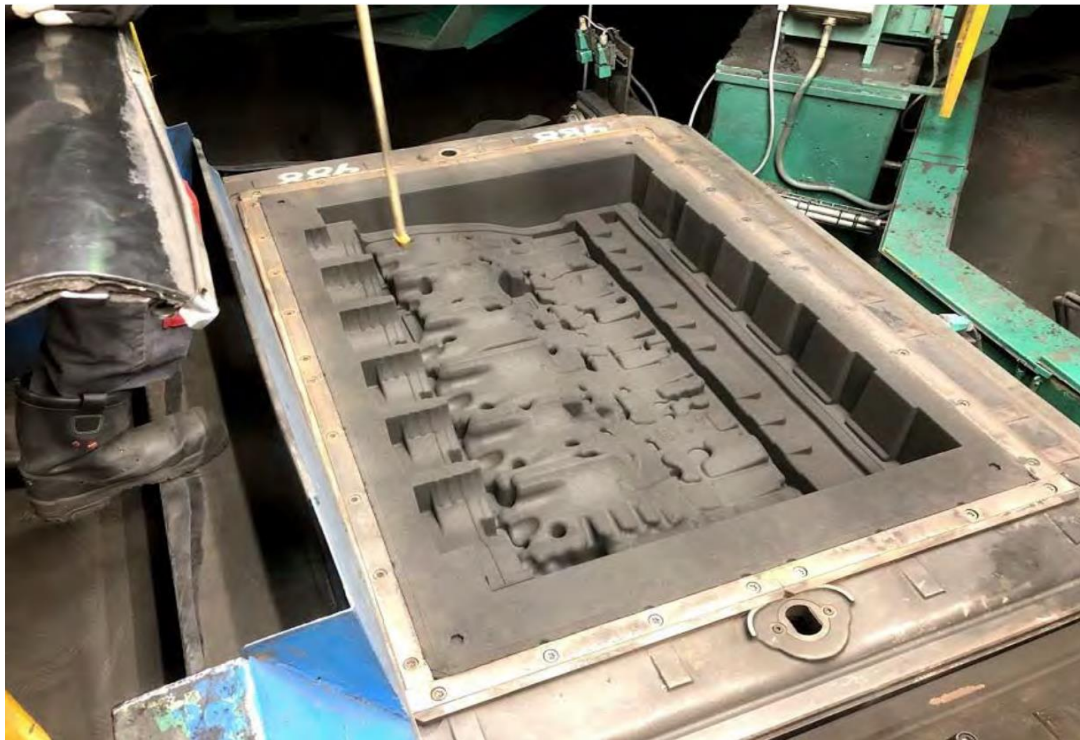




CHALMERS



Automatisk Formavsyrning Volvo Powertrain Gjuteriet i Skövde

- En förstudie

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Mekanik

Kristian Bäck
Anton Hagman

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH
MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2020
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE INOM HÖGSKOLEINGENJÖRSPROGRAMMET MEKATRONIK

Förstudie av automatisk formavsyning

Kristian Bäck
Anton Hagman



CHALMERS

© Kristian Bäck
© Anton Hagman

Handledare/Examinator: Torbjörn Ylipää, Industri- och Materialvetenskap

Examensarbete 2020 institutionen för Industri- och Materialvetenskap

Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefonnummer + 46 31 772 1000

Göteborg, Sweden 2020

Förord

Detta examensarbete är en sista del på högskoleingenjörsprogrammet inom mekatronik på Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg. Arbetet inleddes efter möte med Jonas Åberg på Volvo Powertrain i Skövde. Arbetet genomfördes under våren/sommaren 2020 och handlar om en förstudie av en automatisk formavsyning på gjuteriet.

Vi vill tacka Volvo Powertrain och vår handledare på Volvo Jonas Åberg, för att ha låtit oss utföra detta examensarbete trots den rådande situationen med Covid-19 och för att de hjälpt oss göra det bästa av situationen. Ett stort tack även till Jan-Erik Wahlström och Gustav Ahlander för att ha hjälpt oss med det praktiska ute i produktionen. Vi skulle även vilja tacka vår examinator Torbjörn Ylipää för den hjälp vi fått.

Kristian Bäck
Anton Hagman

Sammanfattning

I dagsläget på Volvo Powertrains gjuteri i Skövde står en operatör och avsynar alla sandformar som tillverkas för att gjuta i. Detta är ett monotont arbete som även innehar en del fysiska säkerhetsrisker då produktionslinan är av gammal modell. I framtiden ska Volvo starta en ny produktionslina i ett nytt gjuteri och då får det inte längre av säkerhetsskäl finnas en operatör som står och avsynar formar ute i produktionen. Detta ska då ske på distans och allra helst utföras utan en fysisk operatör som bedömer varje enskild form. Avsyningen ska automatiseras.

Arbetet är en förstudie om det är möjligt att automatisera avsyning av sandformar. För att undersöka denna möjlighet har flera leverantörer av 3D-skanning och visionssystem kontaktats med en "Request for information". En kravspecifikation togs fram i början av arbetet för att utvärdera olika lösningar. Leverantörerna utvärderades med hjälp av en elimineringsmatris och Pughs metod med kravspecifikationen som grund för utvärderingen. Test på plats i fabriken utfördes även med den leverantören vars lösning bedömdes vara mest lämplig. Från testet kunde slutsatsen dras att det är möjligt att flytta operatören för att avsyna på distans. Slutsatsen kunde även dras att det är möjligt att automatisera avsyningen med hjälp av AI baserade visionssystem.

Abstract

In the foundry at Volvo Powertrain in Skövde the quality inspection of sand moulds used for casting iron is currently done manually by an operator. This is a monotonous work with some safety risks due to the age of the production line. Volvo is planning on constructing a new foundry where the safety risks of manual quality inspection is unacceptable. To solve this issue Volvo is planning to move the operator away from the inspection station to inspect the moulds from a remote location using visual aid. Volvo however is also looking into the possibility of fully automating the quality inspection.

This thesis is a pre-study concerning the possibility of automating the quality inspection of sand moulds. To explore the different possibilities, suppliers of 3D-scanning and vision systems were contacted using a “Request for information”. To evaluate different solutions a requirements specification was developed. The suppliers were evaluated by using an elimination matrix and Pughs matrix with the requirements specification as the foundation for the evaluation process. After the evaluation process a test was conducted with the supplier of the solution deemed most fitting. From this test the conclusion could be drawn that it is possible to move the operator away for remote quality inspection. The test also showed that it would be possible to automate the quality inspection using AI based vision systems.

Förkortningar

CAD – Computer aided design. Programvara för att utföra design och ritningar virtuellt.

FMEA – Failure Mode Effect Analysis. En metod för att analysera risker vid fel hos en produkt eller anläggning.

PLC – Programmable Logic controller. Ett styrsystem som används på industrier för att automatisera och styra processer.

HMI – Human Machine Interface. En panel för styrning och övervakning av olika processer.

AI – Artificial Intelligence. Ett program som är självlärande genom att analysera stora mängder data.

Innehållsförteckning

1.	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte.....	1
1.3	Avgränsningar	1
1.4	Precisering av frågeställningar	2
2	Teoretisk referensram.....	3
2.1	Gjutning i sandformar (Formgjutning).....	3
2.1.1	Sandberedning	3
2.1.2	Formpressning	3
2.1.3	Gjutning.....	4
2.1.4	Efterbehandling	4
2.2	3D skanning.....	4
2.4	Visionssystem.....	5
2.4.1	AI-baserade visionssystem.....	5
3	Metod	7
3.1	Request for Information	7
3.2	Kravspecifikation.....	7
3.3	Elimineringsmatris	7
3.4	Pughs metod	8
3.5	FMEA.....	8
3.6	CAD 3D-mätningar	8
4	Analys av situationen	10
4.1	Typer av defekter	10
4.2	Avsyrning i dagsläget	10
4.3	Avsyrning i framtiden.....	11
5	Genomförande	12
5.1	Informationssökning.....	12
5.1.1	Intervjuer	12
5.1.2	Undersökning av företag	12
5.1.3	Request For information.....	13
5.2	Kravspecifikation.....	13
5.3	Kontakt med företag	14
5.3.1	Cascade.....	14
5.3.1.1	Delkomponenter system.....	14
5.3.2	Mabema.....	14
5.3.2.1	Delkomponenter system.....	15

5.3.2.2	Tjänster.....	15
5.3.3	Unibap.....	15
5.3.3.1	Delkomponenter system.....	16
5.3.3.2	Tjänster.....	16
5.3.4	Faro.....	16
5.3.5	OEM Automatic.....	17
5.3.6	Recab.....	17
5.3.6.1	Delkomponenter system.....	17
5.3.7	Irida Labs.....	17
5.3.7.1	Delkomponenter system.....	18
5.3.8	Stemmer Imaging.....	18
5.3.8.1	Delkomponenter system.....	18
5.3.9	Isra Vision.....	19
5.4	Utvärdering av Lösningar.....	19
5.4.1	Elimineringsmatris.....	19
5.4.2	Pughs metod.....	21
5.5	Olika teknikers styrkor och svagheter.....	22
5.5.1	Visionssystem.....	22
5.5.1.1	Artificiell Intelligens.....	23
5.5.2	Structured light.....	23
5.5.3	Lasertriangulering.....	23
5.6	Test med leverantör.....	23
5.6.1	Förberedande för test.....	23
5.6.2	Utförande av test.....	24
5.7	FMEA analys.....	30
6	Resultat.....	31
6.1	Resultat test med leverantör.....	31
	Checklista ”proof of concept”.....	32
6.2	Besvaring av frågeställningar.....	33
	Flytta operatör.....	33
	Geometrisk bedömning.....	33
	Visuell bedömning.....	33
	Kombinering av mätteknisk utrustning.....	33
7	Diskussion.....	34
7.1	Miljö och etik.....	34
7.2	Fortsatt arbete.....	34
8	Slutsats.....	36

Bilaga A – Typer av defekter	37
Bilaga B – Request For Information	40
Bilaga C Kravspecifikation	43
Referenser.....	47

1. Inledning

Industrin har genom tiden blivit allt mer avancerad. Nya produkter och lagkrav kräver mer komplexa processer. Att automatisera anläggningen är ett steg som många företag tar för att följa med i utvecklingen och vara konkurrenskraftiga. Att hålla en god kvalitet i produktionen är också en bidragande orsak till automatisering.

Inom koncernen Volvo Group finns ett eget gjuteri [1]. Detta ligger beläget i Volvos fabriker i Skövde. Att för en tillverkare driva ett eget gjuteri har flera fördelar, bland annat så blir produktutvecklingen en mer integrerad och lätthanterlig process när allt som behövs finns på plats utan hjälp från utomstående parter. Tillverkningen går även att styra på ett mer lätthanterligt sätt. Att Gjuteriet i Skövde är Volvo Groups enda gjuteri gör att fabriken blir en viktig del i koncernen.

1.1 Bakgrund

Volvo tillverkade sin första lastbil år 1928 [1]. Sedan dess har Volvo Trucks blivit Europas största tillverkare av tunga lastbilar. Fabriken i Skövde grundades år 1868 som Sköfvde Gjuteri & Mekaniska Verkstad [2]. Då tillverkades det huvudsakligen ramsågar, järnspisar och turbiner och motorer började tillverkas år 1907. Under 1920-talet blev Volvo AB en viktig kund och år 1935 köpte Volvo AB upp fabriken för att få en egen motorfabrik.

Nu investerar Volvo Powertrain i Skövde 1.6 miljarder kronor i sitt gjuteri [3]. En del av denna investering är att automatisera avsyning av sandformarna som motorblock, cylinderhuvud och svänghjul gjuts i. Sandformarna måste ha rätt geometri, men också rätt ytstruktur. Sanden måste vara rätt bunden så den inte faller samman av den 1400 °C varma gjutjärnsmältan som hålls i formen. Detta kombinerade problem är inte löst och avsyningen sker därför idag helt manuellt. Det finns troligen ingen färdig existerande lösning på marknaden.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att utföra en förstudie för att undersöka om det är möjligt att automatisera avsyningen av sandformar genom att granska tillgänglig teknik som finns ute på marknaden idag. Möjliga lösningsförslag ska utvärderas efter sina styrkor och svagheter. För att utvärdera lösningsförslagets egenskaper och utvecklingspotential ska ett flertal ingenjörsmässiga metoder som kravspecifikation, elimineringsmatris och Pughs metod användas.

1.3 Avgränsningar

Arbetet innefattar inte att ta fram några helt nya tekniker som inte redan finns på marknaden. Det handlar om att utvärdera befintliga lösningar och analysera om de tillsammans kan lösa problemet.

Ett helt komplett system ska inte levereras utan arbetets huvudsyfte är att bedöma om en helt automatiserad avsyning är möjlig att genomföra. Detta kan till exempel göras genom att en mindre del av en form analyseras med tillgängliga tekniker.

1.4 Precisering av frågeställningar

Frågeställningarna som tagits fram i samverkan med Volvo är:

1. **Flytta operatören**

I nuvarande situation står en operatör och gör en okulär besiktning utav sandformen. Går det att utföra samma kontroll med bibehållen avsyningskvalité från en skärm eller liknande med hjälp av en eller flera kameror?

2. **Geometrisk bedömning**

Går det med hjälp utav mätteknisk utrustning jämföra verkligheten med en CAD-ritning i 3D och därefter bedöma om geometriska defekter finns på sandformen?

Geometriska defekter kan bestå utav brytning, då delar av sanden lossnat. Även lös sand som ligger i formen bidrar till en geometrisk defekt.

3. **Visuell bedömning**

Går det med visionssystem göra en bedömning om fysiska defekter som till exempel ej korrekt bunden sand eller sprickor finns på sandformen?

4. **Kombinering av mätteknisk utrustning - avsyning**

Går det med hjälp utav den geometriska bedömningen och den visuella bedömningen skapa en automatiserad avsyning?

2 Teoretisk referensram

I detta stycke tas all den teori som är nödvändig för ämnet upp. Detta för att skapa en ökad förståelse.

2.1 Gjutning i sandformar (Formgjutning)

Gjutning i sandformar är en av de äldsta metoderna när det kommer till gjutning [4]. Det är en tillverkningsmetod där en smälta, oftast en metall, hälls i en form och därefter stelnar och blir fast. För att forma metallen behövs någon typ av form. Denna gjutform består utav sand som blivit behandlad på olika sätt för att kunna hålla sin geometri och stå emot de höga spänningar som uppstår då flytande metall hälls i formen.

