [st]	15	15
Upptäckta defekter [st]	15	14
Antal korrekta som går till omarbete [st]	1	10
Antal defekta som går till kund [st]	0	1

4.2 Investeringsbedömningen

Nedan följer resultat från kostnadskalkyl och känslighetsanalys av kostnadsmodell. För att se antagningar och källor till grundkostnadsmodellen se *bilaga 2*.

4.2.1 Kalkylering

Nedan presenteras värden från kalkyleringen för casestudiens manuella kontroll och olika kombinationer av 2D-och 3D-kamera samt UR3. Även styckkostnader för olika antal tillverkade produkter mellan 100 och 8000 för respektive kontroll. Detta följer av brytpunkterna av antalet kontrollerade produkter innan lönsamhet.

Styckkostnader

Den manuella kontrollen har en konstant kostnad på 162,25 SEK oberoende av antal producerade detaljer. 2D-kamera plus UR3 går styckkostnaden från 946,70 kr vid seriestorleken 100 till 12,10 kr vid seriestorleken 8000. 3D-kamera plus UR3 går styckkostnaden från 1314,41 kr vid seriestorleken 100 till 16,70 kr vid seriestorleken 8000. Med enbart en 3D-kamera går styckkostnaden från 443,31 kr vid seriestorleken 100 till 5,81 kr vid seriestorleken 8000. Med två 3D-kameror går styckkostnaden från 970,85 kr vid seriestorleken 100 till 8,66 kr vid seriestorleken 8000. Med tre 3D-kameror går styckkostnaden från 898,39 kr vid seriestorleken 100 till 11,50 kr vid seriestorleken 8000. Med fyra 3D-kameror går styckkostnaden från 1125,93 kr vid seriestorleken 100 till 13,34 kr vid seriestorleken 8000. Se *tabell 4* och *diagram 2* för styckkostnaden för varje alternativ

Tabell 4: Jämförelse av styckkostnader i kronor.

Jämförelse styckkostnader [kr/st]							
Antal tillverkade produkter [st]:	Manuell:	2D-kamera + UR3:	3D-kamera + UR3:	3D-kamera utan UR3 (1 st):	3D-kamera utan UR3 (2 st):	3D-kamera utan UR3 (3 st):	3D-kamera utan UR3 (4 st):
100,00	162,65	946,70	1 314,41	443,31	670,85	898,39	1 125,93
200,00	162,65	473,49	657,34	221,79	335,56	449,33	563,10
400,00	162,65	236,88	328,81	111,03	167,92	224,80	281,69
800,00	162,65	118,58	164,54	55,65	84,10	112,54	140,98
1 000,00	162,65	94,92	131,69	44,58	67,33	90,09	112,84
1 500,00	162,65	63,37	87,88	29,81	44,98	60,15	75,32
2 000,00	162,65	47,59	65,98	22,43	33,80	45,18	56,56
2 500,00	162,65	38,13	52,84	17,99	27,10	36,20	45,30
2 800,00	162,65	34,07	47,21	16,10	24,22	32,35	40,48
3 500,00	162,65	27,31	37,82	12,93	19,43	25,93	32,43
4 200,00	162,65	22,81	31,56	10,82	16,24	21,66	27,07
5 000,00	162,65	19,20	26,56	9,13	13,68	18,24	22,79
6 000,00	162,65	16,05	22,18	7,66	11,45	15,24	19,03
7 000,00	162,65	13,79	19,05	6,60	9,85	13,10	16,35
8 000,00	162,65	12,10	16,70	5,81	8,66	11,50	14,34

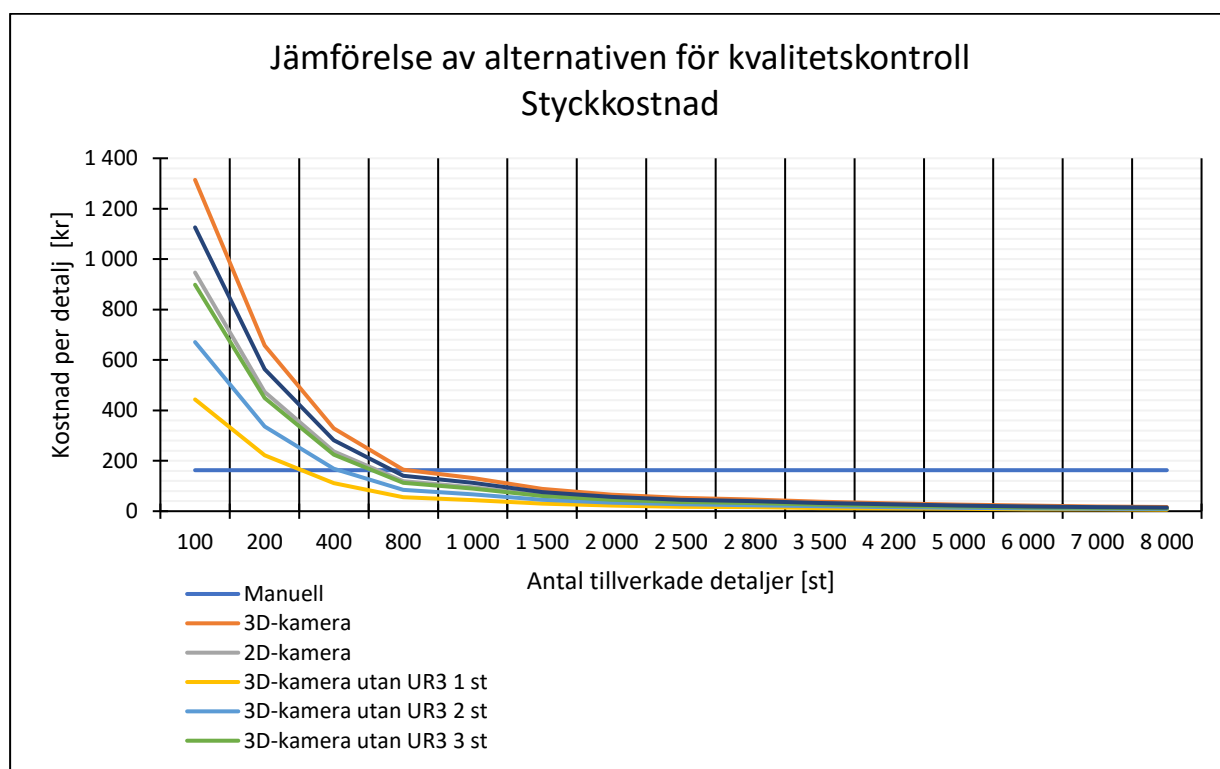


Diagram 2: Jämförelse av alternativen för kvalitetskontroll per styck.

Styckkostnader med penaltkostnader

Den manuella kontrollen har en konstant kostnad på 290,53 kr oberoende av antal producerade detaljer. 2D-kamera plus UR3 går styckkostnaden från 1074,58 kr vid seriestorleken 100 till 139,98 kr vid seriestorleken 8000. 3D-kamera plus UR3 går styckkostnaden från 1442,29 kr vid seriestorleken 100 till 144,58 kr vid seriestorleken 8000. Med enbart en 3D-kamera går styckkostnaden från 571,20 kr vid seriestorleken 100 till 133,69 kr vid seriestorleken 8000. Med två 3D-kameror går styckkostnaden från 798,73 kr vid seriestorleken 100 till 136,54 kr vid seriestorleken 8000. Med tre 3D-kameror går

styckkostnaden från 1026,27 kr vid seriestorleken 100 till 139,38 kr vid seriestorleken 8000. Med fyra 3D-kameror går styckkostnaden från 1253,81 kr vid seriestorleken 100 till 1142,22 kr vid seriestorleken 8000. Se *tabell 5* och *diagram 3* för styckkostnaden med penaltykostnader.

Tabell 5: Jämförelse av styckkostnader med penalty kostnader.

Jämförelse styckkostnader med Penalty kostnader [kr/st]							
Antal tillverkade produkter [st]:	Manuell:	2D-kamera + UR3:	3D-kamera + UR3:	3D-kamera utan UR3 (1 st):	3D-kamera utan UR3 (2 st):	3D-kamera utan UR3 (3 st):	3D-kamera utan UR3 (4 st):
100,00	290,53	1 074,58	1 442,29	571,20	798,73	1 026,27	1 253,81
200,00	290,53	601,37	785,22	349,67	463,44	577,21	690,98
400,00	290,53	364,76	456,69	238,91	295,80	352,68	409,57
800,00	290,53	246,46	292,42	183,53	211,98	240,42	268,86
1 000,00	290,53	222,80	259,57	172,46	172,86	217,97	240,72
1 500,00	290,53	191,25	215,76	157,69	172,86	188,03	203,20
2 000,00	290,53	175,48	193,86	150,31	161,68	173,06	184,44
2 500,00	290,53	166,01	180,72	145,88	154,98	164,08	173,18
2 800,00	290,53	161,95	175,09	143,98	152,10	160,23	168,36
3 500,00	290,53	155,19	165,70	140,81	147,31	153,81	160,32
4 200,00	290,53	150,69	159,44	138,70	144,12	149,54	154,95
5 000,00	290,53	147,08	154,44	137,01	141,57	146,12	150,67
6 000,00	290,53	143,93	150,06	135,54	139,33	143,12	146,91
7 000,00	290,53	141,67	146,93	134,48	137,73	140,98	144,23
8 000,00	290,53	139,98	144,58	133,69	136,54	139,38	142,22

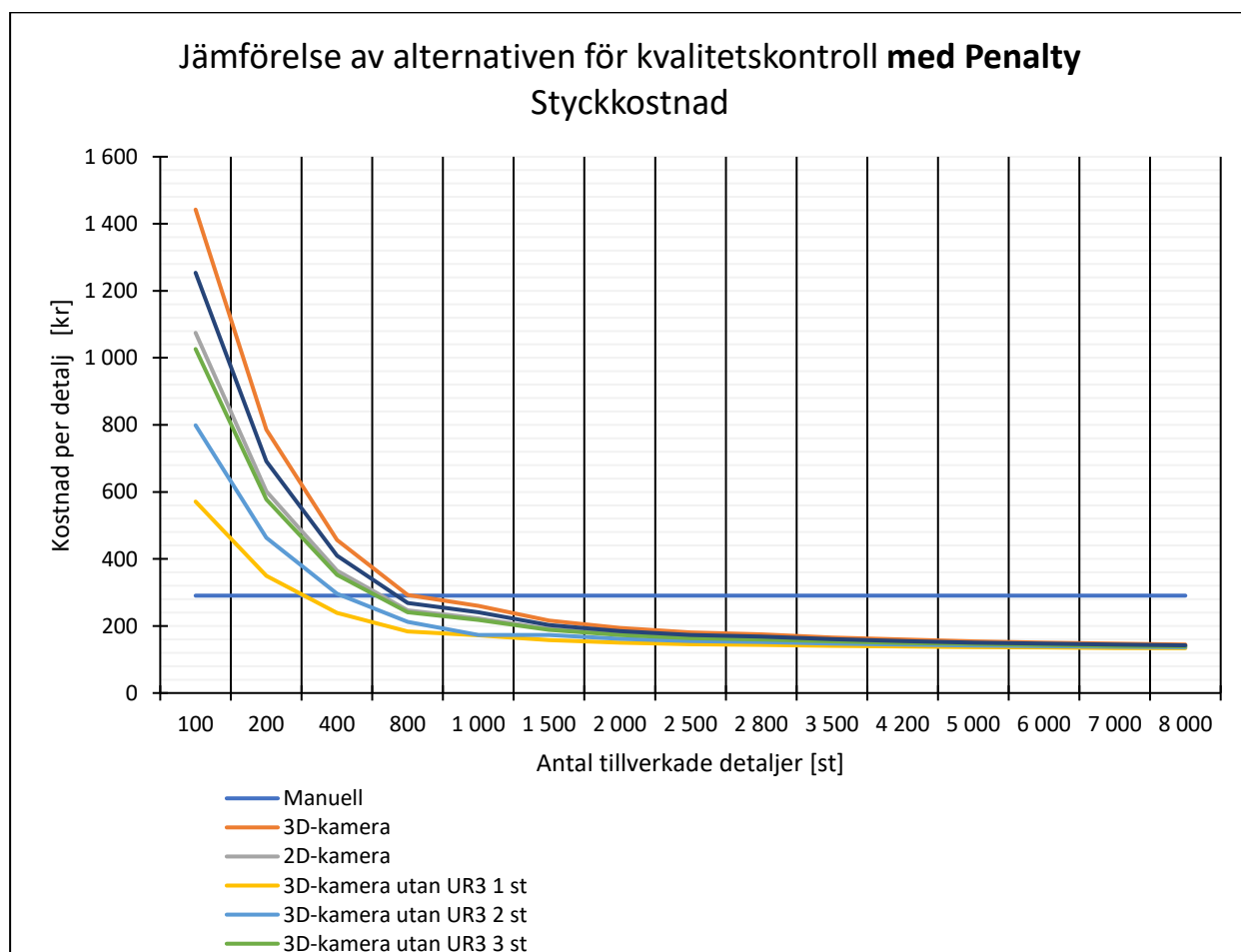


Diagram 3: Jämförelse av alternativen för kvalitetskontroll med penalty per styck.

För tabeller och diagram med totalkostnader av kostnadskalkyl se *bilaga 5*.

Tabell 6 redogör för vilket antal som krävs för respektive alternativ av kvalitetskontroll innan den blir lönsam jämfört med casestudiens manuella kontroll utifrån kostnadsmodellen beskriven ovan. Detta med antagandet att de respektive kombinationerna av alternativen för kvalitetskontroll har ekvivalent mängd detekterade kvalitetsfel och oberoende av antalet kameror.

Tabell 6: Antal producerade produkter innan lönsamhet jämfört med casestudiens manuella kontroll.

Alternativ av kvalitetskontroll	Styck
Manuell	<273
2D-kamera + UR3	583
3D-kamera + UR3	811
3D-kamera (1 st)	274
3D-kamera (2 st)	414
3D-kamera (3 st)	555
3D-kamera (4 st)	695

2D-kamera+ UR3 når lönsamhet när den överstiger en serie på 588 kontrollerade produkter.

3D-kamera+UR3 når lönsamhet när den överstiger en serie på 811 kontrollerade produkter.

En 3D-kamera når lönsamhet när den överstiger en serie på 274 kontrollerade produkter.

Två 3D-kameror når lönsamhet när den överstiger en serie på 414 kontrollerade produkter.

Tre 3D-kameror når lönsamhet när den överstiger en serie på 555 kontrollerade produkter.

Fyra 3D-kameror når lönsamhet när den överstiger en serie på 695 kontrollerade produkter.

Tabell 7 visar att manuell kontroll är att rekommendera med antalet upp till 273. Över 274 är alternativet med endast en 3D-kamera utan UR3 det billigaste alternativet för kvalitetskontrollen. Detta med antagandet att de respektive kombinationerna av alternativen för kvalitetskontroll har jämbördig identifiering av kvalitetsfel och oberoende av antalet kameror.

Tabell 7: Rangordning utifrån kostnadseffektivitet av alternativ för kontroll i förhållande till kontrollerade produkter.

Intervall av antal produkter	Rangordning utifrån kostnadseffektivitet						
	1	2	3	4	5	6	7
0 → 273	Manuell	3D-kamera 1 st	3D-kamera 2 st	3D-kamera 3 st	2D-kamera	3D-kamera 4 st	2D-kamera + UR3
274 → 413	3D-kamera 1 st	Manuell	3D-kamera 2 st	3D-kamera 3 st	2D-kamera	3D-kamera 4 st	2D-kamera + UR3
414 → 554	3D-kamera 1 st	3D-kamera 2 st	Manuell	3D-kamera 3 st	2D-kamera	3D-kamera 4 st	2D-kamera + UR3
555 → 582	3D-kamera 1 st	3D-kamera 2 st	3D-kamera 3 st	Manuell	2D-kamera	3D-kamera 4 st	2D-kamera + UR3
583 → 694	3D-kamera 1 st	3D-kamera 2 st	3D-kamera 3 st	2D-kamera + UR3	Manuell	3D-kamera 4 st	2D-kamera + UR3
695 → 811	3D-kamera 1 st	3D-kamera 2 st	3D-kamera 3 st	2D-kamera + UR3	3D-kamera 4 st	Manuell	2D-kamera + UR3
811 →	3D-kamera 1 st	3D-kamera 2 st	3D-kamera 3 st	2D-kamera + UR3	3D-kamera 4 st	2D-kamera + UR3	Manuell

4.2.2 Känslighetsanalys

Nedan presenteras känslighetsanalys som utfördes av parametrar i syfte att se vilka som skulle kunna påverka styckkostnaden med ett märkvärdigt sätt.

I känslighetsanalysen för cykeltiden kontrollerades takttiden med andelsvärdet 1 mot en andel på 0,4 för att se cykeltidens påverkan. Ändring av cykeltiden hade liten påverkan på kostnaden för samtliga teknikerna. Se *tabell 8* nedan.

Tabell 8 visar känslighetsanalys av styckkostnad vid ändring av cykeltiden

Känslighetsanalys för cykeltiden

	2D-kamera+UR3	3D-kamera+UR3	3D-kamera
Andel	Styckkostnad	Styckkostnad	Styckkostnad
0,4	13,63	18,88	6,44
1	13,76	19,05	6,60

Brukstiden analyserades separat då de olika teknikerna har olika brukstid. I dagsläget är UR3an den tekniken med lägst brukstid (3 år) medan bägge kamerorna beräknas ha brukstid på 10 år. Schablonvärden på 5, 7, 15 och 20 år användes förutom de ovannämnda brukstiderna. Skulle denna tekniks brukstid höjas till 15 år skulle styckkostnaden sänkas från 72 %. Då bägge kamerorna beräknas ha 10 års livstid kommer kostnaden redan vara relativt låg. Se *tabell 9* nedan.

Tabell 9 visar känslighetsanalys av styckkostnad vid ändring av brukstiden

Känslighetsanalys för brukstid

	2D-kamera	3D-kamera	UR3
År	Styckkostnad	Styckkostnad	Styckkostnad
3	3,23	17,7	12,44
5	2,15	11,33	7,89
7	1,69	8,62	5,95
10	1,34	6,60	4,51
15	1,08	5,07	3,42
20	0,96	4,33	2,90

Grundkostnaderna för teknikerna beräknades separat. Känslighetsanalysen utgick från att värdet på teknikerna sänks till 0,7, 0,8 respektive 0,9 % av grundkostnaden. Även höjning

med faktor 1,2 beräknades. Styckkostnaden för samtliga tekniker påverkades ej markant. Se *tabell 10* nedan.

Tabell 10 visar känslighetsanalys av styckkostnad vid ändring av grundkostnad för implementering

Känslighetsanalys för grundkostnad för implementering

	2D-kamera	3D-kamera	UR3
Andel	Styckkostnad	Styckkostnad	Styckkostnad
0,7	1,02	4,70	8,71
0,8	1,13	5,33	9,95
0,9	1,24	5,96	11,19
1	1,35	6,60	12,44
1,2	1,56	7,86	14,93

Känslighetsanalys av andel defekta beräknades med andelarna 1, 0,8, 0,47 och 0,20 där värdet 1 är den andel defekta produkter på casestudiens kvalitetskontroll. Med andel defekta produkter menas vilken andel defekta produkter som finns i en hel serie. Andelen defekta produkter hade störst påverkan på den manuella kontrollen då denna har högst styckkostnad. Kostnaden minskade med 12 % per produkt då andelen defekta sänktes med 80 %. Andelen defekta produkter hade ej markant påverkan på känslighetsanalysen av teknikerna. Se *tabell 11* nedan.

Tabell 11 visar känslighetsanalys av styckkostnad vid ändring av andel defekta produkter.