För att skapa en ihålig detalj används så kallade kärnor [5]. Dessa består också av sand och läggs in mellan sandformarna för att skapa hålrum i gjutgodset.

2.1.1 Sandberedning

För att sanden i sandformarna ska behålla formen under gjutning behöver den behandlas innan [6]. Detta sker i flera steg. Olika ämnen och tillsatser tillsätts. Det är också viktigt att sanden har rätt temperatur och rätt fuktighet. Allt detta regleras innan sanden går vidare till nästa fas i processen.

2.1.2 Formpressning

När sanden har fått rätt materialegenskaper är det dags för den att hamna i en så kallad flaska. En flaska är en form som sanden packas i [7]. Vanligtvis vid sandformsgjutning skapas två sandformsdelar för att gjuta ett objekt, en underdel och överdel [8]. För att forma dessa delar placeras brättplåtar i flaskhalvorna. På brättplåtarna sitter en modellhalva av det föremål som ska gjas. När brättplåtarna placerats i flaskorna fylls de med sand. Därefter pressas sanden mot brättplåten och får önskad form av modellhalvan. Sedan dras brättplåten och flaskan isär vilket brukar kallas för dragning. Efter dragning är formhalvorna klara att gå vidare i processen. Med hjälp av den tidigare sandberedningen bibehåller sanden den nya formen efter pressning och dragning.



Figur 1: En sandform (halva). Från [3]. Återgiven med tillstånd.

2.1.3 Gjutning

När sandformarna och kärnorna är färdiga så sätts de två sandformarna ihop tillsammans med kärnorna som ligger emellan för att skapa hålrum [9]. Sedan hålls smältan genom en öppning i formen. Luften pressas ut av smältan via luftöppningar. Filter finns insatta i smältans vägar för att skapa ett lagom tryck och flöde av smältan in i formens olika delar. Sedan inväntas att smältan ska svalna och stelna.

2.1.4 Efterbehandling

När gjutgodset stelnat så avlägsnas sandformarna med diverse hjälpmedel och gjutgodset rengörs från sandrester. Gjutskägg [10] bildas oftast vid kanter mellan formar där smältan kan smita ut då den hålls i formen. Detta skägg avlägsnas mekaniskt efter gjutning. Efter det är gjutgodset redo för fortsatt bearbetning. Denna bearbetning kan bestå av till exempel svarvning eller fräsning. Efter det så är produkten redo för vad den var ämnad till.

2.2 3D skanning

3D-skannrar började användas redan på 1990-talet [11]. Idén bygger från början på 3-axliga CNC fräsar. Mätpinnar användes på dessa maskiner istället för fräshuvuden. Dessa mätpinnar fick gå emot ett placerat föremål i fräsen och koordinaterna vid kontakt mellan mätpinne och mätföremål sparades. Senare kunde alla dessa koordinater sättas ihop i en virtuell värld och på så sätt skapa en digital kopia av det som blev uppmätt av mätpinnen i CNC-maskinen.

3D-skanning går att dela upp i två olika kategorier [11]. Den första brukar kallas för ”contact” och den andra för ”non-contact”. Den första kategorin är den äldsta och är den som finns beskriven i stycket ovan. Den andra som kallas för ”non-contact” är en senare en modernare metod. Metoden bygger istället på teknik där mätutrustningen inte är i fysisk kontakt med mätobjektet.

”Non-contact” 3D-skanning är idag den mest använda metoden [11]. En av teknikerna som används är den så kallade ”structured light” tekniken. Med hjälp av en ljuskälla projiceras ett rutnät eller annat mönster på objektet som ska skannas. Detta strukturerade mönster får olika form. Exempelvis om det skulle vara en rund form blir linjerna förvrängda sett till kamerans perspektiv. Kameran ska vara parallellförskjuten gentemot rutnätets utstrålningspunkt. Detta rutnät processas sedan med hjälp av avancerade realtidsberäkningar och trigonometri för att mjukvaran sedan ska kunna räkna ut ett djup på linjen. Varje pixel som hamnar på en linje blir en mätpunkt, desto högre upplösning kameran har desto fler mätpunkter kan tas in i beräkningen. Detta leder till att en högre upplösning på kameran ger ett bättre och mer noggrant resultat av skanningen.

En annan teknik vid ”non-contact” 3D-skanning är när det istället sätts ut många prickar på objektet med hjälp av laser [12]. En kamera placerad på samma linje som utgångspunkten för lasern har ett uppmätt avstånd mellan varandra. Detta avstånd används sedan till att triangulera avstånden mellan laser, kamera och objekt, vilket gör att avståndet mellan kamera och laserpunkter kan beräknas. Detta brukar kallas för lasertriangulering.

I båda fallen utnyttjas att ljusets hastighet är konstant. Med hjälp av det så kan avstånd mellan lasern och mätobjekt på ett smidigt sätt uppmätas. Tid tas från att utskickat ljus reflekteras och därefter kommer tillbaka till ljuskällan [12]. Det fungerar med samma princip som en radar.

2.4 Visionssystem

Visionssystem innebär användandet av kameror för att bedöma till exempel form, färg eller om ett föremål exempelvis ligger rätt placerat på en produktionslina [13]. Efter att ett föremål granskats av visionssystemet brukar mätresultatet användas för att bedöma vad som ska ske med föremålet, till exempel om det ska kasseras eller skickas vidare till bearbetning. Visionssystem brukar inom produktion användas för avsyning, robotstyrning, processtyrning och andra övervakningsfunktioner. Visionssystem har blivit stora inom avsyning då de i många fall kan avsyna snabbare och med högre kvalitet än vad en operatör kan.

2.4.1 AI-baserade visionssystem

I traditionellt programmerade visionssystem måste utvecklaren grundligt definiera och verifiera visionssystemets alla egenskaper manuellt [14]. Med ett AI-baserat visionssystem som har självlärande algoritmer kan visionssystem skapas snabbare än med traditionell programmering. Detta är möjligt genom att använda självlärande algoritmer som analyserar stora mängder bilder som är kategoriserade enligt vad visionssystemet ska kategorisera. Algoritmerna kan vara självlärande genom att använda neurala nätverk [15]. Neurala nätverk är datastrukturer som efterliknar neuroner i hjärnan för att ha förmågan att lära sig. När AI-algoritmerna fått tillräckligt med träningsbilder kommer systemet självmant kunna kategorisera bilder [14]. Denna typ av visionssystem har tidigare varit svåra att träna då det behövts upp emot 100 000 bilder per typ av kategori för att nå en acceptabel igenkänningsfaktor. Utvecklingen av AI-baserade visionssystem har lett till system som är förtränade. Förtränade AI-baserade visionssystem behöver betydligt mindre data då det kan räcka med ett 10 till 100-tal bilder [14] [16].

3 Metod

För att besvara frågeställningarna ska ett antal ingenjörsmässiga metoder användas. Här redogörs de metoder som ska användas.

3.1 Request for Information

För att få information om möjliga tekniker till den automatiserade avsyningen ska en så kallad ”request for information” (RFI) användas. En RFI är ett dokument som används av företag för att samla in information från möjliga leverantörer för att förbereda en eventuell upphandling [17]. En RFI ska innehålla tydliga frågor för att säkerställa att leverantören förstår och svarar med relevant information. Denna metod brukar användas som ett första steg i att skapa en relation mellan möjliga leverantörer och kund.

3.2 Kravspecifikation

För att inga missförstånd eller andra oenigheter ska uppstå är det viktigt att i ett tidigt stadiet i projektet få de relevanta krav och önskemål som ställs på processen nedskrivna. Detta skrivs ner i ett dokument som kallas för kravspecifikation [18]. Detta dokument kan senare användas om problem uppstår för att se och jämföra verkligheten med de krav som är satta på systemet. En kravspecifikation går även att ändra på under arbetets gång. Saker som inte tidigare var självklara kan uppenbaras senare och på så sätt kan en del krav behöva omformuleras eller helt ändras. Det är viktigt att alla inblandade blir delgivna vid ändringar i kravspecifikationen. Kravspecifikationen ska i detta arbete användas som en grund för utvärdering av olika lösningar.

3.3 Elimineringssmatris

Det första steget som ska användas för att utvärdera lösningar är en elimineringssmatris. Elimineringssmatris brukar användas som det första steget för att sälla bort lösningar som inte uppfyller kraven på systemet [19]. En elimineringssmatris används genom att jämföra möjliga lösningar med kraven som ställs i kravspecifikationen. Om någon lösning inte uppfyller alla krav förkastas den. I elimineringssmatrisen ska även lösningar som uppfyller kraven, men inte kan realiserats förkastas. Lösningar som är mindre bra med avseende på skäl som ergonomi, miljö och säkerhet kan även förkastas i elimineringssmatrisen.

	Elimineringssmatris					Beslut
	Krav 1	Krav 2	Krav 3	Krav 4	Krav 5	
Lösning A	ja	ja	nej			Släng
Lösning B	nej					Släng
Lösning C	ja	ja	ja	ja	ja	Behåll
Lösning D	ja	ja	ja	nej		Släng
Lösning E	ja	ja	ja	ja	ja	Behåll

Figur 2: ett exempel på en elimineringssmatris

3.4 Pughs metod

Efter lösningar som inte uppfyller kraven har sållats bort ska Pughs metod användas för att bedöma vilka lösningar som är bäst. Pughs metod används genom att en lösning väljs som referenslösning, gärna den gamla lösningen om det är vidareutveckling [19]. Därefter väljs kriterierna som ska jämföras. Dessa kriterier kan vara önskemål från kravspecifikationen. Att höja kraven i kravspecifikationen och sedan använda de som kriterier är även en möjlig strategi. När kriterierna valts jämförs alla lösningar med referenslösningen. Matrisen fylls i med (+) om lösningen är bättre, (0) om den är likvärdig och (-) om lösningen är sämre än referenslösningen i utvärderat kriterium. Sedan adderas alla jämförelser för att få lösningens värde. Kriterierna viktas med en lämplig faktor beroende på deras bedömda vikt.

Kriterium		Lösningar					
Kriterier:	Vikt:	Lösning A (referens)	Lösning B	Lösning C	Lösning D	Lösning E	Lösning F
Kriterie A	4	0	+	-	0	+	+
Kriterie B	1	0	+	+	+	-	+
Kriterie C	2	0	-	0	+	-	0
Kriterie D	1	0	-	-	+	-	-
Kriterie E	3	0	+	+	+	-	0
Kriterie F	1	0	+	0	+	+	0
summa +		0	9	4	8	5	5
summa 0		0	0	3	4	0	6
summa -		0	3	5	0	7	1
Värde		0	6	-1	8	-2	4
Rangorning		4	2	5	1	6	3
Gå vidare?		Nej	Ja	Nej	Ja	Nej	Ja

Figur 3: Ett exempel på en viktad matris enligt Pughs metod

3.5 FMEA

För att undersöka den valda lösningen djupare ska "Failure mode and effect analysis" (FMEA) användas. FMEA används för att bedöma risker hos en produkt eller hos en anläggning [19]. Risker som kan bedömas med hjälp av FMEA är bland annat funktionsmässiga risker, personskaderisker, affärsmässiga risker och miljörisker.

Den mallen av FMEA som ska användas består av fyra delar. Felkaraktistik beskriver vad felet är, hur felet orsakas och vad felet resulterar i [20]. Det andra steget är att utföra en nulägesanalys. Där kommer en faktor mellan 1–10 användas, där 1 är bästa fall och 10 är värsta fall. Detta kommer utvärderas på 3 olika faktorer. Faktorerna som ska bedömas är sannolikhet att felet inträffar, felets allvarlighet och hur lätt det är att upptäcka felet. De tre faktorerna multipliceras sedan ihop för att få ett risktal. I den tredje delen ska rekommenderade åtgärder beskrivas för att minska risktalet. Sedan ska i sista delen en analys efter åtgärd utföras på samma sätt som nulägesanalysen.

3.6 CAD 3D-mätningar

För att mäta upp avstånd på den fysiska avsyningsstationen i fabriken ska en 3D-modell av fabriken användas. Denna 3D-kopia av verkligheten har skapats med hjälp av utrustning från ett företag vid namn FARO. I modellen ska avstånd som är relevanta för projektet plockas ut.

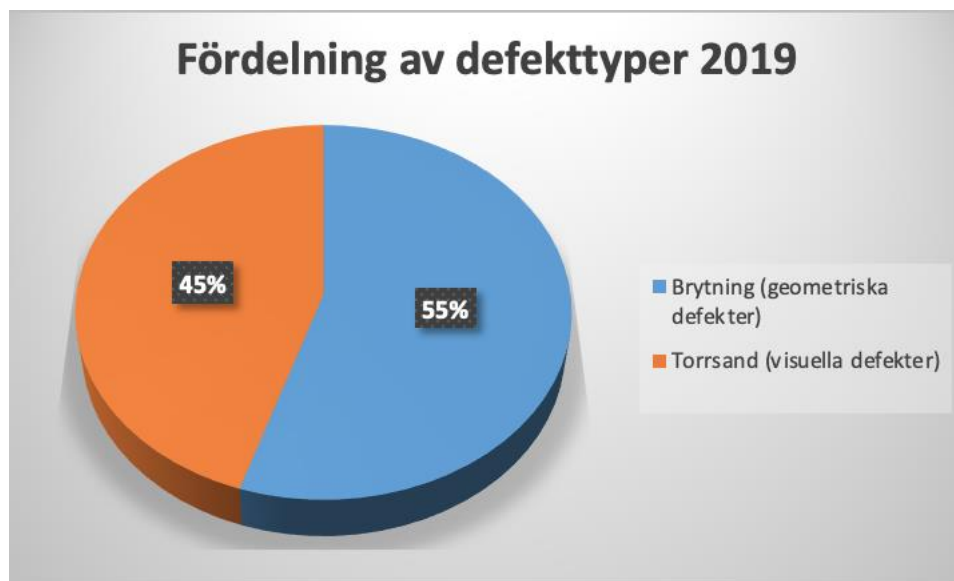
Dessa mått kan vara hur bred och lång avsyningsstationen är. En annan viktig faktor är även höjden över formarna som går att använda. Detta kan vara relevant då fästpunkter för utrustning inte kan placeras hur högt som helst och annan utrustning som ska finnas där inte får sticka upp högre än ett visst mått.