Känslighetsanalys för andel defekta produkter

	Manuell kontroll	2D-kamera+UR3	3D-kamera+UR3	3D-kamera
Andel	Styckkostnad	Styckkostnad	Styckkostnad	Styckkostnad
1	162,65	13,79	19,05	6,60
0,8	157,10	13,32	18,40	6,37
0,47	148,66	12,61	17,41	6,03
0,2	142,53	12,09	16,69	5,78

Känslighetsanalysen med defekta produkter som skickas till kund beräknades med andelarna 1, 0,83, 0,5, 1,33 och 1,67 där värdet 1 är den andel defekta produkter på casestudiens kvalitetskontroll som skickas till kund. Samtliga parametrar påverkades markant. En halvering av defekta produkter med 50 % som skickas till kund sänkte dagens manuella kontroll med 18 % medan samtliga teknikerna sänktes med 36 % till 40 %. Samma gällde vid höjning av antalet defekta produkter som skickas till kund då samtliga parametrar höjdes cirka 50 % för de automatiska medan för den manuella med 24 %. Se *tabell 12* nedan.

Tabell 12 visar känslighetsanalys av styckkostnad vid ändring av andelen defekta produkter som skickas till kund.

Känslighetsanalys för andel defekta produkter som skickas till kund

	Manuell kontroll	2D-kamera+UR3	3D-kamera+UR3	3D-kamera
Andel	Styckkostnad	Styckkostnad	Styckkostnad	Styckkostnad
0,5	236,93	88,10	93,36	80,91
0,83	272,67	123,82	129,07	116,63
1	290,53	141,67	146,93	134,48
1,33	326,24	177,39	182,64	170,20
1,67	361,96	213,10	218,36	205,91

Styckkostnad för kalkylränta på 2-, 4-, 6-, 8- och 10 % gav liten förändring i styckkostnaden för samtliga tekniker. Se tabell 13 nedan.

Tabell 13 visar känslighetsanalys av styckkostnad vid ändring av kalkylränta.

Känslighetsanalys för kalkylränta

	2D-kamera+UR3	3D-kamera+UR3	3D-kamera
Andel	Styckkostnad	Styckkostnad	Styckkostnad
2	12,69	16,99	5,45
4	13,24	18,00	6,01
6	13,79	19,05	6,60
8	14,36	20,12	7,21
10	14,94	21,23	7,85

För förslag om statisk kvalitetskontroll med flera kameror gjordes känslighetsanalys då antalet 3D-kameror ökade upp till fyra. Kostnaden ökade med ca 3 kronor per styck per ökning av en kamera vilket innebar en ökning med 148 % av kostnaden mellan en och fyra kameror. Se tabell 14 nedan.

Tabell 14: Känslighetsanalys av styckkostnad vid ändring av antal 3D-kameror.

3D-kameror

Antal	Styckkostnad
1	6,60
2	9,85
3	13,10
4	16,35

5 DISKUSSION

Nedan presenteras diskussion om projektets upptäckter och resultat.

5.1 Nulägesanalys

Då redan nämnda omständigheter påverkade studien på så sätt att allt arbete skedde på distans påverkades helhetsbilden av kvalitetskontrollen. Ursprungligen skulle ett studiebesök ske där casestudiens produktionsanläggningen skulle besökts. Då studiebesöket blev inställt gavs det ej möjlighet att observera produktionsanläggningen och framförallt kvalitetskontrollen. Detta försvårade förmågan att dra slutsatser om hur ett visionsystem skulle kunna förbättra kvalitetskontrollen ur hållbarhetsperspektiv så som sociala aspekter i arbetsmiljön.

I frågeformuläret som besvarades av anställda gavs värden om tider, kostnader samt dokumenterade arbetsfel som möjliggjorde att en investeringsbedömning kunde genomföras. Vissa frågor som rörde kvalitativ data var inte skrivna på ett tillräckligt specifikt sätt och lämnade utrymme för egen tolkning av dem som besvarade frågorna. Då frågeformuläret besvarades på distans fanns det inte möjlighet att ställa följdfrågor eller förtydliga.

I frågeformuläret beskrevs kvalitetskontrollen som oergonomisk samt riskfylld vid hantering av truck enligt anställda (personlig kommunikation, 11 mars 2020). Då observation av kvalitetskontrollen uteblev samt att kostnad för belastningsskador ej redovisades är det inte möjligt att dra slutsats om hur och varför operatörerna upplever kontrollstationen som oergonomisk samt i vilken utsträckning eventuella skador sker. Om manuella kvalitetsinspektionen medföljer böjande eller vridande moment kan implementering av visionsystem eventuellt underlätta den sortens belastning för operatören och på så sätt dra ner på kostnader för eventuella skador. De visionsystemen som behandlas i rapporten möjliggör dock inte fysisk förflyttning av motorn vilket innebär att andra åtgärder behöver vidtas.

Anställda (personlig kommunikation, 11 mars 2020) uppgav även att kvalitetskontrollen är tidsbegränsad och att defekter kan uppstå på grund av avvikelser från standardiserade arbetssätt. De nämner även att erfarna operatörer lägger tid på visuella defekter som inte innefattas av instruktionerna medan oerfarna enbart följer instruktionerna. Huruvida detta påverkar antalet defekta motorer som skickas till kund är omöjligt att dra slutsats kring i nuläget. Dock skulle implementering av visionsystem till en kvalitetskontroll medföra konsekvent arbetsgång vad gäller inspektion av produkten då visionsystemet alltid söker efter dem defekter det programmeras till att detektera.

5.2 Experimentell studie

Kollaborativa applikationen programmerades till att inspektera kontrollobjektet från endast ett perspektiv. Kollaborativa applikationen är dock kapabel till att positioneras ur flera vinklar enligt produktbeskrivningen och tidigare studier men detta experiment blev inte ett mått på robotarmens flexibilitet. Tidigare studier pekar på att livräddiga resultat kan uppnås med flera statiska kameror jämfört med kameror integrerade med kollaborativa applikationer. Däremot visar kollaborativa applikationer på större flexibilitet och ökad produktivitet. Det går alltså att argumentera för att i ett industriellt sammanhang hade ett experiment med liknande visionsystem programmerats för att optimera antal och placering av positioner kring kontrollobjektet. På grund av detta påstående kommer tidtagningen i experimenten inte att rekommenderas för underlag för framtida arbete men tidigare studier pekar dock på att

visionsystem har högre hastighet än manuell kontroll. I tidigare studier har även tillverkare av visionsystem själva deltagit i studier och föreslagit både lösning och metod vilket kan vara ett sätt för att uppnå rättvisa resultat. På grund av begränsad åtkomst till utrustningen utfördes endast ett experiment med visionsystemet. Det hade varit fördelaktigt med fler experimentomgångar för att göra utrustningen rättvisa.

De experiment som genomfördes anpassades till tidigare resultat från experiment av Krish & Sokoti (2020) med visionsystemet. Defekterna slumpades därför inte utan endast tre komponenter på kontrollobjektet valdes som defekter. Monteringsfel med skruvar var ett av återkommande monteringsfel som upptäcktes av kvalitetskontrollen på produktionsanläggningen, enligt casestudiens dokumenterade arbetsfel. Under experimentet valdes defekter som orsakas av skruvar eller muttrar bort på grund av att de ej detekterades vid tidigare experiment av Krish & Sokoti (2020). Tidigare studier med visionsystem bestående av UR10 och 3D-kamera, detekterade bultar och uttag på chassi. Dessa komponenter kan jämföras med skruvar och muttrar.

Visionsystemet detekterade rätt monterade kontrollobjekt som felaktiga vid flera tillfällen men då parametrar för inställningar av visionsystemet ändrades manuellt under experimentet försvårar det att dra slutsats om bakomliggande orsaker. Parametrarna som ändrades dokumenterades ej. Dock har tidigare studier för både visionsystem med 2D-och 3D-kameror markerat korrekta produkter som defekta vilket kan styrka att detta är ett återkommande fel. Orsaken till detta är att visionsystemen har svårigheter att skilja på likformiga komponenter.

Den viktigaste upptäckten från experimenten var att detektering av defekter var möjligt med visionsystem. Då samtliga defekter upptäcktes tyder det på att visionsystem kan användas för kvalitetskontroll. Dock är ljussättning vid kontrollstationen viktigt för bildkvaliteten vilken kan medföra ändringar i planeringen kring kvalitetskontrollen.

5.3 Investeringsbedömning

Från resultatet för kalkylering så har 2D-och 3D-kameror, i kombination med UR3, höga kostnader vid låga serier. När det gäller kontroll med enbart 3D-kamera är det helt beroende av antalet kameror som ingår då inköpskostnaden ökar då antalet kameror ökar. Dessa kombinationer kräver alltså större seriestorlek för att bli lönsamma medan den manuella kontrollen har konstant kostnad oberoende av storleken av kontrollerade detaljer.

Angående brytpunkter är casestudiens manuella kontrollen lönsammast fram till 273 kontrollerade produkter. Efter cirka 1000 kontrollerade produkter är kostnaderna för 2D-kamera + UR3 och alternativet med tre 3D-kameror likvärda. För 3D-kamera + UR3 och alternativet med tre 3D-kameror blir kostnaden likvärda efter 1500 produkter. Se *diagram 4* för jämförelse av brytpunkter.