4 Analys av situationen

Genom att samla in data, prata med operatörer och ingenjörer, kunde en god överblick över den nuvarande avsyningen och även Volvos mål med den framtida avsyningen erhållas.

4.1 Typer av defekter

Under 2019 var den vanligaste typen av defekt brytningar [21]. Brytningar innebär att en bit sand har lossnat från formen (se bilaga A). Andra typer av defekter som ska undersökas är visuella defekter. Dessa defekter innefattar defekter som är synliga men inte utanför det geometriska toleransområdet. Torr sand är en av de visuella defekterna och syns genom en färgskiftning i sanden (se bilaga A). Alla nämnda typer av defekter kommer att föras vidare till gjutgodset vid gjutning.



Figur 4: Fördelning av defekttyper 2019. Statistik från [21]

4.2 Avsyning i dagsläget

I dagsläget avsynas sandformarna manuellt genom att en operatör lutar sig över sandformarna (se figur 5). En operatör har ungefär 30 sekunder på sig att bedöma om det finns några defekter på formen. Om operatören hittar en defekt så markerar operatören defekten på en operatörspanel som visar en CAD-bild av hela formen indelad i ett rutnät. Om operatören har möjlighet att rätta till defekten på plats så behöver formen inte kasseras. Går defekten inte att korrigera kasseras formen.



Figur 5: Avsyningsstation (tomma flaskor)

4.3 Avsugning i framtiden

I framtiden önskar Volvo en avsugning där allt sker per automatik. All bedömning som i nuvarande tillstånd utförs av en operatör ska med hjälp av tekniska lösningar kunna utföras utan inverkan av en operatör som bedömer varje enskild form. Anledningarna till att Volvo vill införa denna automatisering är flera. Det främsta skälet är säkerheten. Att en operatör står lutandes över sandformar som åker förbi är inte bra rent säkerhetsmässigt, men heller inte ergonomiskt. Volvo vill också öka chanserna för att alla defekter ska bli upptäckta på avsyningsstationen. I längden blir även en automatiserad avsugning mer kostnadseffektiv, vilken kan leda till större ekonomisk vinst för företaget.

Volvo vill till en början flytta bort operatören från avsyningsstationen för att avsyna från distans med hjälp utav kamerautrustning. Utöver detta vill Volvo att ett system för automatisk formavsugning ska implementeras. Detta automatiska system ska till en början stödja operatören tills det har bevisats att systemet klarar avsugning helt autonomt.

5 Genomförande

Detta avsnitt beskriver genomförandet av arbetet. Vad som gjordes och i vilken ordning allt utfördes i. Här presenteras även kravspecifikationen som är en grundpelare i projektet.

5.1 Informationssökning

För att kunna konkretisera problemet med avsyningen var det första steget att samla in så mycket information om avsyningsstationen som möjligt. Möjliga tekniker att avsyna med och företag som levererar dessa undersöktes även.

5.1.1 Intervjuer

Det första steget i arbetet var att ordentligt förstå avsyningsprocessen. För att få så mycket kunskap som möjligt om avsyningen hölls intervjuer med operatörer och ingenjörer. I intervjuerna med operatörerna ställdes praktiska frågor om avsyningen. Operatörerna frågades vart det var viktigt att kolla på formen, vad som hände när en defekt hittades och om alla formar var lika viktiga att inspektera grundligt. Operatörerna visade även hur avsyningen utfördes på det mest effektiva sättet.

Ingenjörerna fick frågor om statistik på defekter, hur den nya avsyningen skulle se ut och vilka tekniska verktyg som var användbara för ett projekt av den här typen. Fler frågor var planerade att ställas genom intervjuer, men utbrottet av Covid-19 resulterade i att både ingenjörer och operatörer blev permitterade under stora delar av projektet.

5.1.2 Undersökning av företag

Först skapades en överskådlig bild av hur avsyningen fungerade i dagsläget och målen Volvo hade med framtidens avsyning. Efter det påbörjades en sökning efter relevanta tekniker. Typen av företag som huvudsakligen letades efter var företag med erfarenhet inom visionssystem och 3D-scanning. För att hitta dessa företag användes huvudsakligen sökmotorer på internet och rekommendationer från ingenjörer. Underhållsmässan på Svenska mässan, Gothia Towers, besöktes även för att hitta relevanta företag inom avsyning. På underhållsmässan hittades företag inom AR (augmented reality) teknik, men var inget som bedömdes tillräckligt relevant för att gå vidare med. Från internet och rekommendationer hittades totalt 19 företag att kontakta. Dessa var:

- OEM Automatic: Grossist med applikationsstöd.
- Consat: ingenjörskonsult med erfarenhet inom visionssystem.
- UNIBAP: Leverantör av AI Visionssystem.
- Keyence: Leverantör av 3D-scanning och visionssystem.
- Cascade: Ingenjörsfirma med erfarenhet inom automatiserad inspektion. Partner till GOM som producerar 3D-skanningsutrustning.
- Faro: Leverantör av ”structured light” 3D-mätning.
- Mabema: Leverantör av visionssystem.
- LAEMPE: Erfarenhet inom automatiserad sandformsavsyning.
- Automation W+R GmbH: Implementerar 3D-mätsystem.
- Imago technologies: Utvecklare av ”deep learning” visionssystem.
- ISRA vision: visionssystem och 3D-skanning.
- UVEYE: Leverantör av AI baserade visionssystem.
- Deevio: Leverantör av AI baserade visionssystem.
- Stemmer imaging: Leverantör av 3D-scanning och visionssystem.

- Irida labs: Leverantör av visionssystem som är AI baserade.
- DETAB vision: Leverantör av visionssystem.
- Elektroautomatik: ingenjörskonsulter med kompetens inom automation och visionssystem.
- AVT industriteknik: ingenjörskonsult med kompetens inom visionssystem.
- Recab: mätteknisk utrustning och visionssystem. Partner med Keyence.

5.1.3 Request For information

Parallellt med företagssökningen förbereddes en RFI för utskick (se bilaga B). Denna RFI innehöll en beskrivning av de problem som Volvo ville lösa med hjälp av mätteknisk utrustning. En presentation av defekter fanns även med. Det var sedan upp till varje specifikt företag att återkoppla om de var intresserade av att jobba vidare med något delproblem som de hade spetskompetens inom. Den skickades ut till ovanstående listade företag.

RFI:en bestod av fyra huvudfrågor. Dessa var:

- Visualisera avsyningen genom att använda kameror för att ge möjlighet till att flytta operatören till en separat plats där denne kan utföra avsyningen. Detta på grund av miljöskäl, hälsoskäl och säkerhetsskäl, men även för att förbättra avsyningsresultatet.
- Mäta upp de geometriska dimensionerna på sandformarna och jämföra dessa med en CAD-ritning för att hitta geometriska defekter.
- Samla in bilder på formarna i realtid för datainsamlingssyfte.
- Analysera insamlade bilder efter defekter som är av annan typ än geometriska (visuella defekter).

I utskicket frågas det även om förslag på hur informationen som samlas in och de resultat som fås av avsyningen ska presenteras för en operatör.

5.2 Kravspecifikation

För att få en grund med krav och önskemål att senare utvärdera lösningar på gjordes en kravspecifikation. Kravspecifikationen baserades på de frågeställningar som togs upp i avsnitt 1.4.

Kraven placerade under ”krav på leverantör och teknik” är sådana krav som ska vara uppfyllda av alla typer av lösningar för att dessa ska gå vidare i utvärderingsprocessen (se bilaga C). Där inkluderas mer allmänna krav som att föreslagen teknik ska vara riktad mot industriellt bruk.

Önskemål togs fram för att rangordna lösningarna efter vilka som var mest intressanta att testa. Önskemål var sådant som inte var ett direkt krav men fortfarande hade en inverkan som var relevant att utvärdera på de olika lösningarna. Ett exempel på ett önskemål ur kravspecifikationen är önskemål 2 (se bilaga C). Önskemål 2 är att systemet ska vara flexibelt för framtida ändringar. Hade detta varit ett krav hade lösningar som fortfarande kunnat fungera försvunnit från utvärderingen.

Under krav för ”proof of concept” ligger de krav som sätts på systemet och ska verifieras med hjälp av tester. Dessa krav ska användas för att verifiera att systemet fungerar och kan tas i bruk.

5.3 Kontakt med företag

Efter att företag svarat att de var intresserade av projektet svarade de med ett lösningsförslag. Här kommer företagens lösningar att presenteras och beskrivas lite mer i detalj.

5.3.1 Cascade

Det första företaget som svarade på RFI:en var Cascade. Cascade hade tidigare varit och demonstrerat sin teknik på Volvo. Volvo hade inte gått vidare med deras teknik tidigare då de inte var nöjda med deras cykeltider. Cascade kontaktades ändå för att se om de hade gjort några framsteg och i syfte att kunna jämföra deras lösning med andra.

Cascades lösning var baserad på ”structured light” teknik för att mäta geometriska defekter [22]. Deras förslag inkluderade både hårdvara och mjukvara. En robot med ett don innehållande lasrar och kamera går över formen och ritar ut rutnätet. Kameran tar sedan kort på rutnätet för att skapa en 3D-framställning av formen. Framställningen jämförs sedan av mjukvaran GOM Inspect Professional VMR med en CAD-modell av formen. Om någon del av formen ligger utanför toleransområdet som ges av CAD-modellen kan mjukvaran bedöma om det är en defekt.

Detta lösningsförslag svarade främst mot den geometriska defektanalysen, där en skanning görs och sedan jämförs med en CAD-modell. Eftersom lösningen innehar en kamera kan material/bilder tas för att göra en visuell bedömning. Förslaget innehar dock ingen lösning på mjukvara att analysera dessa bilder efter visuella defekter. Med hjälp av kameran kan formen visualiseras för operatören som kan göra en manuell avsyning på distans. Cascades lösning svarar mot tre av fyra frågeställningar i RFI:en. De svarar inte på frågeställningen om hur bilder ska analyseras för att hitta visuella defekter. Cascade har flera referenser inom industri och högskolor [23].

5.3.1.1 Delkomponenter system

Robotmodul ATOS Inline

- Storlek på robot med bord den sitter på: 800 mm x 1200 mm
- Vikt på robot med bord den sitter på: 800 kg

Atos 5 sensor head: kamera och sensorer för att utföra ”structured light” mätning

- 12 megapixel CMOS kameror, upplösning 4112 x 4008 pixlar
- Storlek: 550 x 320 x 200 mm
- Vikt: 14 kg

Processing computer 7820

Mjukvara GOM Inspect Professional VMR:

Mjukvara för att jämföra ”structured light” mätning med CAD-modell.

5.3.2 Mabema

Efter att Mabema hade fått in RFI:en hölls ett möte för att svara på frågor om systemet. Efter det svarade Mabema med en rapport om möjliga lösningar med deras system.

Mabema föreslog ett system med en eller två robotar beroende på cykeltid för att skanna formen med ”structured light” teknologi. Denna teknik skulle användas för att jämföra

geometriska defekter med en CAD-ritning [24]. Det var även en del av deras lösning att bilder ska tas av robotarna och externa kameror som ska analyseras av en mjukvara, möjligtvis AI, för att bedöma om formen har några visuella defekter. Alternativt till en robotburen lösning föreslog Mabema att formen ska skannas in av en större mängd kameror placerade för att täcka alla olika vinklar av formen.

Mabema svarar på tre av fyra frågeställningar i RFI:en, de svarar inte på frågeställningen om att flytta operatören. De svarar inte konkret på hur de vill analysera visuella defekter mjukvarumässigt, men föreslår AI teknik [24]. Mabema nämner även att de har levererat liknande avsyningssystem till Husqvarna AB och Fuji Autotech som referenser.

5.3.2.1 Delkomponenter system

- Robotcell
- Två kameror ovanför sandformen
- Ljussättning (diverse lampor)
- 2D-kamera med LED-ring fastsatt på robot
- 3D-kamera fastsatt på robot
- Fixturer, kamerastativ och diverse kameratillbehör för montering

5.3.2.2 Tjänster

- Programmering av robot, PLC och visionssystem
- Montering av hårdvara
- Övervakning och driftsättning
- Utbildning av systemet för personal

5.3.3 Unibap

Efter Unibap fått RFI:en ville de ha ett möte angående systemet. Där fick Unibap ställa frågor om RFI:en och svara på frågor kopplade till systemet. Efter mötet skickade Unibap en rapport där en beskrivning om hur AI-baserade visionssystem skulle kunna användas för att automatisera avsyningen. Efter det hölls ett till möte med Unibap där de fick beskriva sin lösning i detalj.

Först i rapporten gavs en introduktion till Unibaps visionsystem [25]. Där presenterades mjukvaran samt hur den fungerade. I rapporten fanns även hårdvara presenterad. Deras lösning bygger på att två algoritmer samverkar med varandra. Gemensamt för algoritmerna är att de är AI-baserade. Unibaps mjukvarulösning baseras på två olika algoritmer som arbetar parallellt. "Anomaly detection" arbetar med bilder på hela saker utan avvikelser för att lära sig vad som avviker från en korrekt detalj. Den andra algoritmen kallas "Trained detection" och jobbar istället på att granska bilder med defekter och lära sig hur dessa ser ut. Det betyder att mjukvaran behöver tränas i början och blir allt bättre med tiden. Unibap föreslår att en operatör ska sitta vid en operatörspanel som presenterar bilder från systemet för att träna AI-algoritmerna.

Unibap presenterade två lösningsförslag [25]. Den primära lösningen baserades på en robot som takmonteras ovanför formarna på avsyningsstationen. Denna lösning kräver endast en kameraenhet, då roboten kan flytta runt kameran och fånga alla vinklar som

behövs. Den sekundära lösningen baserades istället på stationära kameror. För detta skulle fyra kameraenheter behövas för att kunna täcka alla formens vinklar.

Unibaps lösning svarade mot fyra av fyra frågeställningar. Det resulterar i att Unibap erbjuder en allt-i-ett-lösning som kan hitta alla presenterade defekter. Som referenser till företaget finns bland annat NASA och Husqvarna [26].