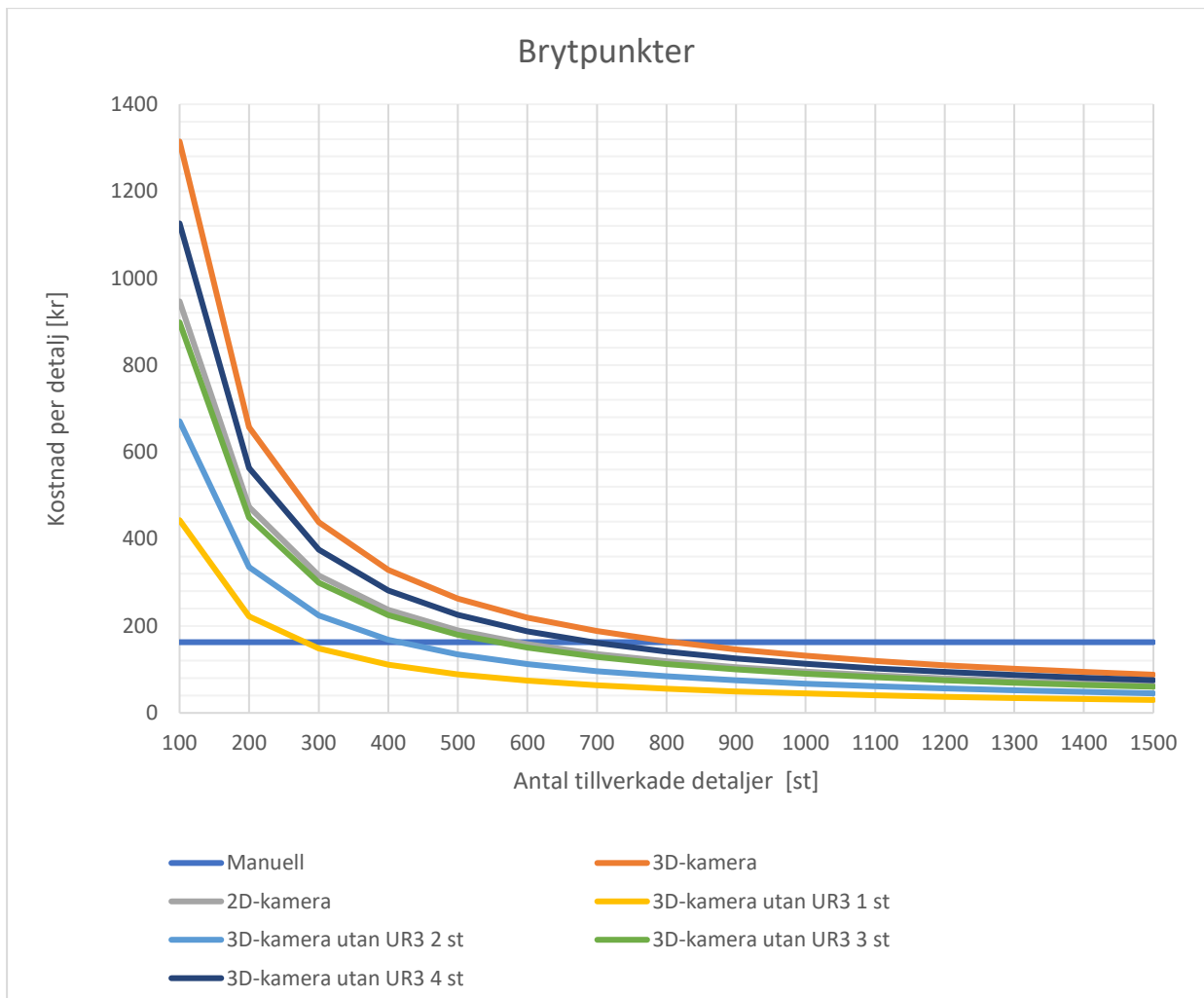


Diagram 4: Jämförelse av brytpunkter.

Vid seriestorlek på 6000–8000 stycken är tre 3D-kameror likvärt med en 2D-kamera + UR3 och är billigaste alternativen bortsett från alternativet med en eller två 3D-kameror. Vid 6000 till 8000 produkter så är fyra 3D-kameror det billigare alternativet om jämförelse sker mellan 3D-kamera + UR3 och fyra 3D-kameror.

För att ta ett beslut vad som är det lämpligaste alternativet för kvalitetskontrollen på casestudiens produktionsanläggning behöver, utöver kostnader, även kvalitetsresultat för respektive alternativ utvärderas. Både 2D-och 3D-teknikerna har visat tendenser att underkänna rätt monterade produkter, både i det genomförda experimentet och i tidigare studier. Detta kommer medföra ökade kostnader samtidigt som kostnader som uppstår i samband med goodwill då defekta produkter skickas ut till kund uppgår till höga summor. Rapporten har inte tagit upp kostnader som rör just goodwill på grund av att dessa kostnader är sekretessbelagda. Bortsett från kostnader kan även defekta produkter innebära säkerhetsrisker vilket också påverkar kundernas goodwill gentemot företaget.

I investeringsbedömning är penaltkostnaderna konstanta. Från känslighetsanalysen kan slutsats dras om att brytpunkten för lönsamheten kommer ändras beroende på då exempelvis andelen defekta produkter som skickas ut till kund höjs eller sänks. Ett exempel på detta är brytpunkterna som illustreras i *diagram 5* där jämförelse görs mellan 3D+UR3 och manuella

kontrollen där antalet defekta produkter minskas från casestudiens produktionsanläggningens andel till noll för 3D+UR3.

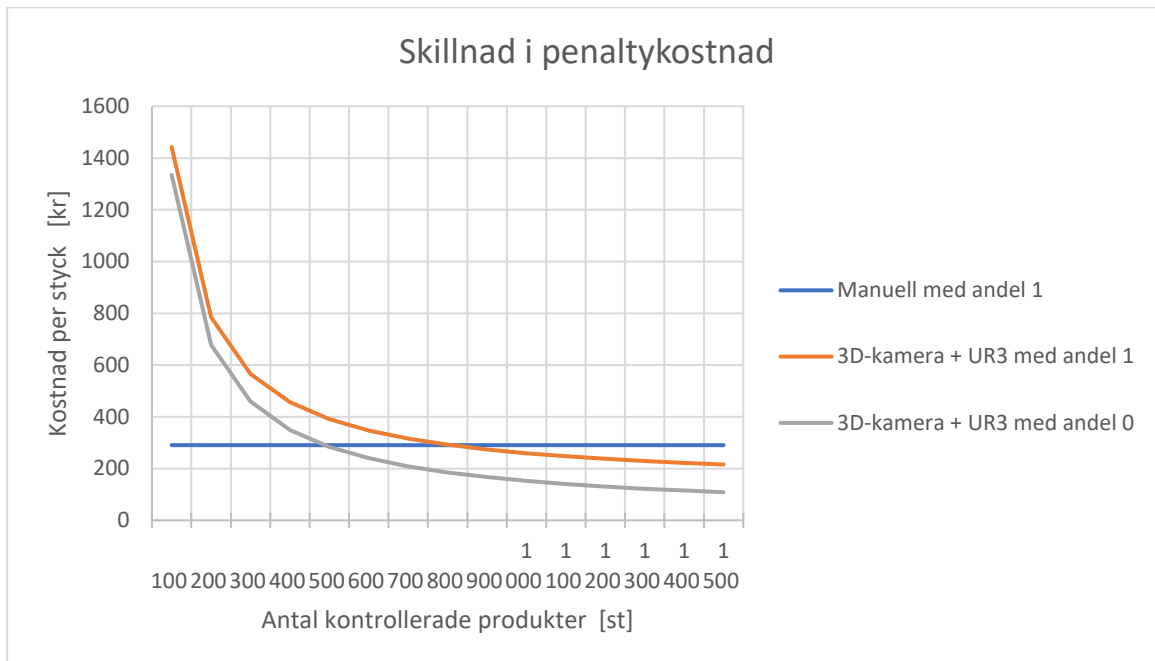


Diagram 5: Jämförelse då andelen defekta som skickas till kund minskar från andelen 1 till 0 för 3D-kamera+UR3 med konstant manuell kontroll.

Nackdelen med kollaborativa applikationer är dess livslängd, jämfört medameratekniken, vid dagligt bruk. UR3 måste köpas in vart tredje år om uppskattningen på livslängden stämmer medan kamerorna är uppskattade till tio år. Detta har inte räknats med i kalkyleringen, vilken kan ha stor påverkan då fyra UR3 går på vardera kamerors brukstid.

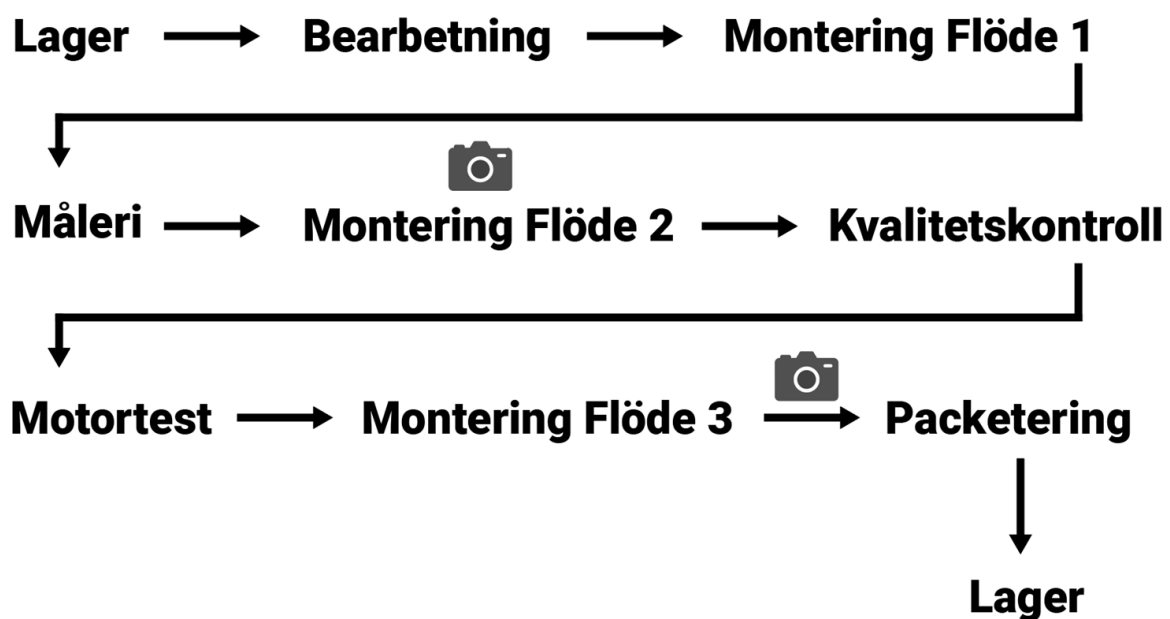
Antalet statiska kameror beror på syftet med kvalitetskontrollen samt storleken på kontrollobjektet. Om ett perspektiv av objektet är tillräckligt för att upptäcka defekter så lämpar sig en kamera för kontrollen. Om det defekter uppkommer från flera perspektiv, som till exempel på sidorna av ett objekt och inte bara uppifrån, krävs det fler kameror för att hela objektet kan undersökas.