5.3.3.1 Delkomponenter system

Primär lösning

- 1 robot (förslagsvis ABB IRB 1200), takmonterad
- 1 kamera, godkänd för industriellt bruk
- LED-lampor
- 1 dator
- Diverse sensorer, nätverksmoduler och HMI-display
- Säkerhetsstängsel för att kapsla in robot/avsyningsstation

Sekundär lösning

- Kamerafixturer
- 4 kameror, godkända för industriellt bruk
- LED-lampor
- 1 dator
- Diverse sensorer, nätverksmoduler och HMI-display

5.3.3.2 Tjänster

- Programmering, Installation och design av systemet
- Tester
- Utbildning av operatörer
- Träning av systemet

5.3.4 Faro

Faro valde att presentera två olika tekniska mätinstrument. De lade inte fram en helhetslösning utan gav endast förslag på hårdvara som kan användas. Det ena mätinstrumentet kallar Faro för DMVS, vilket står för ”Dynamic Machine vision System” [27]. Detta är ett nyutvecklat system som ännu inte är släppt på marknaden. DMVS är ändå så pass utvecklat att det är möjligt att utföra tester. Det andra mätinstrumentet heter ”Focus Laser Scanner” [28]. Detta system finns på marknaden och bygger på en beprövad teknik.

DMVS systemet skulle förslagsvis användas genom att flera sensorer fästs i en grind som skannar formen med ”structured light” teknik när den åker igenom [27]. Alternativt kan sensorerna fästas på en robot som skannar in formen. Faro anser det möjligt att formen kan skannas in relativt snabbt då sensorn har en bildhastighet på 70 Hz. DMVS systemet har möjlighet att upptäcka geometriska defekter och svarar på geometrisk bedömning med CAD-matchning frågeställningen i RFI:en.

”Focus Laser Scanner” systemet kan skanna saker på ett avstånd på upp till 25 meter [28]. Den är främst ämnad till att skanna lokaler och byggnader. Tekniken går att applicera i andra sammanhang, som t.ex. på en avsyning för kvalitetskontroll. Detta

system är gjort för att utföra mätningar från en fast lägesplacering och går därför inte att placera på en robotarm i rörelse.

Faros lösningar svarar på en av fyra frågeställningar i RFI:en om den geometriska bedömningen. Faro har referenser som NASA och John Deere [29].

5.3.5 OEM Automatic

OEM Automatic föreslog två möjliga hårdvaror för avsyningen. En av teknikerna de föreslår är en MotionCam-3D från Photoneo. Om systemet kräver riktigt bra noggrannhet föreslog de en lasertrianguleringsensor från SmartRay.

MotionCam-3D är en 3D-kamera som använder ”structured light” teknik för att skanna in ett objekt [30]. MotionCam-3D är kapabel att skanna in objekt i rörelse med en hastighet upp till 40 m/s.

SmartRays teknik bygger på lasertriangulering [31]. OEM Automatic ger förslag på denna produkt om bättre noggrannhet än MotionCam-3D krävs.

OEM Automatics lösningar svarar på en av fyra frågeställningar i RFI:en som är den geometriska bedömningen. De ger bara förslag på hårdvara då de är en grossist och inte aktivt brukar delta i projekt.

5.3.6 Recab

Recab som är en distributör av Keyence svarade på RFI:en som skickades till Keyence. De föreslog en hårdvara som heter ”CV-X400 Vision System”. Systemet bygger på ”structured light” teknik där ett mönster projiceras på ett objekt som skannas [32]. Denna teknik används för att skanna in detaljen för CAD-matchning. Detta system inkluderar även ett visionssystem med flera funktioner, som att se färg och gråskalor.

Recabs lösning svarar på tre av fyra frågeställningar i RFI:en. De svarar på den geometriska och visuella bedömningen samt datainsamlings-frågeställningen. Förslag ges endast på hårdvara då de är en komponentleverantör och inte aktivt brukar delta i projekt.

5.3.6.1 Delkomponenter system

- CV-X400 Vision System

5.3.7 Irida Labs

Irida Labs är ett företag med kunskap inom AI-baserade visionssystem. De svarade på RFI:en med ett komplett koncept som är tänkt att lösa hela avsyningen med hjälp av endast ett visionssystem.

Irida Labs påpekar att det finns utmaningar med att skapa ett automatiserat avsyningssystem då formarna är komplexa och mörka [33]. På grund av dessa utmaningar föreslår Irida Labs att CAD-matchning med ”structured light” teknik inte bör användas då det skulle bli för komplicerat för att få ett godkänt resultat. Irida Labs föreslår istället att ett helt AI-baserat system där deras ”deep learning” system AEYE4 kan användas för att se defekter. Detta system skulle fungera genom att en robot med

en kamera och ljussättning flyttas runt formen och tar bilder. Bilderna analyseras sedan av AEYE4-mjukvaran för att se om det finns några defekter.

För att genomföra ett så kallat ”Proof of concept” ges förslaget att sätta upp 1-3 stycken stationära kameror [33]. Dessa ska användas för att samla in data, träna systemet och efter det verifiera att systemet kan upptäcka de defekter som finns på formen. Redan i detta steg är det viktigt att ljussättningen blir bra för att systemet ska fungera till sin fulla potential.

Irida Labs föreslår en allt-i-ett lösning och svarar på alla fyra frågeställningar i RFI:en. De anser att CAD-matchning inte behövdes och vill istället använda visuell bedömning för att upptäcka alla typer av defekter. Irida Labs har flera referenser inom elektronikindustrin som exempelvis arm och Qualcomm [34].

5.3.7.1 Delkomponenter system

- Kamera/kameror
- Robot
- Dator
- Ljuskällor

5.3.8 Stemmer Imaging

Stemmer Imaging är en försäljare av visionssystem. De jobbar genom att ta in olika aktörer beroende på vilket område arbetet främst syftar till.

Lösningförslaget som presenterades bygger på tekniken lasertriangulering [35]. De ska med hjälp utav fyra sensorer fånga hela formen och på så sätt få en hög upplösning samt samplingsfrekvens. De fyra lasersensorerna ska sitta över formen i olika vinklar för att skanna in formen när den åker förbi. Skanningen skulle ske på ungefär 12 sekunder och den minsta märkbara defekten skulle vara på ungefär 1 mm. Utöver lasertrianguleringen föreslår Stemmer Imaging att något visionssystem baserat på mjukvaran Halcon från MVTec ska användas. Hur bilder ska samlas in är inte direkt specificerat av Stemmer Imaging.

Svårigheten som Stemmer Imaging ser med projektet är att hitta bra algoritmer för vad som är godkänt och icke-godkänt, då felen kan uppkomma vart som helst på formen [35]. En annan svårighet som nämns är också hur formen ska täckas med sensorer när dessa är fixerade och orörliga. Med fyra sensorer placerade i olika vinklar tror Stemmer Imaging att detta problem kan lösas.

Stemmer Imaging svarar på tre av fyra frågeställningar i RFI:en. De svarar inte på hur bilder av formen ska samlas in för visionsystemet då Stemmer Imaging vill ta in en integratör för att lösa detta om projektet går vidare. Stemmer imaging har många referenser inom industrin [36].

5.3.8.1 Delkomponenter system

- 4 sensorer AT C5-4090 från ”Automation Technology”

5.3.9 Isra Vision

Isra Vision är en försäljare av visionssystem. De svarade på RFI:en med ett förslag på hur geometriska defekter kan mätas [37]. Lösningen baserades på ”structured light” teknik där en robot med hjälp av sensorn X-GAGE3D som skannar in formen för jämförelse med CAD-modell.

X-GAGE3D sensorn är uppbyggd med en LED-projektor, fyra integrerade kameror samt LED lampor för att lysa upp skanningsområdet [37]. Själva sensorn har också en integrerad dator som utför de beräkningar och jämförelser som ska göras. Det behövs inget separat skåp med datorer med beräkningskraft bredvid stationen. Sensorn skickar det slutgiltiga resultatet efter en skanning till en dator med skärm som kan presentera resultatet. Beräkningar utförs i bakgrunden samtidigt som skanning sker för att få ner cykeltiden. Sensorn har en noggrannhet på 0,1 millimeter. Utrustningen är också anpassad för trådlös användning genom inbyggnad av WLAN och 5G.

Isra Vision svarar på tre av fyra frågeställningar i RFI:en. De svarar inte på hur visuella defekter ska upptäckas. Isra Vision har flera referenser inom industrin som BMW och Audi [37].

5.4 Utvärdering av Lösningar

Efter att RFI-svaren skickats in påbörjades utvärderingsprocessen. Först eliminerades de lösningar som ej svarade mot kravbilden med en elimineringsmatris. ”Krav på leverantör och teknik” användes som krav i elimineringsmatrisen (se bilaga C). Utifrån ställda krav eliminerades de förslag som inte uppfyllde alla krav under ”krav på leverantör och teknik”. Efter elimineringsmatrisen användes Pughs metod för att rangordna lösningarna.

5.4.1 Elimineringsmatris

”Krav på leverantör och teknik” (se bilaga C) användes i en elimineringsmatris för att sälla bort lösningar som inte uppfyllde alla krav (se figur 6). Dessa krav är under stycke 2.3 i kravspecifikationen. Dessa krav togs främst fram för att utvärdera leverantören och tekniken. Kraven var alltså breda då flera helt olika typer av tekniker skulle jämföras.

Elimineringsmatris						Beslut
	Krav 1	Krav 2	Krav 3	Krav 4	Krav 5	
Cascade	JA	JA	JA	JA	JA	Behåll
Mabema (lösning 1 - Robotbaserad)	JA	JA	JA	JA	JA	Behåll
Mabema (Lösning 2)	JA	JA	JA	JA	JA	Behåll
Unibap (Lösning 1 - Robotbaserad)	JA	JA	JA	JA	JA	Behåll
Unibap (Lösning 2)	JA	JA	JA	JA	JA	Behåll
Faro (Lösning 1 - DMVS)	JA	JA	JA	NEJ		Förkasta
Faro (Lösning 2 - Focus Scanner)	JA	NEJ				Förkasta
OEMAAutomatic (Lösning 1 - MotionCam-3D)	JA	JA	JA	NEJ		Förkasta
OEMAAutomatic (Lösning 2 - SmartRay)	JA	JA	JA	NEJ		Förkasta
Recab	JA	JA	JA	NEJ		Förkasta
Irida Labs	JA	JA	JA	JA	JA	Behåll
Stemmer Imaging	JA	JA	JA	JA	JA	Behåll
Isra Vision	JA	JA	JA	JA	JA	Behåll

Figur 6: Elimineringsmatris för utsällning av lösningar som ej uppfyller kravbilderna

Krav 1 handlar om att tekniken ska vara riktad mot industriell användning. Detta krav sattes då det är viktigt att möjliga tekniker håller för användning i en industriell miljö. Alla leverantörer uppfyllde detta krav.

Krav 2 handlar om att föreslagen teknik ska baseras på permanent fixerad hårdvara och inte vara portabel. Detta är för att lösningar som inte är tänkt att användas för en produktionslina ska sällas bort.

Krav 3 var att föreslagen teknik ska flytta bort operatören från stationen. Detta krav ställdes då det relaterar till hela arbetets mål att automatisera avsyningen.

Krav 4 var att leverantörer ska vara villiga att aktivt delta i utvecklingen av den automatiserade avsyningen. Detta krav ställdes för att se till att potentiella leverantörer vill ge återkoppling och hjälpa till med tester.

Krav 5 handlar om att leverantörer ska ha referenser inom industri och teknik. Detta krav ställdes för att se till att leverantörer faktiskt levererar det som presenteras.

Sex olika leverantörer med totalt åtta lösningar blev godkända på alla initiala krav. Tre leverantörer med totalt fem lösningar blev inte godkända. Leverantörerna blev huvudsakligen utsälda på krav 4, vilket var att leverantören skulle presentera ett helt koncept och inte bara en hårdvara eller mjukvara.

5.4.2 Pughs metod

För att rangordna lösningsförslagen som uppfyllde alla krav användes en matris enligt Pughs metod. Önskemålen i kravspecifikationen användes som kriterier i matrisen och önskemålens vikt uppskattades.

Kriterium		Lösningar							
Kriterier:	Vikt: (1-5)	Cascade (referens)	Mabema (Lösning 1 - Robotbaserad)	Mabema (Lösning 2)	Unibap (Lösning 1 - Robotbaserad)	Unibap (Lösning 2)	Irida Labs	Stemmer Imaging	ISRA vision
Önskemål 1	3	0	+	+	+	+	+	+	0
Önskemål 2	4	0	0	-	0	-	0	-	0
Önskemål 3	2	0	0	0	+	+	+	0	0
Önskemål 4	2	0	0	+	+	+	0	0	+
Önskemål 5	3	0	0	0	+	+	+	+	0
Önskemål 6	4	0	0	0	0	0	0	0	0
Önskemål 7	1	0	0	0	0	0	0	-	0
summa +		0	3	5	10	10	8	6	2
summa 0		0	16	10	9	5	11	8	17
summa -		0	0	4	0	4	0	5	0
Värde		0	3	1	10	6	8	1	2
Rangorning		7	4	6	1	3	2	6	5
Gå vidare?									

Figur 7: Utvärderingsmatrisen enligt Pughs metod

Som referenslösning i denna matris användes Cascades lösning då Volvo tidigare varit intresserade av deras teknik. Figur 7 visar att Unibaps lösning 1 hamnade på första plats. Detta beror främst på att det är en lösning som svarar mot alla frågeställningar i RFI:en med en och samma teknik. Sist i rankningen hamnade Cascade. Den hamnade där främst för att de inte svarade på alla frågeställningar i RFI:en. Det behöver dock inte betyda att deras lösning inte är bra. Denna matris är till för att rangordna lösningarna och för att sedan se vilken som är mest intressant att först utföra tester med.

Önskemål 1 handlar om att ett och samma system kan lösa både den geometriska och visuella bedömningen. Ett system som löser båda problemen blir smidigt att implementera och använda då det är samma leverantör till hela systemet. Detta önskemål viktades därför relativt högt i matrisen.

Önskemål 2 var att systemet skulle vara flexibelt för framtida ändringar. Cascades lösning som var referens var robotburen och därför fick alla robotburna lösningar också 0. De lösningar som var fixerade på en fast plats fick minus. Samtal med leverantörer indikerade att de system som var fixa var mindre flexibla. Detta viktades högt då möjligheten att lätt kunna göra framtida ändringar i systemet är viktigt för Volvos möjligheter att vidareutveckla sin produktion.

Önskemål 3 var att leverantören föreslår hur en ”proof of concept” kan uppnås utan att implementera det kompletta systemet. Detta önskemål var till för att ge poäng till lösningar som skulle vara lätta att testa. Då Cascade inte föreslog något sätt att etablera en ”proof of concept” utan att flytta dit det kompletta systemet får de 0 poäng. Alla lösningar som inte föreslår någon smidig ”proof of concept” får därför 0 poäng och de som föreslår får pluspoäng. Önskemål 3 viktades lågt för att det inte var relaterat till det kompletta systemets kvalitet.