Investeringsbedömningen innehåller ej beräkningar där brukstiden för UR3 motsvarar kamerornas brukstid. Alltså att fyra stycken UR3 med tre års brukstid går på en kamera med 10 års brukstid. Detta innebär att kostnaderna för visionsystemen med UR3 kan vara högre än vad kalkylerna visar.

6. SLUTSATS

Den lönsammaste metoden för kvalitetskontrollen beror på ändamålet. Om kvalitetskontrollen utförs i syfte att kontrollera ett specifikt område är en statisk 3D-kamera lönsammast förutsatt att antalet kontrollerade produkter överstiger 273 stycken. Detta förutsatt att 3D-kameran upptäcker lika många eller fler defekter än manuella kontrollen. Om syftet är att utföra en kvalitetskontroll där ett stort område så som casestudiens motor är visionsystem med 2D-kamera+UR3 lönsammast. Detta förutsatt att antalet kontrollerade produkter överstiger 582 stycken och att komponenterna som inspekteras är väl synliga och möjliga att upptäcka med 2D-teknologin.

Ur ett perspektiv där antalet defekta produkter som skickas till kund minskas i syfte att minska penaltykostnader är ett alternativ att placera kvalitetskontroll med visionsystem tidigare i produktionen där majoriteten av felen uppstår. Kvalitetskontrollen skulle exempelvis kunna placeras enligt *figur 7*, alltså i Montering Flöde 2 eller innan Packeteringen. Detta skulle eventuellt leda till mindre omarbete samt kassering vilket ur hållbarhetssynpunkter vore fördelaktigt då detta leder till mindre spill och minskade utgifter.



Figur 7: Produktionsflöde där förslag på kvalitetskontroll med visionsystem har markerats med röda rutor.

6.1 Framtida arbete

- Observera och analysera kvalitetskontrollen på plats där implementering av visionsystem ska ske. Detta för att få en rättvis bild av arbetsmoment i stationen. Detta skulle möjliggöra att dra slutsatser om arbetsmiljöfrågor så som om belastningsskador skulle minimeras vid implementering av visionsystem.
- Observation och analys av produktionsanläggning på plats skulle skapa en bättre bild av produktionsflöden för att göra säkrare bedömning av miljöer och kontrollobjekt. Detta i syfte att kunna dra säkra slutsatser på vilket visionsystem som är optimalt för produktionsanläggningen.

- Ytterligare experiment med visionsystem. Även experiment med 3D-kamera.
- Ta fram kostnadskalkyl där antalet UR3 med tre års brukstid motsvarar en kamera med tio års brukstid.

REFERENSER

Nedan följer referenslistan som är uppdelad i artiklar, böcker och e-böcker, examensarbeten, hemsidor, konferenser, rapporter och uppslagsverk.

Artiklar

Colledania, M & Tolio, T. (2011). Joint design of quality and production control in manufacturing systems. *CIRP Journal of manufacturing: Science and technology*, 4(3), 281-289. Hämtad 2020-05-22 från <https://doi-org.proxy.lib.chalmers.se/10.1016/j.cirpj.2011.06.008>

Colledania, M & Tolio, T. (2006). Impact of Quality Control on Production System Performance. *CIRP Annals*. 55(1), 453–456. Hämtad 2020-05-22 från [https://doi-org.proxy.lib.chalmers.se/10.1016/S0007-8506\(07\)60457-0](https://doi-org.proxy.lib.chalmers.se/10.1016/S0007-8506(07)60457-0)

Cubero, S., Aleixos, N., Moltó, E., Gómez-Sanchis, J., Blasco, J. (2010). Advances in Machine Vision Applications for Automatic Inspection and Quality Evaluation of Fruits and Vegetables. *Food and Bioprocess Technology*, 4, 487–504. doi: 10.1007/s11947-010-0411-8

Falck, A.C., Örtengren, R. & Högberg, D. (2009). The impact of poor assembly ergonomics on product quality: A cost–benefit analysis in car manufacturing. *Huma Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 20, 24-41. Hämtad 2020-05-22 från <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/hfm.20172>

Foster III, J., Griffin, P., Messimer, S., Villalobos, R. (1990). Automated visual inspection: A tutorial. *Computers & Industrial Engineering*, 18(4), 493-504. Hämtad 2020-05-22 från [https://doi-org.proxy.lib.chalmers.se/10.1016/0360-8352\(90\)90007-9](https://doi-org.proxy.lib.chalmers.se/10.1016/0360-8352(90)90007-9)

Frustaci, F., Perri, S., Cocorullo, G. & Corsonello, P. (2020). An embedded machine vision system for an in-line quality check of assembly processes. *Procedia Manufacturing*, volym (42), 211-218. Hämtad 2020-05-22 från <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.072>

Gorlach & O. Wessel. (2008) Optimal Level of Automation in the Automotive Industry. *Engineering Letters*, 16(1). 141–149. Hämtad 2020-03-25 från <http://eds.b.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=322c481f-45cb-49c8-bb51-92bb81635ff5%40sessionmgr101&bdata=JkF1dGhUeXBIPXNzbyZzaXRIPWVkcylsaXZlJnNjb3BIPXNpdGU%3d#AN=31904017&db=asx>

Krugh, M. & Mears, L. (2018). A complementary Cyber-Human Systems framework for Industry 4.0 Cyber-Physical Systems. *Manufacturing Letters*, volym (15), 89-92. Hämtad 2020-05-22 från <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2018.01.003>

Montironi, M.A., Castellini, P., Stroppa, L., Paone, N. (2014). *Adaptive autonomous positioning of a robot vision system: Application to quality control on production lines*. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 30(5), 489-498. Hämtad 2020-05-22 från <https://doi-org.proxy.lib.chalmers.se/10.1016/j.rcim.2014.03.004>

Zelinski, P. (2019). Cobots Are Coming. *Modern Machine Shop*, februari 2019, 62–66. Hämtad 2020-04-10 från <https://modernmachineshop.mydigitalpublication.com/publication/?m=&i=562847&p=64>

Böcker och e-böcker

Bergman, B & Klefsjö, B. (2012). *Kvalitet från behov till användning*. Lund: Studentlitteratur AB.

Bjurström, J. (2016). *Bortom Lean: 12 steg för en verksamhet i världsklass*. 1. uppl., Malmö: Roos & Tegnér.

Lantz, B & Löfsten, H & Isaksson, A. (2018). *Industriell ekonomi: Grundläggande ekonomisk analys*. Lund: Studentlitteratur AB.

Liu, Z., Ukida, H., Ramuhalli, P., Niel, K. (2015). *Integrated Imaging and Vision Techniques for Industrial Inspection: Advances and Applications*. Hämtad 2020-04-26 från <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-1-4471-6741-9>

Sandholm, Lennart. (2008). *Kvalitetsstyrning med total kvalitet: verksamhetsutveckling med fokus på total kvalitet*. Stockholm: Studentlitteratur AB.

Skärvad, P-H., Olsson, J. (2017). *Företagsekonomi 100: Faktabok*. Upplaga 18. Stockholm: Liber AB.

Ståhl, J-E. (2010). *Industriella Tillverkningsystem del II: Länken mellan teknik och ekonomi*. Lund: Industriell Produktion LTH, Lunds universitet.

Examensarbeten

Hussein, J., Flodin, S. (2019). *Automatisering av kvalitetskontroll inom tillverkning av kugghjul: En fallstudie*. (Examensarbete, Kungliga Tekniska Högskolan, Maskinteknik Industriell teknik och hållbarhet). Hämtad från 2020-04-27 från <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1333936&dswid=-4827>

Krish, A., Sokoti, H. (2020). *Analys av automatisk och manuell kvalitetssäkring*. (Examensarbete, Chalmers tekniska högskola, Institutionen för Industri- och materialvetenskap). Hämtad 2020-05-22 från (länk kommer efter utgivelse)

Leidenkrantz, A., Westbrandt, E. (2019). *Implantation of machine vision on a collaborative robot*. (Examensarbete, Högskolan i Skövde, Institutionen för ingenjörsvetenskap). Hämtad 2020-05-04 från <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1323496&dswid=4239>

Persson, K., Posse, G., Rosner, M. (2007). *Investeringsbedömning: En studie om investeringsbedömningen i ett antal svenska tillverkande företag*. (C-uppsats, Karlstads universitet, Fakulteten för ekonomi, kommunikation och IT). Hämtad 2020-05-18 från <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A4963&dswid=-7441>

Sundbye, R., Strandberg, M. (2019). *Production Process Development - A current situation and improvement analysis of a polymer production line*. (Examensarbete, Lund Universitet, Division of product and materials engineering). Hämtad 2020-05-04 från <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/8991311>

Hemsidor

Boisset, F. (2018). *The History of Industrial Automation in Manufacturing*. Hämtad 2020-03-05 från <https://kingstar.com/the-history-of-industrial-automation-in-manufacturing/>

Dagens industri. (2020). *Valutakurser: Euro*. Hämtad 2020-04-22 från <https://www.di.se/valutor/eursek-26494/>

Ekonomifokus. (2020). *Beräkna kostnad för förbrukning av el – elektrisk apparat*. Hämtad 2020-05-18 från <https://www.ekonomifokus.se/berakna-kostnad-for-forbrukning-av-el-elektrisk-apparat>

EMS Solutions. (2017). *The pros and cons of industrial automation*. 18 september 2017. Hämtad 2020-03-25 från <https://www.myemssolutions.com/pros-cons-industrial-automation/>

Harding, W. (2015). *2D or 3D Machine Vision? Why Not Both?*. Hämtad 2020-04-27 från https://www.visiononline.org/vision-resources-details.cfm/vision-resources/2D-or-3D-Machine-Vision-Why-Not-Both/content_id/5630

Robotiq. (2020). *Products: Wrist Camera*. Hämtad 2020-04-30 från https://robotiq.com/products/wrist-camera?ref=nav_product_new_button

SICK. (2018). *When to use 3D Vision over 2D Vision I your Machine Vision Application*. Hämtad 2020-04-12 från <https://sickusablog.com/3d-vision-vs-2d-vision-in-your-machine-vision-application/>

Skatteverket. (2020). *Arbetsgivaravgifter*. Hämtad 2020-05-18 från https://www.skatteverket.se/foretagochorganisationer/arbetsgivare/arbetsgivaravgifterochskatt_eavdrag/arbetsgivaravgifter.4.233f91f71260075abe8800020817.html

Unionen. (2020). *Marknadslön för Systemtestare IT*. Hämtad 2020-05-18 från <https://www.unionen.se/rad-och-stod/om-lon/marknadsloner/systemtestare-it>

Universal Robots. (2020). *Universal Robots: e-Series UR3*. Hämtad 2020-03-18 från <https://www.universal-robots.com/se/produkter/ur3-robot/>

Konferenser

Rooker, M., Hofmann, M., Minichberger, J., Ikeda, M., Ebenhofer, G., Fritz, G., Pichler, A. (2014). *Quality Inspection performed by a Flexible Robot System*. Proceedings of the Austrian Robotics Workshop, 23 maj, 2014, Australien: Linz. Hämtad 2020-05-12 från https://www.researchgate.net/profile/Gerald_Fritz/publication/262539409_Quality_Inspection_performed_by_a_Flexible_Robot_System/links/00b49537f502121039000000.pdf

Yue, X.F., Ren Y.W., Lei, S., Wei, W. (2010). Improving the piston assembly by machine vision recognition technology. *International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering*, 24-26 augusti, 2010, Kina: Changchun. Hämtad 2020-05-12 från <https://ieeexplore-ieee-org.proxy.lib.chalmers.se/document/5609718/authors#authors>

Rapporter

Larsson, M. (2019). *Lönerapport 2019: Löner och löneutveckling år 1913–2018 efter klass och kön*. Landsorganisationen i Sverige. Hämtad 2020-05-18 från [https://www.lo.se/home/lo/res.nsf/vRes/lo_fakta_1366027478784_lonerapport2019_pdf/\\$File/Lonerapport2019.pdf](https://www.lo.se/home/lo/res.nsf/vRes/lo_fakta_1366027478784_lonerapport2019_pdf/$File/Lonerapport2019.pdf)

Uppslagsverk

Nationalencyklopedin. (2020). *Automatisering*. Hämtad 2020-03-05 från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/automatisering>

Nationalencyklopedin. (2020). *Badwill*. Hämtad 2020-05-21 från <https://www-ne-se.proxy.lib.chalmers.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/badwill>

Nationalencyklopedin. (2020). *Goodwill*. Hämtad 2020-05-21 <https://www-ne-se.proxy.lib.chalmers.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/goodwill>

Nationalencyklopedin. (2020). *Industrirobot*. Hämtad 2020-04-08 från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/industrirobot>

BILAGOR

Bilaga 1: Parametrar för Ståhls kostnadsmodell

Fullständig tabell över parameterar till Ståhls kostnadsmodell.

Tabell 15: Beteckningar av parameterar till kostnadsmodell.

S = Seriestorlek (batch) [st.]
N_0 = Nominell antal korrekta detaljer [st.]
N_Q = Nominell antal defekta detaljer [st.]
k_B = Materialkostnad per detalj [kr/st.]
q_Q = Andel kassationer [%.]
q_S = Andel produktionsstillestånd [%.]
k_{CP} = Maskintimkostnad under produktion [kr/tim.]
k_{CS} = Maskintimkostnad vid stillestånd och omställning [kr/tim.]
k_D = Lönekostnad per timma [kr/tim.]
t_0 = Nominell cykeltid per detalj [min.]
t_m = Maskintid [min.]
t_h = Hanteringstid [min.]
t_p = Verkliga förädlingstiden [min.]
t_s = Stilleståndstiden [min.]
T_{su} = Ställtid [min.]
T_p = Tiden för en batch genom ett förädlingssteg [min.]
H = Antal timmar per skift [tim.]
SX = Antal skift per vecka [st.]
X = Antal operatörer [st.]
$K_{personal}$ = Bruttolön personal per timma (A-skatt ingår) [kr/tim.]
$Fk_{personal}$ = Faktor uppskattning lönekostnaden är gånger bruttolönen (uppskattad) [faktor.]
T_{plan} = Produktionsplanerare timmar [tim.]
K_0 = Grundinvesterings värde av utrustning [kr]
a_f = Annuitetsfaktorn [faktor.]
a = Konstant årliga kostnaden (annuitet) [kr/år]
p = Kalkylränta [% i decimal.]
n = Förväntad brukstid i år (den tekniska livslängden) [år.]
k_{UHh} = Underhållskostnaden per timma [kr/tim.]
h_{UH} = Antal drifttimmar per underhållstimme [st.]
k_{ph} = Rörliga maskintimkostnaden vid drift [kr/tim.]
$L_{teknisk}$ = Tekniska livslängden för utrustning i år [år.]
$L_{ekonomiska}$ = Ekonomiska livslängden för utrustningen i år [år.]
$K_{installation}$ = Kostnad att installera utrustning [kr.]

$K_{utrustning} = \text{Grundkostnad robot [kr]}$
$K_{kamera} = \text{Grundkostnad kamera [kr]}$
$n = \text{Antalet kameror [st]}$
$P_{procent} = \text{Procent av antalet felaktiga produkter av en serie som släpps vidare från kvalitetskontrollen ut till kund eller vidare i produktion för bearbetning [%]}$
$P_{släpp} = \text{Merkostnad för felaktiga produkter släpps vidare [kr/st]}$
$P_{fel} = \text{Merkostnaden för felaktiga produkter med kvalitetsbrister som upptäcks i kvalitetskontroll [kr/st]}$
$P = \text{Penalty kostnad för kvalitetsbrister i kvalitet eller i kvalitetskontroll}$

Bilaga 2: Antaganden och källor för grundkostnadsmodell

Antaganden på grundmodellen av kostnadskalkylen och dess källor. Se tabellerna nedan för antaganden av manuell kontroll, 2D-och 3D-kamera och även UR3.

- Maskintid tas som taktid för produktion, antagande att system kan genomföra kontroll under given taktid då ingen tid för kontroll av visionsystem finns och svår att uppskatta.
- Antar att inget kasseras, allt omarbetas. Antagande görs pga. brist på information.
- Antar att 0 operatörer vid kvalitetskontroll för visionsystemen.
- Minskad tid mellan underhåll påverkade ej kalkylen och hålls konstant.
- Utbildningskostnader samt kostnader för belastningsskador redovisades ej av företaget gjorde att kalkylen ej behandlade dessa.
- Materialkostnaden räknas inte med då denna är konstant.
- Procentsats av hur många felaktiga produkter som släpps på hela serien hela serien är lika för manuell, 2D- och 3D-kontroll.
- 2D-kamera använd i kalkyl är Wrist Camera, framtagen av Robotiqs.
- Kollaborativ applikation använd i kalkyl är UR3, framtagen av Universal Robots.
- Prisuppskattning för 3D-kameramodell för de givna dimensionerna föreslogs av företagskontakt och används i kalkyl.
- Procentsats lika för alternativen när det gäller antal felaktiga produkter av en hel serie som kommer ut till kund.

Tabell 16: Antagningar och källor för kostnadsmodell manuella kontrollen.

Parameter (Manuell):	Källa eller antagande:
qQ Andel kassationer [%]	Företagskontakt Volvo Penta AB.
t _m Maskintid [min]	Företagskontakt Volvo Penta AB. Antogs lika med taktid.
H Antal timmar per skift [tim]	Företagskontakt Volvo Penta AB
SX Antal skift per vecka [st]	Företagskontakt Volvo Penta AB
X Antal operatörer [st]	Företagskontakt Volvo Penta AB
K _{personal} Bruttolön personal per timma (a-skatt ingår) [kr/h]	(Larsson, 2019) och (Skatteverket, 2020)
F _{kpersonal} Faktor uppskattning lönekostnaden är gånger bruttolönen [faktor]	(Ståhl, 2010)
Taktid produktion [min]	Företagskontakt Volvo Penta AB
P _{fel} Penalty kostnad för felaktiga produkter som hittats [kr/st]	Antagande med stöd från handledare. 2 takttider i personalkostnader enligt (Larsson, 2019) och (Skatteverket, 2020).
P _{procent} Procentsats av hur många felaktiga produkter som släpps på hela serien [%]	Företagskontakt Volvo Penta AB och antagande att om antal felaktiga produkter kommer till kund utav en serie produkter.
P _{släpp} Penalty kostnad för felaktiga produkter som släpps vidare [kr/st]	Företagskontakt Volvo Penta AB. Kostnad för omarbete inne i fabrik. Ej goodwill kostnader och fraktkostnader inräknat.

Tabell 17: Antagningar och källor för kostnadsmodell 2D-kamera.

Parameter (2D-kamera):	Källa eller antagande:
qQ Andel kassationer [%]	Antar samma som manuella.
t _m Maskintid [min]	Antar samma som manuella.
Takttid produktion [min]	Företagskontakt Volvo Penta AB
p Kalkylränta [% i decimal]	Tidigare kalkyl av (Persson, Posse & Rosner, 2007) och stöd av handledare. 6 %.
n Förväntad brukstid i år [år]	Antar samma som tekniska.
k _{UH} Underhållskostnaden per timma [kr/tim]	Labbexpert 1. Antar samma som UR3. Personalkostnad enligt (Larsson, 2019) och (Skatteverket, 2020).
h _{UH} Antal drifttimmar per underhållstimme [st]	Antar samma som UR3.
k _{ph} Rörliga maskintimkostnaden vid drift [kr/tim]	Antar samma som UR3. Enligt Labbexpert 2 minimal, antog värde utifrån UR3 har effekt på 300 W. Kamera har en spänning på 24 V. Antagning av cirka 0,5 kr/h i kostnad av elförbrukning (Ekonomifokus, 2020).
L _{teknisk} Tekniska livslängden för utrustning i år [år]	Företagskontakt 4. Uppskattning på 10 år.
L _{ekonomiska} Ekonomiska livslängden för utrustningen i år [år]	Antar samma som tekniska.
K _{i installation} Kostnad att installera utrustning [kr]	Labbexpert 1. 6 h och att integrera med UR3 och 30 att integrera med MVV Casat med en personalkostnad enligt (Larsson, 2019) och (Skatteverket, 2020).
K _{kamera} Grundkostnad kamera [kr]	Företagskontakt 4. Offert. Valuta 10,95 SEK för en EUR (Dagens Industri, 2020-04-22).
P _{fel} Penalty kostnad för felaktiga produkter som hittats [kr/st]	Antagande med stöd från handledare. 2 taktider i personalkostnader enligt (Larsson, 2019) och (Skatteverket, 2020).
P _{procent} Procentsats av hur många felaktiga produkter som släpps på hela serien hela serien [%]	Antagande samma som manuella.
P _{släpp} Penalty kostnad för felaktiga produkter som släpps vidare [kr/st]	Företagskontakt Volvo Penta AB. Kostnad för omarbete inne i fabrik. Ej goodwill kostnader och fraktkostnader inräknat.