Önskemål 4 handlar om att systemet inte ska ta upp för mycket plats. Ett system som inte är så stort kan bli smidigare att jobba med, men inte nödvändigtvis. Därför viktades detta önskemål relativt lågt. I stort sett bedömdes en robotbaserad lösning ta mer plats än en lösning som baserades på fixerade sensorer.

Önskemål 5 var att leverantören anser det möjligt att uppnå en cykeltid på under 30 sekunder. Ingen leverantör specificerade att de inte kunde uppnå en cykeltid på under 30 sekunder, men många av 3D-scanningsleverantörerna behövde utföra tester för att se om det var möjligt. Leverantörerna av AI-baserade visionssystem var säkra på att det skulle gå snabbare än 30 sekunder då de anser att deras teknik är snabb. Cascade som var referenslösning behövde utföra vidare tester för att bekräfta om det är möjligt att uppnå en cykeltid på under 30 sekunder. Därför fick alla leverantörer som behövde utföra tester 0 poäng och de leverantörer som var säkra på att deras teknik var snabb nog plus poäng.

Önskemål 6 var att lösningsförslaget svarar på minst tre av fyra frågeställningar i RFI:en. Det spelade ingen roll vilka av de frågeställningar som svarades på, endast att tre eller alla fyra svarades på. Detta önskemål viktades högt. Ett system som svarar på alla frågeställningar är smidigt att implementera. Ett lösningsförslag som svarar på tre av fyra frågeställningar kan på ett enklare sätt implementeras med en annan lösning för att tillsammans svara mot alla frågeställningar.

Önskemål 7 var det lägst viktade önskemålet och handlade om att leverantören hade ett förslag på hur ljussättningen för systemet skulle ske. Att veta om företaget tänkt något på ljussättningen kan vara relativt viktigt för ett systems funktionalitet och prestanda. Detta önskemål viktades lågt av anledning att ljussättning inte är komplicerat att lösa i efterhand.

Önskemålen som finns i kravspecifikationen (se bilaga C, avsnitt 2.4) togs fram huvudsakligen för att bedöma vilken lösning som skulle testas först. Dessa önskemål var därför relativt breda för att kunna jämföra helt olika tekniker som till exempel ”structured light” och AI.

5.5 Olika teknikers styrkor och svagheter

Efter utvärderingen kunde följande slutsatser dras gällande de undersökta teknikerna. Beroende på vilka krav som är ställda är olika tekniker att föredra.

5.5.1 Visionssystem

Från leverantörernas förslag framgår det att med ett visionssystem behövs det inte lika mycket hårdvara som ett 3D-skannande system skulle behöva. Det gör att visionssystem jämförelsevis är smidigare och tar mindre plats. Ett visionssystem avsynar ett föremål snabbare än vad skannande system med CAD-matchning kan göra. Skillnaden mellan dessa system blir att visionssystemet inte har samma precision och träffsäkerhet som det 3D-skannande systemet har. Beroende på vad som eftersträvas så passar de olika systemen olika bra. Behövs mikrometer-precision krävs ett 3D-skannande system. Ett visionssystem kan ha svårt att komma ner på dessa små nivåer samt att utföra en CAD-matchning.

Traditionella visionssystem styrka är att de snabbt kan upptäcka defekter som är återkommande och liknande [38]. Jämfört med en människa eller AI har denna typ av system nackdelen i att de är sämre på att hitta subtila och varierande typer av defekter.

5.5.1.1 Artificiell Intelligens

Om AI algoritmer implementeras i visionssystemet så erhålls ett system som är bättre på att detektera varierade defekter och avvikelser. [38]. Systemet blir också bättre med tiden. Nackdelen är däremot att ett AI baserat system behöver tid för att tränas. Det gör att implementeringstiden kan bli längre än med ett system utan AI. Vid komplexa fall med flera olika och varierade defekter blir det betydligt enklare att implementera ett AI-baserat visionssystem. Implementeringen blir enklare då utvecklaren av systemet inte noggrant måste definiera varje typ av defekt och var de kan sitta för systemet. Istället lär sig systemet genom att analysera bilder.

5.5.2 Structured light

Med ett ”structured light” system erhålls en hög precision och upplösning på mätningen [39]. Tekniken kan med enkelhet användas för att skanna större ytor. Systemet mäter även snabbare än ett system som bygger på lasertriangulering.

En av de största nackdelarna med denna typ av system är ljuskänsligheten. Förmodligen skulle en lösning med ”structured light” behöva kapslas in för att inte bli störd av ljus från andra ljuskällor [39].

5.5.3 Lasertriangulering

Jämfört med ”structured light” teknik så har lasertriangulering mycket bra precision och upplösning då mätnoggrannheten brukar vara runt 10 mikrometer [39]. Tekniken är relativt snabb, men inte lika snabb som ett ”structured light” system.

Nackdelen med lasertriangulering är lasern. Egenskaperna på ytan på det som mäts har en inverkan i skanningsresultatet [39]. Detta resulterar i att glansiga och transparenta ytor blir problematiska att skanna då laserstrålen reflekteras åt oönskade håll då den träffar ytan.

5.6 Test med leverantör

Efter att utvärderingen presenterats för Volvo togs beslutet att utföra test med leverantören Unibap. Testet var främst riktade för att se hur bra kameror kunde se defekter på en sandform. Detta gjordes för att kunna dra slutsatser för om operatören kan flyttas bort från stationen och utföra avsyning på distans samt för att utvärdera om ett AI-baserat visionssystem kan lösa avsyningsprocessen.

5.6.1 Förberedande för test

Tillsammans med Volvo planerades det att använda två formhalvor från produktion för testet. Kravet på formarna var att det skulle vara formar för motorblock eftersom dessa har den mest komplexa geometrin. Utifrån planeringen framgick det att formhalvorna förmodligen inte skulle ha naturliga defekter då Volvo inte kunde planera exakt vilka formhalvor som skulle tas ut. Detta ledde till att det behövdes planeras för att utföra tester med endast skapade defekter. Från konsultation med Unibap framgick det att naturliga defekter var betydligt bättre att använda vid denna typ av test än skapade, därför var det viktigt att kunna skapa defekter som var nära i utseende till naturliga.

För att skapa defekter togs en rad verktyg och metoder fram:

Defekt	Verktyg
1. Färgskiftningar (torrsand)	Vatten och värmepistol
2. Avskavningar	Kniv
3. Brytning	Hammare/kniv
4. Repor/spår	Kniv
5. Sprickor	Hammare och dämpningsmaterial
6. Porös sand	-

Tabell 1: Verktyg som användes för att skapa defekter

För att kunna konfirmera att dessa defekter kunde skapas med dessa verktyg inväntades en kasserad form. När en form kasserades skars en bit ut för att experimenteras med. På denna bit konstaterades att färgskiftningar inte gick att skapa och att sprickor var mycket svåra att skapa med ett naturligt utseende. Frågor förberedes till Unibap innan testet.

- Vilket avstånd på kameror är lämpligt för att bäst täcka formen?
- Hur ska kameror vara vinklade för att bäst täcka formen?
- Hur många kamerapunkter behövs för att täcka hela formen?
- Hur ska HMI:et se ut? Kan VR användas?
- Hur skulle bilderna presenteras för operatören?
- Hur skulle träningen av systemet gå till?
- Kan vibrationer störa kameran/mätutrustningen?

5.6.2 Utförande av test

När formarna plockades ut från avsyningsstationen gick den ena halvan sönder. Detta resulterade i en mängd sprickor i formen, många med ett naturligt utseende. Även fast skadan var ett misstag var resultatet önskvärt eftersom sprickor i tidigare tester konstaterats mycket svåra att skapa med ett naturligt utseende.



Figur 8: Översikt över testanordning

Unibap besökte gjuteriet för tester 2020/06/17. Utrustningen de tog med och använde för att utföra testet var: industriell kamera, LED-belysning och en dator. Testet utfördes genom att kameran ställdes på ett rullbord och kort togs på formen från alla vinklar. Rullbordet med kamerastället rullades runt bordet och när ett varv var klart flyttades rullbordet till ett annat avstånd för att ta fler bilder på formen.

Först togs bilder med kameran på ett långt avstånd från formen, cirka 1 meter mellan kamera och form. Kameran hade då en vinkel mot formen på cirka 45 grader. I detta skede spekulerades det att 8 kamerapunkter förmodligen skulle behövas för att täcka hela formen med det avståndet mellan kameran, formen och den lins som användes på kameran. Det skulle behövas 3 kamerapunkter på varje långsida och 1 kamerapunkt på varje kortsida.

Efter det placerades kameran något närmare formen, cirka 0,5 meter mellan kamera och form (se figur 9). Då vinklades kameran i en mindre vinkel som nästan var parallell med formen för att kunna täcka djupa detaljer på ett bättre sätt. Det användes även en extra ljuskälla för att kunna se ner i mörka håligheter. Ljusinsläppet på kameran ökades också.

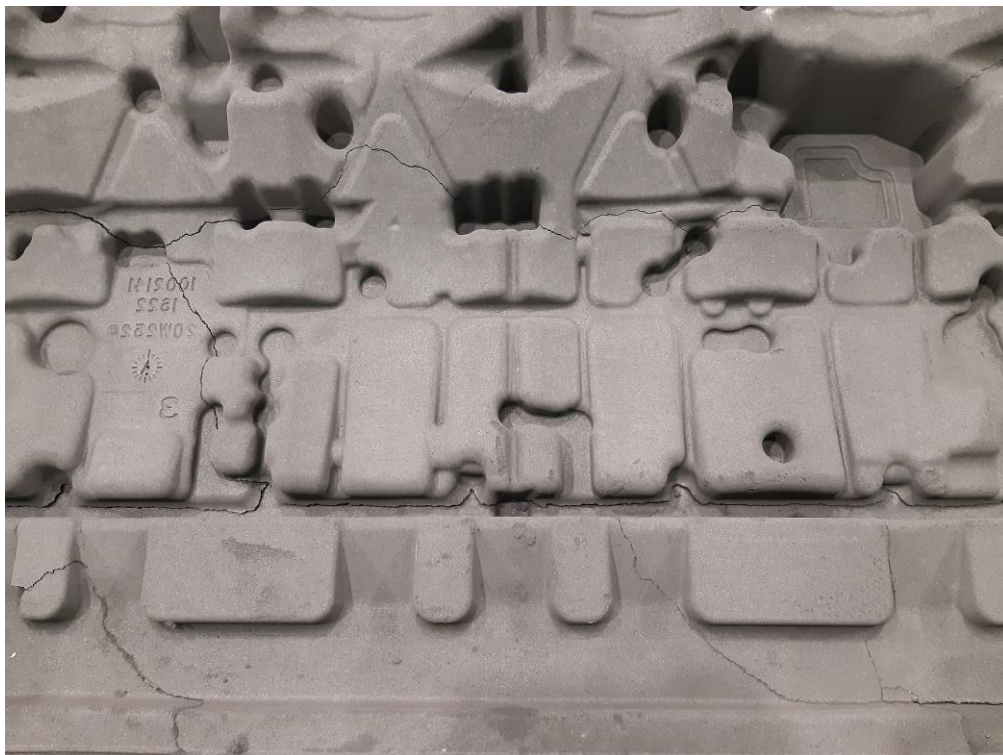


Figur 9: Bilder tas på nära håll av formen

Den formen som först fotograferades var formen med ett fåtal defekter för att kunna ge Unibaps AI-algoritmer bilder utan defekter att träna på (se figur 10). Sedan togs bilder på den formen som hade gått sönder vid flytt från produktion (se figur 11). Små defekter som var svåra för en människa att se som tunna sprickor prioriterades att ta bilder på. Dessa bilder togs både för att ge Unibaps algoritmer defekter att träna på och för att se hur bra små defekter syntes på bild.



Figur 10: Den oskadade formhalvan



Figur 11: En del av den skadade formhalvan

Efter bilder tagits på formen som gått sönder skapades små defekter på den oskadade formen. Detta gjordes genom att repa formen och skava av hörn med en kniv. När defekter skapats på denna form togs ytterligare bilder för att ge AI-algortmerna mer material att träna på.

Under testet noterades att små defekter som var svåra att se av en människa i verkligheten syntes tydligt på bild med rätt belysning och kamerainställningar. Det som inte syntes på bild var håligheter i motorblocket där det blev för mörkt. De typer av defekter som testades redovisas nedan.

Resultat synlighet på defekter:

Defekt	Verktyg	Skapad	Resultat
1. Färgskiftningar (torrsand)	Vatten och värmepistol	Naturligt	Syntes bra på bild
2. Avskavningar	Kniv	Naturligt och artificiellt	Syntes bra på bild
3. Brytning	Hammare/kniv	Naturligt och artificiellt	Syntes bra på bild
4. Repor/spår	Kniv	Artificiellt	Syntes bra på bild
5. Sprickor	Hammare och dämpningsmaterial	Naturligt	Syntes bra på bild
6. Porös sand		Naturligt	Syntes bra på bild

Tabell 2: Defekters synlighet på bild

Unibap fick även ett flertal frågor under testet relaterade till hur systemet skulle kunna byggas upp:

Fråga	Svar
Vilket avstånd på kameror är lämpligt för att bäst täcka formen?	Max 1 meter ifrån för överskådliga bilder Runt 0,5 meter för närmare bilder
Hur ska kameror vara vinklade för att bäst täcka formen?	45 grader @ 1 meter Cirka 0 grader @ 0,5 meter (för att täcka håligheter)
Hur många kamerapunkter behövs för att täcka hela formen?	Skulle behövas ungefär 8 kameror. 3 per långsida och 1 per kortsida. Eventuellt behövs fler kameror rakt över formen.
Hur ska HMI:et se ut? Kan VR användas?	En operatör får markera fel på ett HMI för att träna algoritmen. VR är nog inte hjälpsamt då det förmodligen blir en jobbig arbetsmiljö för operatören.
Hur ska bilderna presenteras för operatören?	Bilderna ska presenteras för operatören på en skärm. Det svåra blir att presentera sammanställningen av bilderna på ett förståeligt sätt.
Hur ska träningen av systemet gå till?	En operatör får markera fel på ett HMI för att träna algoritmen. Algoritmen får flagga bilder den tror det är defekter på och operatören får markera om Algoritmen gjort rätt.
Kan vibrationer störa kameran/mätutrustningen?	Skulle kunna påverka kamerans fokus så vibrationsdämpande material skulle behöva användas vid montering av kameror.

Tabell 3: Frågor som ställdes till företaget UNIBAP under test samt svar

Efter testet skulle Unibaps tekniker analysera bilderna för att kontrollera möjligheten att lösa problemet med de kriterier som ställts.

5.7 FMEA analys

Som avslut på arbetet utfördes en feleffektanalys för att visa vilka eventuella risker som finns i senare steg av projektet och hur dessa risker skulle kunna minskas.

FMEA - FELEFFEKTANALYS														
© Frost Konsult		Risktal		2009-12-14 GF										
Verksamhet/produkt		1		100		Felmöjlighet är motsatsen till önskad funktion								
Automatiserad formavsnymning		101		300		Felorsak måste elimineras för att felet inte ska kunna uppstå								
Projektleidare		301		###		Feleffekt är hur felet uppträddas av slutanvändaren/kunden								
Utförd av och delägare		Anton Hagman		Kristian Bäck		Detailnummer								
Datum		2020-07-18		Uppföljningsdatum		Anmärkning								
Nr	Funktion	Beskrivning av funktion	Folkarakteristik			Nuvarande tillstånd			Ansva- rig	Ut- fört	Samt	Efter- åtgärd	Risk- tal	
			Felmöjlighet	Feleffekt	Felorsak	Sannolikhet	Allvarlighet	Upptäckande						Risk- tal
1	Presentation av bilder	Operatör tittar på bilder för att avsnyma	Bilder återspeglar inte verkligheten/svåra att lyda	Defekter upptäcks ej	Dåligt utformat HMI	5	8	3	120	HMI utformat med hjälp av operatör	2	8	3	48
2	Insamling av databilder	Samla in data på fornar för att verifiera systemets dugglighet	Kameras löcker vyn för operatören som forfarande avsnym på plats ovanför fornen.	Operatör missar fel som skymms av kamerautrustningen	Kamerautrustning får ej täcka synfältet för Operatören	5	8	7	280	Utforma kamera-setupen med så lite material som möjligt	2	8	5	80
3	Avsnyning på distans	Operatör avsnym fornen sittandes framför monitorer	Dålig ergonomi på arbetsstation.	Ort i kroppen	Dåligt utformat avsnymningsstation ur ett ergonomiskt perspektiv	3	9	8	216	Ha med ergonomiexpert vid utformning av avsnymningsstation.	1	9	8	72
4	Insamling av databilder	Operatör tittar på bilder för att avsnyma	Dåliga bilder	Dålig skärpa samt felvinklade kameror	Vibrationer i kamerafäste	6	8	3	144	Vibrationsdämpande material och flera fästpunkter.	3	8	3	72
5	Träning av AI	Operatör deltar i fel för att lära AI	Feltränad AI	AI:n hittar inte defekter	Olika bedömning av olika operatörer	7	8	10	560	Utbildning av operatörer för att standardisera defektbedömning. Analys av data där operatör och AI inte ger samma bedömning	3	8	4	96

Figur 12: FMEA dokument. Mall från [20].

6 Resultat

Här presenteras resultatet som hela arbetet ledde fram till.

6.1 Resultat test med leverantör

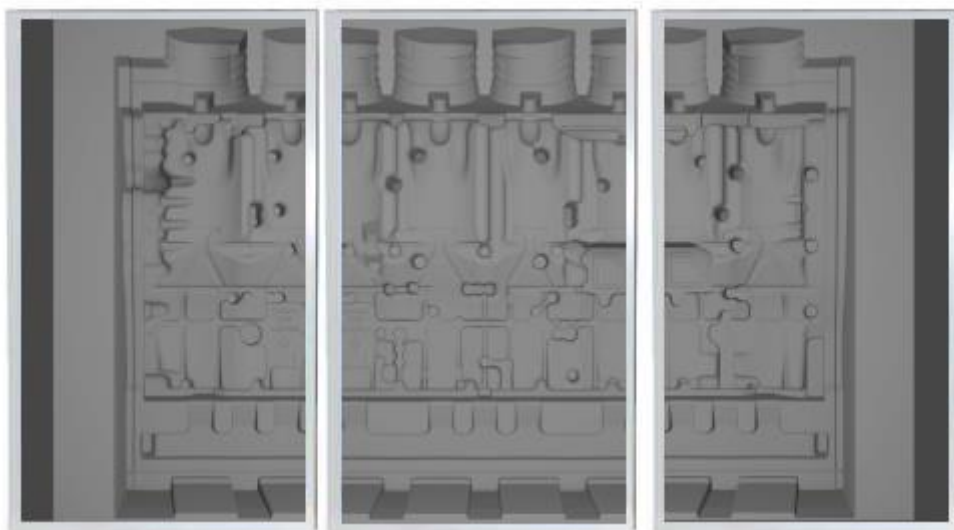
Efter testerna med Unibap återkom de med en analys av insamlade data angående möjligheterna att skapa en automatisk formavsyning.

För att täcka hela formen behövs tre kameror som sitter placerade rakt över formen i en rad (se figur 13). Kamerorna ska vara placerade 1000 mm från botten på formarna. En 12 mm lins ska användas på kamerorna för att få en så pass bra vidvinkel för att kunna se vertikala väggar i formen. Flat dome/panelljus ska användas för att ge kamerorna de bästa förutsättningarna till att ta tydliga bilder.



Figur 13: Hur kameror ska placeras. Från [40]. Återgiven med tillstånd.

Formen ska presenteras för operatören uppdelat på tre separata bilder (se figur 14). Detta för att en sammanslagen bild från tre kameror kan skapa distorsion nära sömmarna, vilket kan leda till att defekter inte syns på bild vid sömmarna.



Figur 14: Föreslagen vy för operatör. Från [40]. Återgiven med tillstånd.

Unibap kunde dra slutsatsen med hjälp av bilderna som togs under testet att det är möjligt att träna en AI för att automatisera avsyningen. Systemet som planeras att implementeras efter

detta arbetet är att operatören ska avsyna från en skärm. Operatören kommer avsyna och träna AI-algoritmerna i det inledande steget. När AI-systemet har bevisat att det kan se defekter bättre än en operatör ska AI-algoritmerna avsyna autonomt.

Checklista "proof of concept"

Krav	Typ	Beskrivning	Godkänt/Ej Godkänt
Krav nr 6	Original	Med hjälp av en eller flera kameror ska formen visualiseras till operatören som står på en avlägsen plats.	Godkänt
Krav nr 7	Original	Kvalitén på avsyningsprocessen ska vara likvärdig eller bättre med visuell hjälp jämfört med manuell avsyning.	Ej möjligt att verifiera i detta stadie
Krav nr 8	Original	Svårighetsgraden för att avsyna med visuell hjälp ska vara likvärdig eller enklare jämfört med manuell avsyning.	Ej möjligt att verifiera i detta stadie
Krav nr 9	Original	Alla typer av geometriska defekter ska kunna mätas.	CAD-matchning testades ej
Krav nr 10	Original	Mätningar ska kunna ske på formar med måtten 1600x1100 mm samt ett djup på 400 mm.	CAD-matchning testades ej
Krav nr 11	Original	System för mätning av geometriska defekter ska inte ta bort möjligheten att använda system för visuell bedömning.	CAD-matchning testades ej
Krav nr 12	Original	Geometriska defekter ner till 1 mm ska kunna mätas.	CAD-matchning testades ej
Krav nr 13	Original	Synlig torrsand ska kunna upptäckas.	Godkänt
Krav nr 14	Original	Alla former utav synliga sprickor ska kunna upptäckas.	Godkänt
Krav nr 15	Original	All synlig blackning som lossnat ska kunna upptäckas.	Godkänt
Krav nr 16	Original	System för visuell bedömning ska inte ta bort möjligheten att använda ett system för geometrisk bedömning.	Godkänt
Krav nr 17	Original	Bedömningsresultatet av de olika avsyningsmetoderna ska presenteras på ett förståeligt och överskådligt sätt för operatör.	Godkänt
Krav nr 18	Original	Alla bilder som samlas in ska ägas av Volvo.	Godkänt

Krav nr 19	Original	Bilder som samlas in ska annoteras med rätt/fel och bindas med flaskans ID-nummer.	Godkänt
Krav nr 20	Original	Alla typer av geometriska defekter ska kunna upptäckas.	Godkänt
Krav nr 21	Original	Hårdvara får inte utgöra en säkerhetsrisk för eller skador på personer.	Godkänt
Krav nr 22	Original	Hårdvara får inte utgöra en risk för skador på egendom.	Godkänt

Tabell 4: checklista "Proof Of Concept"

Alla krav kunde inte verifieras med den information som fanns, men det bedömdes att arbetet var klart då dessa krav kan verifieras i senare delar av automatiseringsarbetet.

6.2 Besvaring av frågeställningar

Här presenteras svaren på frågeställningarna i stycke 1.4.

Flytta operatör

Från testet konstaterades att det är möjligt att flytta operatören som avsynar sandformen till en annan plats. Detta eftersom formen syntes väl på bild och då det är möjligt att täcka hela formen med kameror.

Geometrisk bedömning

Från diskussioner med leverantörer har det framgått att det är möjligt att avsyna geometriska defekter och jämföra med en CAD-ritning med hjälp av ”structured light” teknik. Denna teknik beslutades att inte testas.

Visuell bedömning

Från testet med leverantören konstaterades att det är möjligt att använda AI visionssystem för att automatisera avsyningen.

Kombinering av mätteknisk utrustning

Under diskussioner med leverantörer har det framgått att det är möjligt att kombinera visionssystem med 3D-scanning för att avsyna sandformar. Att kombinera olika typer av tekniker för att avsyna testades inte.

7 Diskussion

Här diskuteras olika aspekter kopplade till arbetet.

7.1 Miljö och etik

Vid automatisering tillkommer alltid etiska dilemman då det är personer som blir av med arbetsuppgifter i ett redan högt automatiserat samhälle. Om avsyningsstationen automatiseras så kommer en permanent arbetsuppgift försvinna från operatörerna. Från samhällets perspektiv kan detta ses som något dåligt för arbetstagarna. Men allting är inte nödvändigtvis etiskt dåligt med att automatisera arbetsuppgifter. Från intervjuer med personal på Volvo framgår det att avsyningsstationen är ergonomiskt dålig då den är väldigt statisk och monoton. Utöver det så uppfattar operatörerna det som en väldigt tråkig station att arbeta på. Automatisering tar inte bara bort jobb. Det tillför även nya typer av jobb, nämligen automationsjobb [41]. Det nya automatiseringsjobbet är dock inte en ersättning av det gamla jobbet som försvinner då det kräver annan typ av kunskap och högre utbildning.

Det kan vara nödvändigt för företag att automatisera. Om svenska företag skulle välja att inte utveckla och automatisera arbetsuppgifter av etiska skäl skulle deras konkurrenskraft minska gentemot utländsk industri, vilket i längden skulle kunna leda till ännu mer jobbförluster.

Ur ett miljöperspektiv kan automatisering både vara positivt och negativt för miljön. Ökad elektrifiering leder till större energianvändning [42]. I gengäld så får man förhoppningsvis en avsyningsstation som fångar upp fler defekter än vad människa själv tidigare gjorde. Ju tidigare man hittar ett fel i en produktions-lina, desto billigare och bättre för miljön blir det. På lång sikt kan en automatisering vara en bra investering ur ett miljöperspektiv. I detta fall kan en upphittad defekt leda till att en sandform behöver kasseras. Skulle defekten inte hittas förs defekten vidare till gjutgodset. Man skulle då få kassera gjutgodset, vilket man lagt ner material- och energiresurser på helt i onödan.

7.2 Fortsatt arbete

För att få mer underlag till jämförelserna hade det varit intressant att även göra tester med ett 3D-skannande system. Detta ligger tyvärr inte inom tidsramen för arbetet, Det hade kunnat utföras om arbetet hade jobbats vidare med.

Efter att ha diskuterat med Volvo kom vi fram till följande plan för arbetet att gå vidare från steget vi slutade på. I nästkommande steg är inte vi längre med i arbetet då detta examensarbete endast täckte förstudien av projektet. Vi var fortfarande med och påverkade hur arbetet skulle gå vidare från detta stadiet genom uppdelning i nedanstående punkter:

Steg 1:

- Montera kameror som möjliggör att operatören flyttas.
- Spara alla bilder. Bilderna ska ägas av Volvo och lagras hos Volvo.
- Markera bilder med avvikelser (träna AI).

Steg 2:

- Annotera avvikelser och kategorisera dessa.
- Annoteringar ägs och görs av Volvo.

Steg 3:

- Testa systemet i simulerad miljö med insamlade bilder.

Steg 4:

-Testa i drift.

Steg 5:

-Utvärdera systemet.

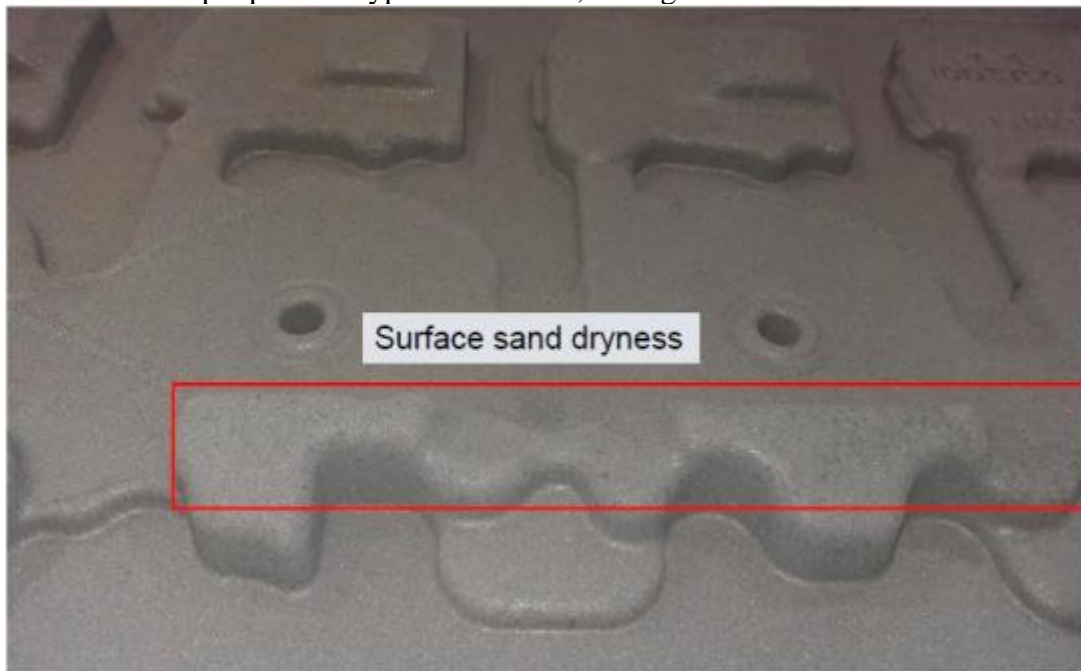
8 Slutsats

Från testet som utförts under arbetet går det att dra slutsatsen att det är möjligt att automatisera avsyningen med hjälp av AI-baserade visionssystem. Det går inte från detta arbete att bedöma hur bra denna automatiserade avsyning kommer bli. Kvalitén på denna avsyningsstation kommer huvudsakligen att skapas under projektstadiet. Från diskussioner med Volvo, Unibap och riskanalysen som genomfördes kan det noteras att flertalet av riskerna med automatiseringen ligger i projektstadiet. För att minska dessa risker är det viktigt att operatörerna som ska använda systemet är delaktiga i utvecklingen av systemet.