Tabell 18: Antagningar och källor för kostnadsmodell av 3D-kamera.

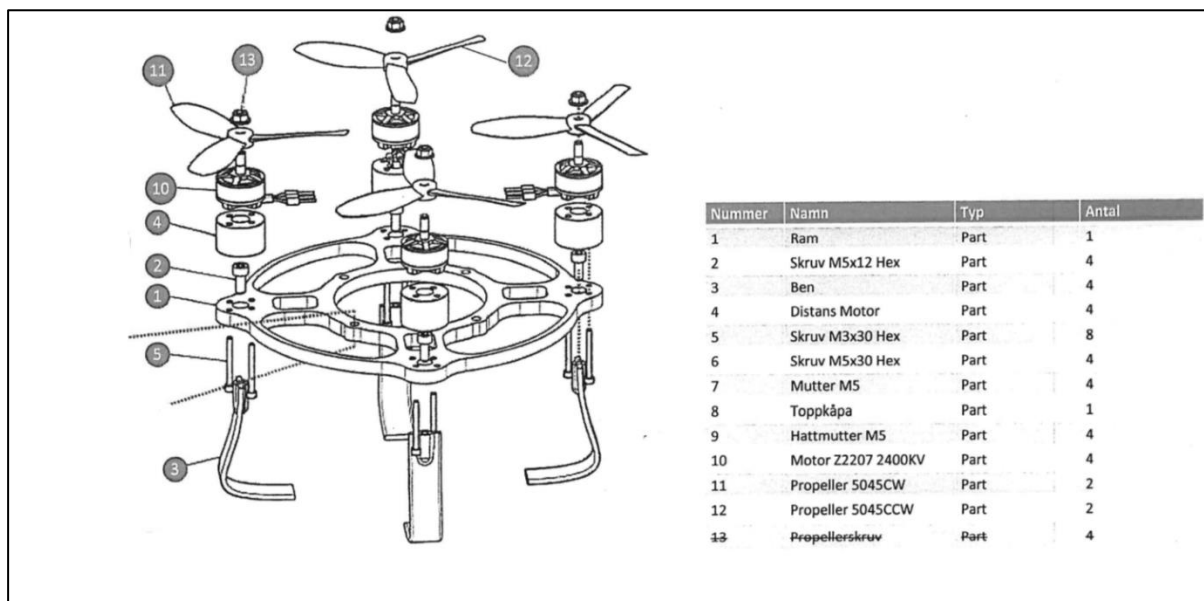
Parameter (3D-kamera):	Källa eller antagande:
q_Q Andel kassationer [%]	Antar samma som manuella.
t_m Maskintid [min]	Antar samma som manuella.
Takttid produktion [min]	Företagskontakt Volvo Penta AB.
p Kalkylränta [% i decimal]	Tidigare kalkyl av (Persson, Posse & Rosner, 2007) och stöd av handledare. 6 %.
n Förväntad brukstid i år [år]	Antar samma som tekniska.
k_{UH} Underhållskostnaden per timma [kr/tim]	Antar samma som UR3. Personalkostnad enligt (Larsson, 2019) och (Skatteverket, 2020). Omkar Salunkhe.
h_{UH} Antal drifttimmar per underhållstimme [st]	Antar samma som UR3.
k_{ph} Rörliga maskintimkostnaden vid drift [kr/tim]	Antar samma som UR3. Enligt Labbexpert 2 minimal, antog värde utifrån UR3 har effekt på 300 W. Kamera har en spänning på 24 V. Antagning av cirka 0,5 kr/h i kostnad av elförbrukning (Ekonomifokus, 2020).
$L_{teknisk}$ Tekniska livslängden för utrustning i år [år]	Företagskontakt 6. Uppskattning på 10 år.
$L_{ekonomiska}$ Ekonomiska livslängden för utrustningen i år [år]	Antar samma som tekniska.
$K_{i\ installation}$ Kostnad att installera utrustning [kr]	Enligt företagskontakt 3 tar 6 veckor för erfaren programmerare att installera kamera, dvs cirka 240 h. Kostnad för programmerare enligt (Unionen, 2020) och (Skatteverket, 2020). Även en kostnad för utvecklingen av applikation på och licenser för att köra. Kostnadsuppskattning. Valuta 10,95 SEK för en EUR (Dagens Industri, 2020-04-22).
K_{kamera} Grundkostnad kamera [kr]	Företagskontakt 3. Kostnadsuppskattning. Valuta 10,95 SEK för en EUR (Dagens Industri, 2020-04-22).
P_{fel} Penalty kostnad för felaktiga produkter som hittats [kr/st]	Antagande med stöd från handledare. 2 takttider i personalkostnader enligt (Larsson, 2019) och (Skatteverket, 2020).
$P_{procent}$ Procentsats av hur många felaktiga produkter som släpps på hela serien hela serien [%]	Antagande samma som manuella.
$P_{släpp}$ Penalty kostnad för felaktiga produkter som släpps vidare [kr/st]	Företagskontakt Volvo Penta AB. Kostnad för omarbete inne i fabrik. Ej goodwill kostnader och fraktkostnader inräknat.

Tabell 19: Antagningar och källor för kostnadsmodell av kollaborativa applikationen UR3.

Parameter (UR3):	Källa eller antagande:
qQ Andel kassationer [%]	Antar samma som manuella.
t_m Maskintid [min]	Antar samma som manuella.
Takttid produktion [min]	Företagskontakt Volvo Penta AB.
p Kalkylränta [% i decimal]	Tidigare kalkyl av (Persson, Posse & Rosner, 2007) och stöd av handledare. 6 %.
n Förväntad brukstid i år [år]	Antar samma som tekniska, 3 år.
k_{UH} Underhållskostnaden per timma [kr/tim]	Ingår i kamerakostnad. Personalkostnad enligt (Larsson, 2019) och (Skatteverket, 2020).
h_{UH} Antal drifttimmar per underhållstimme [st]	Labbexpert 1. 800 h.
k_{ph} Rörliga maskintimkostnaden vid drift [kr/tim]	Ingår i kamerakostnad.
$L_{teknisk}$ Tekniska livslängden för utrustning i år [år]	Labbexpert 2. 3 år vid daglig drift.
$L_{ekonomiska}$ Ekonomiska livslängden för utrustningen i år [år]	Antar samma som tekniska.
$K_{i\ installation}$ Kostnad att installera utrustning [kr]	Labbexpert 1. 15 h att programmera robot, personalkostnad enligt (Larsson, 2019).
$K_{utrustning}$ Grundkostnad robot [kr]	Företagskontakt 4. Offert. Valuta 10,95 SEK för en EUR (Dagens Industri, 2020-04-22).

Bilaga 3: Monteringsanvisning för drönare

Monteringsanvisning för fullständig drönare visas i figur 7.



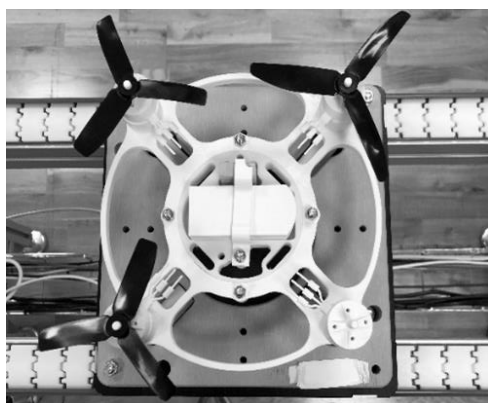
Figur 7: Monteringsanvisning drönare.

Bilaga 4: Bilder på fyra versioner av drönare vid experimenten

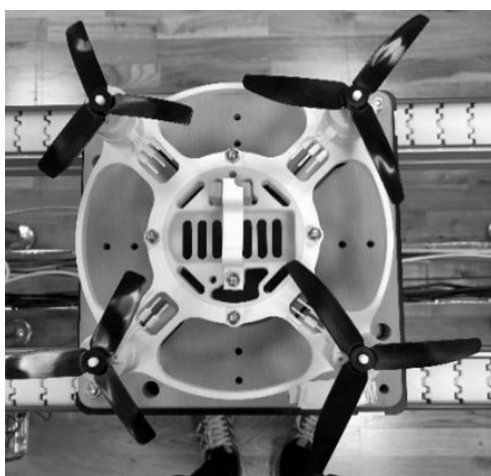
De olika typerna av versionerna av drönare vid experiment och dess tillhörande felaktigt monterade komponent visas i figurerna nedan.



Figur 8: Kompletta drönare.



Figur 9: Drönare, Propell saknas.



Figur 10: Drönare, batteri saknas.



Figur 11: Drönare, batterihållare saknas.

Bilaga 5: Totala kostnader från kalkylering för de olika alternativen

Nedan presenteras värden från kalkyleringen för den manuella kontrollen, 2D- och 3D-kamerakontroll med den kollaborativa applikationen UR3. Även en kalkylering med enbart 3D-kamera som utför en kvalitetskontroll redovisas. Totala kostnader för kvalitetskontroll för olika antal tillverkade produkter mellan 100 och 8000 för respektive kontroll redovisas i tabellerna nedan.