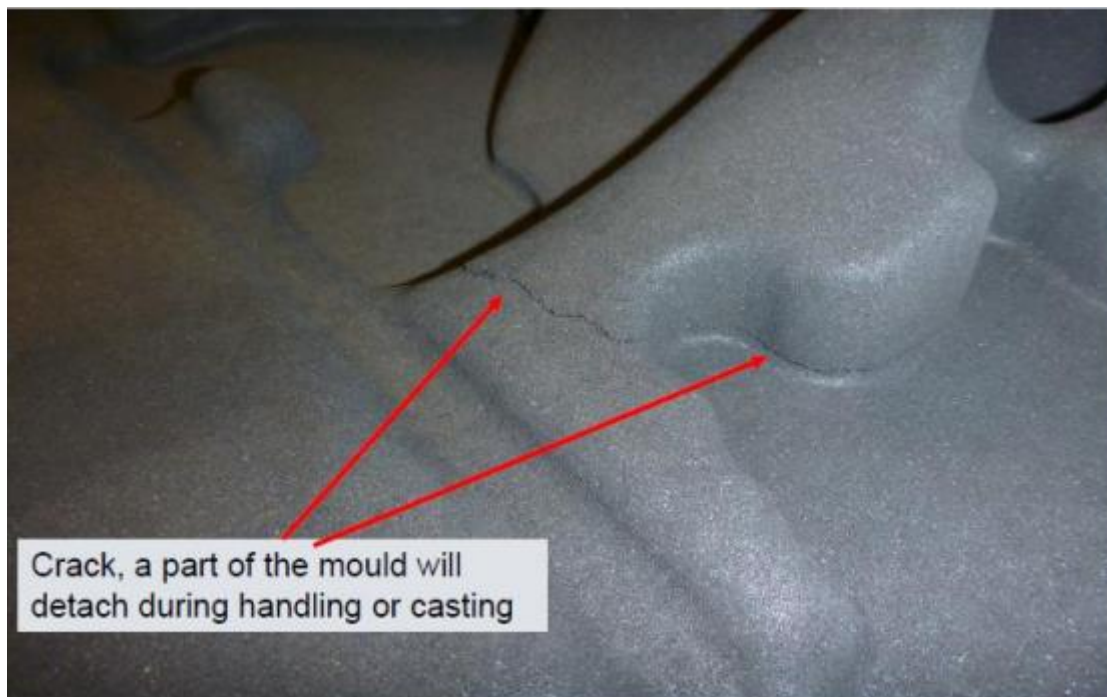
För att öka kvalitén på arbetet borde det även utförts ett test med en leverantör av 3D-skannande system för att konkret besvara den frågeställningen. Detta var inte möjligt på grund av arbetets tidsplan. Från diskussioner med leverantörer och deras erfarenheter med liknande system kan slutsatsen dras att även denna typ av system hade kunnat användas för bedömning av geometriska defekter. Varför visionssystem testades över 3D-skannande system var för att ett visionsystem hade möjligheten att se alla typer av defekter. Utöver det bedömdes precisionen hos ett 3D-skannande system inte vara nödvändigt i detta fallet.

Bilaga A – Typer av defekter

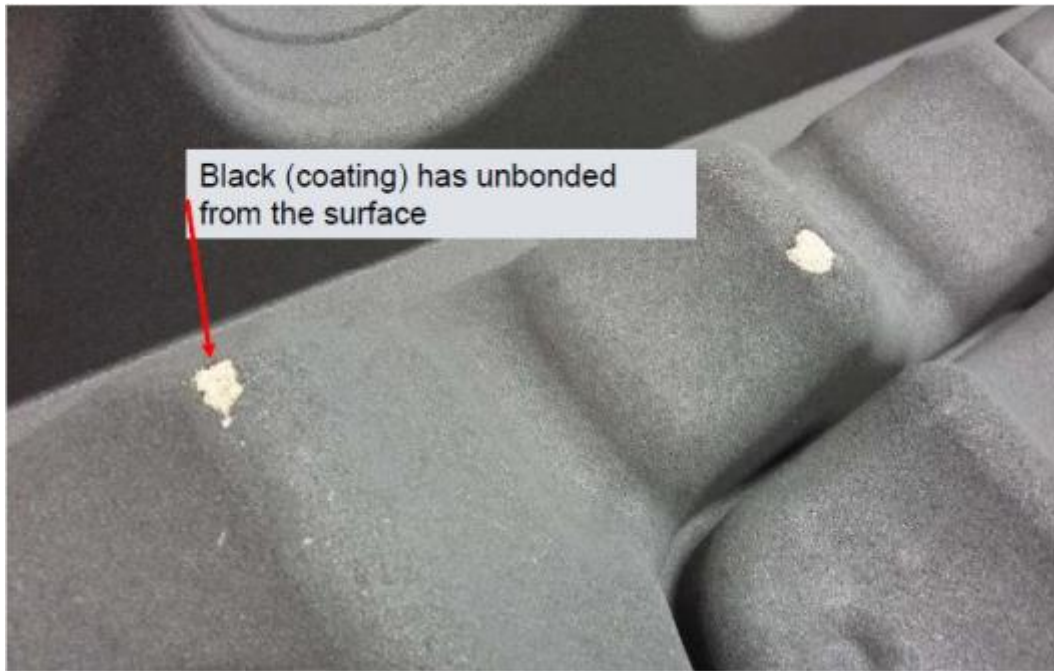
Här visas exempel på olika typer av defekter, både geometriska och visuella.



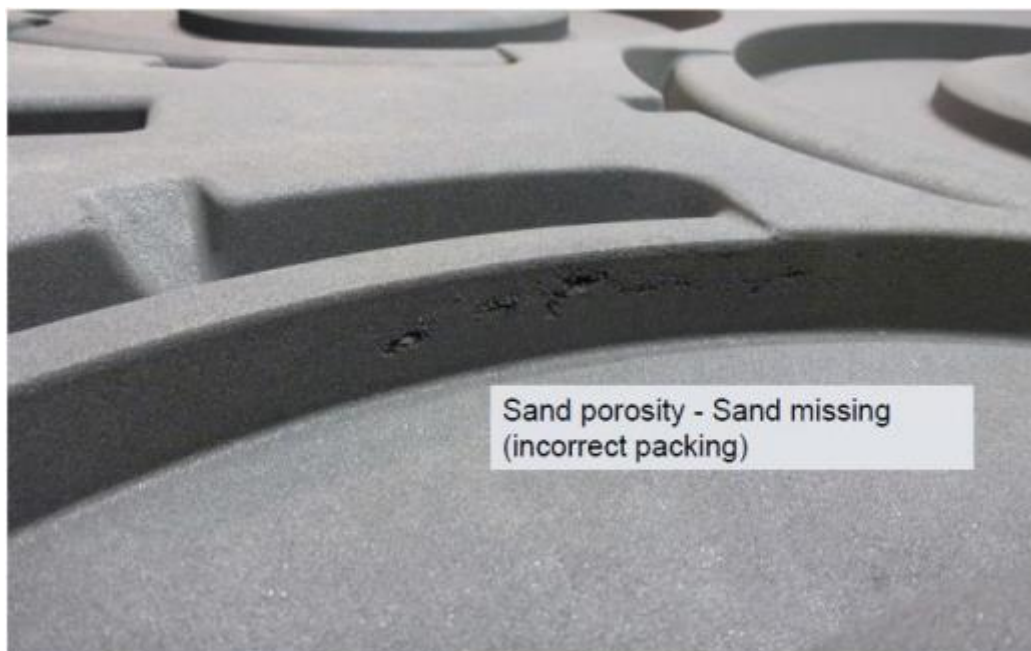
Figur 15 Torrsand en visuell defekt. Manifesteras genom en färgskiftning. Från [3]. Publicerad med tillstånd.



Figur 16 En spricka inräknas bland de visuella defekterna. Från [3]. Publicerad med tillstånd.



Figur 17 Blackning har lossnat inräknas bland de visuella defekterna. Från [3]. Publicerad med tillstånd.



Figur 18 Inkorrekt packad sand. Från [3]. Publicerad med tillstånd.



Figur 19 Sand som har lossnat inräknas bland de geometriska defekterna. Från [3]. Publicerad med tillstånd.

Bilaga B – Request For Information

VOLVO

Företag Company name	Dokumenttyp Type of document		
Volvo Group Trucks, Operations	Request for information		
Dokumentnamn Name of document	Engels Titlar	Reg nr/Reg. No.	Sida Page
Automated mould inspection	01		1 (6)

1.1 General

Volvo Powertrain in Skövde, Sweden, is investing in the foundry. A part of the investment is to facilitate automated vision control of the moulds used to produce cast iron components, e.g. engine blocks, engine heads and flywheels.

The sand moulds must meet the geometry specification, but also have the correct surface structure and be correctly bonded to withstand the thermal and mechanical stress when 1400 °C cast iron melt is poured into the mould.

This combined inspection has yet to be automated, it is currently manual.

1.2 Project sequence

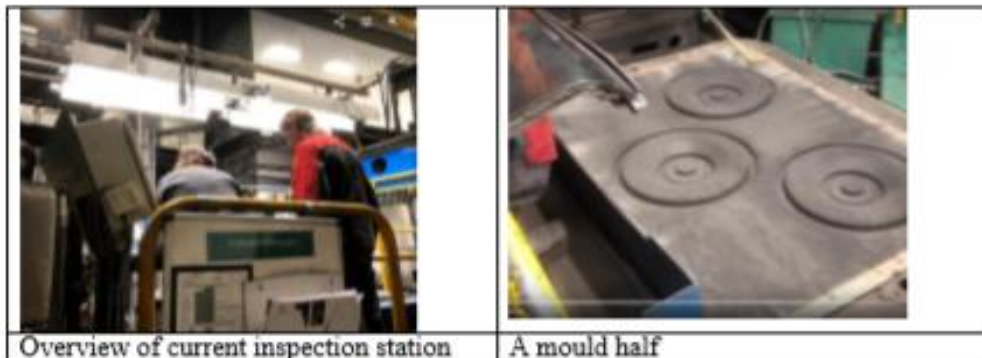
The plan is to develop a system for automated inspection and test it on the current production line, and later use the gained experience to equip the new production line with an automated solution.

1.3 Current Process

Currently an operator visually inspects each mould by leaning over them. The inspection time in the current process is about 30 seconds per mould half.

The mould is 1200 mm by 800 mm wide. The depth of the features from top to bottom can be 300 mm.

The current station has a limitation in height when installing equipment. There is roughly 2,5 meters between the mould and possible anchor points for mounting the equipment.



1.4 Future process

In the future process in the new foundry, it will no longer be possible to have an operator standing next to the moulds for visual inspection due to environment, health and safety (EHS) reasons. The intention is instead to analyze the moulds for both geometrical as well as suspected sand bonding issues in a fully automated way.

Volvo Group Trucks Operations

Powertrain Production
SE- 541 87 Skövde
Sweden

Telephone
+46 500 47 40 00

Registration No.
556000-0753

Registered Office
Göteborg, Sweden

In the current foundry the intention is to move the operator from the inspection station to instead inspect the mould remotely with visual assistance.

The new moulds will have dimensions of 1600 mm by 1100 mm with 400mm deep features. The dimensions of the moulds in the current process will remain the same.

1.5 Defect examples

A number of defect examples are shown in appendix 1.

Some of them indicate geometric deviations, mostly sand that is missing or sand parts that have been broken of which will cause defects in the finished casting. Other defect examples are poorly bonded sand, cracks in the sand or poorly bonded coatings applied to the sand after the moulding operation.

1.6 Request for information

Volvo requests information on possible solutions to one or several of these issues:

- Visualize the inspection process by using cameras to be able to move the operator to a remote location for environment, health and safety reasons as well as improving the inspection result.
- Measure the geometrical dimensions of the mould and compare with a CAD drawing to detect geometrical deviations
- Collecting images of the mould in real time for data collection purposes.
- Analyze captured images to detect anomalies of other types than geometric.

The suggested solution may be hardware (cameras, detectors, sensors etc.) or other (software, analysis methods etc.).

Included in the scope is also how to visualize the collected information to the operator at a remote location (screens, VR, etc.).

Volvo would like to conduct tests in the current mould inspection process, and later apply the possible solution in the future process. The main goal at this moment is to evaluate different solutions to later implement the best ones to the inspection process in the new foundry.

1.7 Confirmation of reception

Confirm the reception of this request for information with a short note whether you intend to reply to this at the latest 8th April 2020.



3 (6)

1.8 Respond time

Please respond with a draft suggestion not later than 2020-04-30

Corresponding party:

Volvo: Anton Hagman, anton.hagman@volvo.com, +46 (0)79 0624280

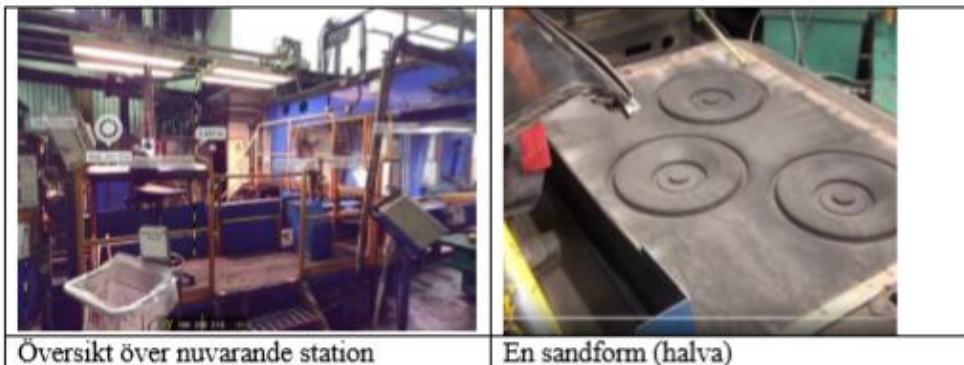
Volvo: Kristian Bäck, kristian.back@volvo.com, +46 (0)79 0624283

Bilaga C Kravspecifikation

Kravspecifikation exklusive inledning på dokumentet.

2. Översikt av systemet

Avsyningen i den nuvarande processen består idag helt av en manuell avsyningsstation. Operatören lutar sig över formen och gör en visuell avsyning av sandformen som kommer åkandes på en bana. Möjliga lösningar ska undersökas för att automatisera denna process.



2.1 Beroenden till andra system

Innan den pressade sandformen kommer till avsyningsstationen har den gått igenom en press som pressat in den karakteristiska formen i sanden. Innan dess så har sanden gått igenom en beredning för att ge den egenskaper som behövs för att kunna formas och även behålla sin form efter pressning och vid själva gjutningen.

Efter att sandformen blivit godkänd på avsyningsstationen går formarna vidare och kärnor läggs i sandformarna för att skapa det hålrum som gjutgodset senare ska få. Sedan sätts de två sandhalvorna ihop och skapar den slutgiltiga gjutformen.

Avsyningsstationen kommer in som en del i mitten av processen för tillverkning av sandformar.

2.2 Typer av defekter och arbetsgång

Det tros att mer än en typ av teknik kommer att behövas för att utföra den automatiserade avsyningen. Dessa tekniker kommer att delas in i geometriska bedömningar och visuella bedömningar.

Geometriska bedömningar innefattar system som skannar sandformen och jämför formen med toleranser som ges på en CAD modell.

Visuella bedömningar innefattar att kolla efter defekter som inte kan jämföras med ritningar. Detta innefattar torskand, sprickor och blackning som har lossnat. Om operatören kan utföra bedömningen från en avlägsen plats med hjälp av utrustning ska även utvärderas. Sedan ska en slutgiltig utvärdering för möjligheten av en komplett avsyning som innefattar både bedömning av visuella och geometriska defekter utföras.

2.3 Krav på leverantör och teknik

Här listas krav för att ta bort de leverantörer och tekniker som inte bedöms intressanta att gå vidare med.

Krav nr 1	Original	Föreslagen teknik ska vara riktad mot industriellt bruk
Krav nr 2	Original	Föreslagen teknik ska baseras på permanent fixerad hårdvara och ej vara portabel/handhållen
Krav nr 3	Original	Föreslagen teknik ska flytta bort den fysiska operatören från stationen helt och hållet
Krav nr 4	Original	Leverantörer ska aktivt delta i systemutvecklingsprocessen
Krav nr 5	Original	Leverantörer ska ha referenser inom industri och teknik

2.4 Önskemål på leverantör och teknik

Här listas de önskemål som ställs på leverantörer och deras teknik. Dessa önskemål ska användas för att rangordna lösningar för att få fram de som är mest intressanta att testa.

önskemål nr 1	Original	Föreslagen teknik kan detektera både geometriska och visuella defekter
önskemål nr 2	Original	Systemet ska vara flexibelt för framtida ändringar
önskemål nr 3	Original	Leverantören föreslår hur ett "proof of concept" kan utföras utan att implementera det kompletta systemet.
önskemål nr 4	Original	Systemet tar inte upp för mycket plats
önskemål nr 5	Original	Leverantören tror att systemet kan ha en cykeltid på under 30 sekunder
Önskemål nr 6	Original	Lösningförslaget svarar på minst 3 av 4 frågeställningar i RFI
Önskemål nr 7	Original	Lösningen innehar ett förslag på hur ljussättningen för systemet ska ske

3. Krav för "proof of concept"

Detta stycke behandlar de krav som ska verifiera att systemet kommer kunna avsyna. Dessa krav ska verifieras genom tester.

3.1 Inledande beskrivning och krav på Flytta Operatör

För att förbättra den nuvarande processens arbetsmiljö ska operatören flyttas bort från processen och genomföra avsyningen med hjälp av någon form av visuell hjälp. Detta ger både en mer ergonomisk miljö för operatören likaså en säkrare avsyning för operatören sett till relaterade olycksrisker som kan förekomma på den fysiska avsyningsstationen.

Krav nr 6	Original	Med hjälp av en eller flera kameror ska formen visualiseras till operatören som står på en avlägsen plats
Krav nr 7	Original	Kvalitén på avsyningsprocessen ska vara likvärdig eller bättre med visuell hjälp jämfört med manuell avsyning
Krav nr 8	Original	Svårighetsgraden för att avsyna med visuell hjälp ska vara likvärdig eller enklare jämfört med manuell avsyning

3.2 Inledande beskrivning och krav på Geometrisk bedömning

Med hjälp av mätteknisk utrustning ska geometrier kunna mätas upp i verkligheten och sedan jämföras med en virtuell kopia (CAD ritning) för att på så sätt göra en geometrisk bedömning genom jämförelser.

Krav nr 9	Original	Alla typer av geometriska defekter ska kunna mätas
Krav nr 10	Original	Mätningar ska kunna ske på former med måtten 1600x1100 mm samt ett djup på 400 mm
Krav nr 11	Original	System för mätning av geometriska defekter ska inte ta bort möjligheten att använda system för visuell bedömning
Krav nr 12	Original	Geometriska defekter ner till 1 mm ska kunna mätas

3.3 Inledande beskrivning och krav på Visuell bedömning

Den visuella bedömningen handlar om att fånga upp de defekter som inte går att hitta med hjälp utav geometrisk scanning. Exempel kan vara sprickor eller torrsand, vilket är defekter som inte påverkar geometrin.

Krav nr 13	Original	Synlig torrsand ska kunna upptäckas.
Krav nr 14	Original	Alla former utav synliga sprickor ska kunna upptäckas.
Krav nr 15	Original	All synlig blackning som lossnat ska kunna upptäckas.
Krav nr 16	Original	System för visuell bedömning ska inte ta bort möjligheten att använda ett system för geometrisk bedömning.

3.4 Krav på komplett system

Krav nr 17	Original	Bedömningsresultatet av de olika avsyningsmetoderna ska presenteras på ett förståeligt och överskådligt sätt för operatör.
Krav nr 18	Original	Alla bilder som samlas in ska ägas av Volvo.
Krav nr 19	Original	Bilder som samlas in ska annoteras med rätt/fel och bindas med flaskans id-nummer.
Krav nr 20	Original	Alla typer av geometriska defekter ska kunna upptäckas.

3.5 Krav på säkerhet

Krav nr 21	Original	Hårdvara får inte utgöra en säkerhetsrisk för eller skador på personer
Krav nr 22	Original	Hårdvara får inte utgöra en risk för skador på egendom

Referenser

- [1] Volvo Trucks, "volvotrucks," [Online]. Available: <https://www.volvotrucks.se/sv-se/about-us.html>. [Använd 01 04 2020].
- [2] Volvo Group, "Volvogroup," 10 02 2016. [Online]. Available: <https://www.volvogroup.se/sv-se/news/2016/feb/f-fabriken-i-skovde-40-ar.html>. [Använd 01 04 2020].
- [3] Volvo Powertrain, *Optical inspection of sand moulds*, Skövde, 2019.
- [4] Gjuteriföreningen, "Gjuteriföreningen," [Online]. Available: <https://gjuterihandboken.se/om-gjutning>. [Använd Mars 2020].
- [5] Gjuteriföreningen, "Gjuteriföreningen," [Online]. Available: <https://gjuterihandboken.se/handboken/5-modellberedning/59-kaernor>. [Använd Mars 2020].
- [6] GreenSand Controls LLC, "Youtube," [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=L2OJgtuFiEU>. [Använd Mars 2020].
- [7] Gjuteriföreningen, "Gjuteriföreningen," [Online]. Available: <https://gjuterihandboken.se/handboken/8-tillverkning-av-engaangsformar/82-formflaskor>. [Använd Mars 2020].
- [8] Gjuteri Föreningen, "gjuterihandboken," [Online]. Available: <https://gjuterihandboken.se/handboken/8-tillverkning-av-engaangsformar>. [Använd 08 2020].
- [9] Gjuteriföreningen, "Gjuteriföreningen," [Online]. Available: <https://gjuterihandboken.se/handboken/10-pessgjutning/102-konstruktionsraad/1026-kaernor>. [Använd Maj 2020].
- [10] Manufacturing Guide Sweden AB, "Manufacturing Guide," [Online]. Available: <https://www.manufacturingguide.com/sv/ordlista/gjutskagg>. [Använd Mars 2020].
- [11] Creative Tools, "Creative Tools," [Online]. Available: <https://www.creativetools.se/what-is-3d-scanning>. [Använd Mars 2020].
- [12] I. Wright, "Engineering.com," [Online]. Available: <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/12390/Quality-Basics-How-Does-3D-Laser-Scanning-Work.aspx>. [Använd April 2020].
- [13] Control Engineering, "Control engineering," 6 12 2018. [Online]. Available: <https://www.controleng.com/articles/what-is-machine-vision-and-how-can-it-help/>. [Använd 07 04 2020].
- [14] Vision Systems Design, "Vision Systems Design," 25 01 2018. [Online]. Available: <https://www.vision-systems.com/home/article/16739381/how-deep-learning-is-enhancing-machine-vision>. [Använd 07 04 2020].
- [15] R. Raicea, "freecodecamp," 28 10 2017. [Online]. Available: <https://www.freecodecamp.org/news/want-to-know-how-deep-learning-works-heres-a-quick-guide-for-everyone-1aedeca88076/>. [Använd 31 07 2020].
- [16] Deevio GmbH, "Deevio," [Online]. Available: <https://www.deevio.ai>. [Använd April 2020].

- [17] Training Industry, Inc, "trainingindustry.com," 22 04 2013. [Online]. Available: <https://trainingindustry.com/wiki/professional-development/request-information-rfi/>. [Använd 24 03 2020].
- [18] M. Osbeck och V. Olesen, *Styr- och övervakningssystem*, Göteborg: Chalmers tekniska högskola, Institutionen för Elektroteknik, 2019.
- [19] V. Olesen, *Föreläsning Industriella styr och övervakningssystem, FMEA och systematiskt urval*, Göteborg: Chalmers tekniska högskola, 2020.
- [20] Frost Konsult, "frostkonsult," 20 01 2013. [Online]. Available: <http://frostkonsult.se/fmeamall.htm>. [Använd 19 07 2020].
- [21] Volvo Powertrain, *Formkassation*, Skövde, 2019.
- [22] Cascade Control AB, *RFI Automated Mould Inspection, Volvo Truck, Skövde*, Mölndal, 2020.
- [23] Cascade Control AB, "Cascade," [Online]. Available: <https://www.cascade.se/om-cascade>. [Använd 22 04 2020].
- [24] Mabema AB, "Concept for "Automated mould inspection"," Linköping, 2020.
- [25] Unibap, "Volvo Powertrain - RFI answer," Unibap, Uppsala, 2020.
- [26] UNIBAP, "UNIBAP," [Online]. Available: <https://unibap.com/vad-vi-gor/industri/>. [Använd April 2020].
- [27] Faro, *Faro DMVS tech sheet*, Faro, 2020.
- [28] Faro, *Focus M & S tech sheet*, Faro, 2020.
- [29] Faro Technologies, Inc, "youtube," 24 10 2012. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?time_continue=2&v=aJLMf3SsqbE&feature=emb_title. [Använd 28 04 2020].
- [30] Photoneo, "Photoneo," [Online]. Available: <https://www.photoneo.com/motioncam-3d/>. [Använd 18 05 2020].
- [31] SmartRay, "SmartRay," [Online]. Available: <https://www.Smartray.com/applications/>. [Använd 18 05 2020].
- [32] Keyence, *Visionsystem with pattern projection lighting*, 2019.
- [33] Irida Labs, "Automated Mould inspection based on machine learning and computer vision," Irida Labs, Patras, 2020.
- [34] Irida Labs, "Irida Labs," [Online]. Available: <https://iridalabs.com/partnersandcustomers/>. [Använd 18 05 2020].
- [35] Stemmer Imaging, *Koncept (sensorer och mjukvara)*, Stockholm: Stemmer Imaging, 2020.
- [36] Stemmer Imaging, "Stemmer Imaging," [Online]. Available: <https://www.stemmer-imaging.com/en-se/applications/>. [Använd 18 05 2020].
- [37] Isra Vision, *Isra Metrology*.
- [38] Cognex, "Cognex," [Online]. Available: <https://www.cognex.com/what-is/deep-learning/deep-learning-vs-machine-vision-and-human-inspection>. [Använd 18 05 2020].
- [39] C. V., "3D natives," 8 Augusti 2019. [Online]. Available: <https://www.3dnatives.com/en/laser-3d-scanner-vs-structured-light-3d-scanner-080820194/>. [Använd Maj 2020].
- [40] Unibap, "Analys efter provfoton," Uppsala, 2020.

- [41] Mckinsey & Company, "Mckinsey," 23 03 2018. [Online]. Available: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/how-will-automation-affect-jobs-skills-and-wages#>. [Använd 31 07 2020].
- [42] J. Dusk och B. Sadler, "International Institute for Sustainable Development," 22 01 2019. [Online]. Available: [https://www.iisd.org/blog/automation-environment#:~:text=Upsides%20and%20Downsides&text=But%20without%20proper%20environmental%20objectives,\)%2C%20resource%20use%20and%20ecosystems.&text=This%20may%20worsen%20already%20significant%20pressures%20on%20ecosy](https://www.iisd.org/blog/automation-environment#:~:text=Upsides%20and%20Downsides&text=But%20without%20proper%20environmental%20objectives,)%2C%20resource%20use%20and%20ecosystems.&text=This%20may%20worsen%20already%20significant%20pressures%20on%20ecosy). [Använd 31 07 2020].