Totala kostnader

Tabell 20 nedan redovisar styckkostanden för varje alternativ för kvalitetskontrollen.

Diagram 6 visulsererar tabell 20 nedan.

Tabell 20: Jämförelse totala kostnader.

Jämförelse totala kostnader [kr]							
Antal tillverkade produkter [st]:	Manuell:	2D-kamera + UR3:	3D-kamera + UR3:	3D-kamera utan UR3 (1 st):	3D-kamera utan UR3 (2 st):	3D-kamera utan UR3 (3 st):	3D-kamera utan UR3 (4 st):
100,00	16 264,71	94 670,19	131 440,74	44 331,47	67 085,35	89 839,24	112 593,13
200,00	32 529,41	94 697,51	131 468,06	44 358,79	67 112,67	89 866,56	112 620,45
400,00	65 058,82	94 752,16	131 522,70	44 413,43	67 167,32	89 921,21	112 675,09
800,00	130 117,65	94 861,45	131 631,99	44 522,72	67 276,61	90 030,50	112 784,38
1 000,00	162 647,06	94 916,09	131 686,64	44 577,37	67 331,25	90 085,14	112 839,03
1 500,00	243 970,59	95 052,70	131 823,25	44 713,98	67 467,86	90 221,75	112 975,64
2 000,00	325 294,12	95 189,31	131 959,86	44 850,59	67 604,48	90 358,36	113 112,25
2 500,00	406 617,65	95 325,93	132 096,47	44 987,20	67 741,09	90 494,97	113 248,86
2 800,00	455 411,76	95 407,89	132 178,44	45 069,17	67 823,05	90 576,94	113 330,83
3 500,00	569 264,71	95 599,15	132 369,69	45 260,42	68 014,31	90 768,20	113 522,08
4 200,00	683 117,65	95 790,40	132 560,95	45 451,68	68 205,57	90 959,45	113 713,34
5 000,00	813 235,29	96 008,98	132 779,53	45 670,26	68 424,15	91 178,03	113 931,92
6 000,00	975 882,35	96 282,21	133 052,75	45 943,48	68 697,37	91 451,26	114 205,14
7 000,00	1 138 529,41	96 555,43	133 325,97	46 216,70	68 970,59	91 724,48	114 478,37
8 000,00	1 301 176,47	96 828,65	133 599,20	46 489,93	69 243,81	91 997,70	114 751,59

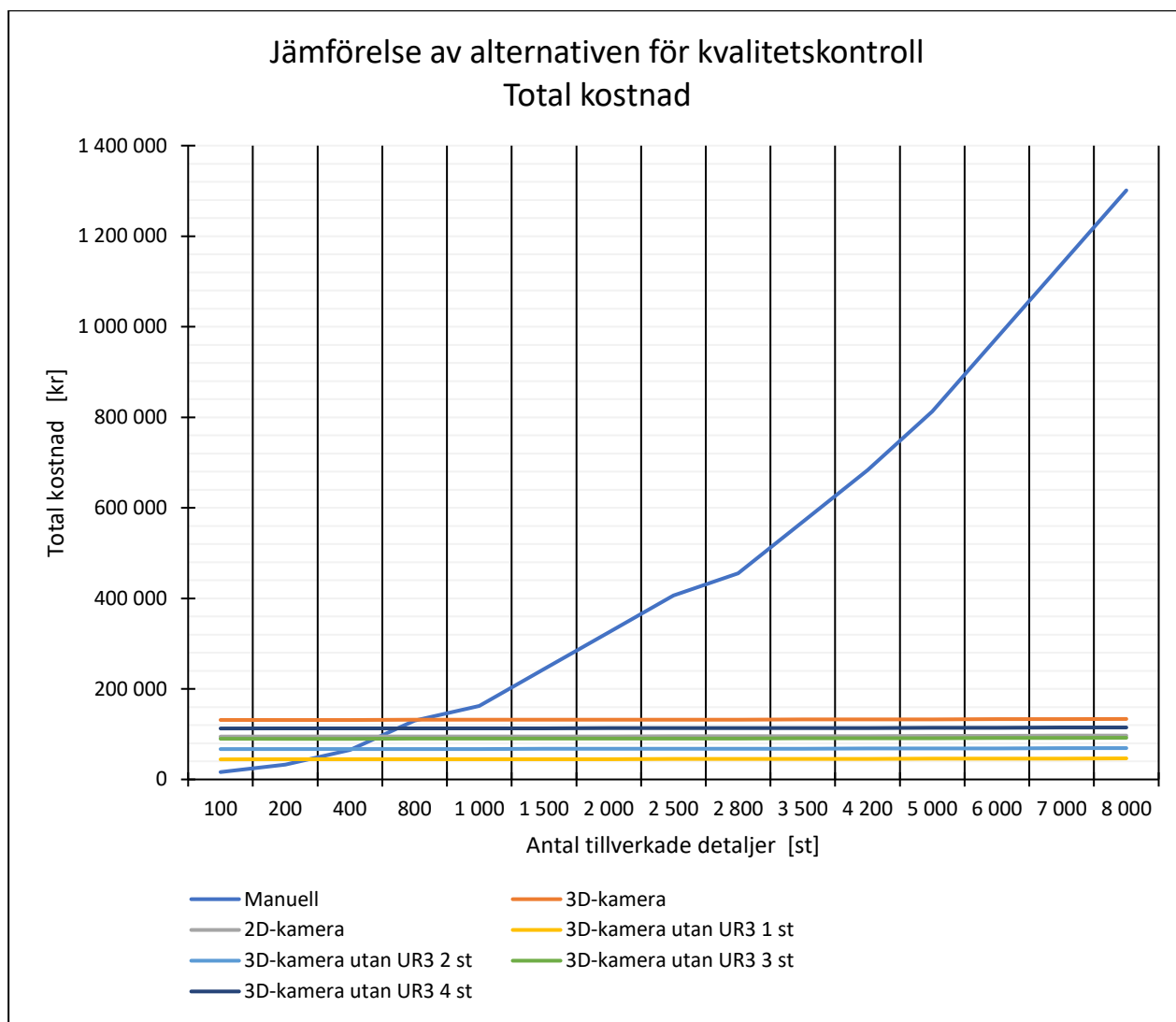


Diagram 6: Jämförelse total kostnad.

Totala kostnader med penalty kostnader

Tabell 21 nedan redovisar styckkostanden för varje alternativ för kvalitetskontrollen med penalty kostnader inräknat.

Tabell 21: Jämförelse totala kostnader med penalty.

Antal tillverkade produkter [st]:	Jämförelse totala kostnader med Penalty kostnader [kr]						
	Manuell:	2D-kamera + UR3:	3D-kamera + UR3:	3D-kamera utan UR3 (1 st):	3D-kamera utan UR3 (2 st):	3D-kamera utan UR3 (3 st):	3D-kamera utan UR3 (4 st):
100,00	29 052,74	107 458,23	144 228,77	57 119,50	79 873,39	102 627,28	2 981 603 709,91
200,00	58 105,48	120 273,58	157 044,13	69 934,86	92 688,75	115 442,63	6 707 849 989,77
400,00	116 210,97	145 904,30	182 674,84	95 565,58	118 319,46	141 073,35	16 394 270 259,31
800,00	232 421,93	197 165,73	233 936,28	146 827,01	169 580,89	192 334,78	44 702 821 637,70
1 000,00	290 527,42	222 796,45	259 566,99	172 457,72	172 858,93	217 965,50	63 324 952 746,56
1 500,00	435 791,12	286 873,24	323 643,78	236 534,51	259 288,40	282 042,29	122 911 525 492,69
2 000,00	581 054,83	350 950,03	387 720,57	300 611,30	323 365,19	346 119,08	201 114 162 487,39
2 500,00	726 318,54	415 026,82	451 797,36	364 688,09	387 441,98	410 195,87	297 932 863 730,66
2 800,00	813 476,76	453 472,89	490 243,44	403 134,17	425 888,05	448 641,94	364 959 795 315,94
3 500,00	1 016 845,96	543 180,40	579 950,94	492 841,67	515 595,56	538 349,45	547 418 458 962,91
4 200,00	1 220 215,15	632 887,90	669 658,45	582 549,18	605 303,07	628 056,95	766 364 608 537,08
5 000,00	1 452 637,08	735 410,77	772 181,31	685 072,04	707 825,93	730 579,82	1 061 267 333 675,56
6 000,00	1 743 164,50	863 564,35	900 334,89	813 225,62	835 979,51	858 733,40	1 496 913 571 393,50
7 000,00	2 033 691,91	991 717,93	1 028 488,47	941 379,20	964 133,09	986 886,98	2 007 024 066 105,72
8 000,00	2 324 219,33	1 119 871,51	1 156 642,05	1 069 532,78	1 092 286,67	1 115 040,56	2 591 598 817 812,22

Detta examensarbete är skrivet på Stena Innovation Industry Lab på Chalmers Universitet och är en del av ett samarbete mellan Stena Innovation Industry Lab, Volvo Penta AB och MVV Casat. På grund av Covid-19 pandemin skedde allt arbete på distans.

Syftet med rapporten är att ta fram investeringsbedömning på automatisering av kvalitetskontroll för jämförelse av befintlig manuell kvalitetskontroll samt undersöka vilken metod för automatisering är lönsammast.

För att skapa kunskap om området gjordes nulägesanalys genom intervjuer och samtal med intressenter samt sökning på diverse metoder för automatisering av kvalitetskontroller. Rapporten behandlar två typer av visionsystem med 2D-kamera eller 3D-kamera i kombination med kollaborativ applikation.

Experiment utfördes med visionsystem bestående av kollaborativ applikation och 2D-kamera medan 3D-kameran behandlades teoretiskt. Experimentet med visionsystemet samt tidigare studier resulterade i att upptäckt av defekter är möjligt.

Resultaten från investeringebedömningen visade att det kan vara lönsamt att integrera visionsystem med kvalitetskontroll beroende på antal producerade produkter. Även syftet med kvalitetskontrollen väger in i lönsamheten samt vilken av teknikerna som är optimal.

