

Automatisering av en monteringsprocess

Av Martin Larsson och Martin Nyman

Summary

This final thesis has been conducted at IEA at LTH in Lund and at Trelleborg Forsheda, Product area Resonance Dampening. The purpose has been to investigate the production of Resonance Dampers and to examine how the manufacturing process would be affected by a higher degree of automation. A technically and economically interesting problem was then to be identified, investigated, and solved as thoroughly as possible under the constraints of the thesis.

The plant examined manufactures resonance dampers for the automotive industry. The dampers are used to cope with vibration and noise problems in cars. They consist of a silicone covered mass assembled in a metal box. The production includes covering the mass with silicone and assembly the product; putting the mass into its box and mounting the lid. Today the silicone covering process is automated while the assembly process is almost entirely manual.

The investigation showed that a number of production steps were suitable for automation. However the assembly process was the only step where significant savings in terms of work hours could be attained. For some of the other steps automation could be justified of other reasons, an automatic quality control of the assembly would for example increase the fault detection. In order to implement a rational and cost effective automation of the assembly process an automatic control of the quality of the silicone covering is a prerequisite. This problem has also an interesting technical aspect and is therefore the technical problem the thesis investigates.

As the defects to be examined are visible as brighter areas on the masses the approach for control has been the most obvious one: to examine them with digital image processing. In order to do this in real-time you need a system that can grab and analyze pictures fast, and communicate with other machines. A system with these characteristics is EasyVision. This system is developed for fast recognition of different objects in order to manipulate and control them. The hardware needed for this is a camera and a PC.

Series of tests has been conducted to find methods that describe the defects properly. These methods have been integrated in the system, and the system has been tested in factory-like environment. The results show that the system is capable of detecting virtually every defect visible for a human eye.

Sammanfattning

Detta examensarbete har bedrivits vid Institutionen för industriell elektroteknik och automation vid Lunds tekniska högskola och på Trelleborg, Trelleborg Forsheda, avdelning Resonance Damping. Syftet med arbetet har varit att undersöka produktionen av svängningsdämpare, och avgöra hur den skulle kunna förbättras vid en automatisering av dess olika steg. Vidare skulle ett teoretiskt och ekonomiskt intressant tekniskt problem identifieras och lösas så långt som möjligt inom ramarna för arbetet.

Den fabrik som arbetet utförts på tillverkar svängningsdämpare till bilindustrin. Dessa används för att ta bort ljud och vibrationer i bilarna. Man utvecklar svängningsdämparna själva i samråd med kunderna. Produkterna består av en silikonbeklädd massa monterad i en låda. Produktionen består av förbehandling av metaller, silikonbeläggning av metallmassorna och montering av dessa i lådorna.

Undersökningen av Trelleborg Forshedas produktion visade att en mängd arbetsmoment skulle kunna automatiseras. Av dessa var det emellertid endast monteringen som skulle ge betydande vinster i arbetstid. Övriga automatiseringar kan motiveras av andra skäl, speciellt skulle en automatiserad kvalitetskontroll av monteringen ge betydligt bättre felupptäckt. Att automatiskt kontrollera silikonbeläggningen av massorna är en förutsättning för att kunna genomföra en automatisering av monteringen på ett rationellt och kostnadseffektivt sätt. Att utveckla en automatisk kvalitetskontroll av dessa halvfabrikat är därför det tekniska problem rapporten avhandlar.

Eftersom de fel som kan uppstå på ett halvfabrikat är synliga som ljusare ytor har det mest uppenbara kontrollsättet använts: att kontrollera dem med hjälp av bildanalys. Förutsättningen för detta är ett system som kan ta in signaler, ta bilder och analysera dessa, och ge ut signaler snabbt. Ett sådant system finns i visionsystemet EasyVision. Detta är utvecklat för att snabbt känna igen olika objekt för att sedan manipulera dem och kontrollera dem. Den hårdvara som används är en kamera och en PC.

En mängd mätningar har utförts för att hitta metoder som beskriver felen på ett tillfredställande sätt. Dessa metoder har integrerats i systemet, och objekten har lärts in. Resultatet av mätserierna visar att systemet klarar att känna igen i princip alla fel som är synliga för blotta ögat.

Tillkännagivande

Vi vill tacka våra handledare Gustaf Olsson och Hans Windahl för deras hjälp och råd. Vidare vill vi tacka Trelleborg Forshedas personal för deras hjälpsamhet och öppenhet. Särskilt vill vi tacka Bo, Göran, Lena och Patrik för all den tid de har lagt ner på oss. Vi vill också tacka Gunnar Lindstedt på IEA för hans hjälpsamhet.

Ett särskilt tack riktar vi till Lars Kopp; utan hans kunskap och råd vet vi inte vad vi skulle ha gjort. Det förtroende Lars har visat oss genom att låta oss använda hans programvara är svårt att återgälda.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	7
1.1	SYFTE	7
1.2	MÅLSÄTTNING	7
1.3	PROBLEMSTÄLLNING	7
1.3.1	<i>Fas 1 - Kartläggning</i>	7
1.3.2	<i>Fas 2 - Vision och kvalitetskontroll</i>	7
1.4	METOD	7
1.4.1	<i>Fas 1</i>	7
1.4.2	<i>Fas 2</i>	8
1.5	AVGRÄNSNING	8
1.6	RESULTAT	8
2	FAS 1 – KARTLÄGGNING	9
2.1	FÖRETAGET	9
2.2	OMVÄRLDEN	9
2.2.1	<i>Kunder</i>	9
2.2.2	<i>Leverantörer</i>	9
2.2.3	<i>Konkurrenssituation</i>	9
2.3	PRODUKTERNA	9
2.3.1	<i>9669 – Exempel på produkt av typ 1</i>	10
2.4	PRODUKTIONSPROCESSEN	10
2.4.1	<i>Tvättning och blästring</i>	11
2.4.2	<i>Silikonbeläggning</i>	11
2.4.3	<i>Monteringen</i>	11
2.4.4	<i>Leveranskontroll</i>	12
2.5	RESURSFÖRBRUKNING (VILKA PROCESSER KOSTAR VAD)	13
2.5.1	<i>Plockning till silikonbelägningen</i>	13
2.5.2	<i>Plockning från vulkaniseringen</i>	13
2.5.3	<i>Montering</i>	13
2.6	KVALITET	14
2.6.1	<i>Kvalitetsstudie av feltyp 2</i>	14
2.6.2	<i>Befintlig kvalitet</i>	16
2.6.3	<i>Kvalitetens koppling till ekonomin</i>	16
2.7	LEVERANSPRECISION	16
2.8	ARBETSMILJÖ	16
2.9	TEORIER RÖRANDE AUTOMATISERING	17
2.9.1	<i>Investering i tillverkning</i>	17
2.9.2	<i>Kvalitet</i>	19
2.9.3	<i>Leveransprecision</i>	20
2.9.4	<i>Automatiserad produktion</i>	20
2.9.5	<i>Om investeringsbeslut</i>	21
2.9.6	<i>Plock till vulk</i>	22
2.9.7	<i>För kontroll av släpp</i>	23
2.9.8	<i>För monteringen</i>	23
2.9.9	<i>För kontroll av montering</i>	25
2.10	SLUTSATS	26
3	FAS 2 – AUTOMATISK KVALITETSKONTROLL AV HALVFABRIKAT	28
3.1	TEORI OM BILDANALYS	28
3.1.1	<i>Belysning</i>	28
3.1.2	<i>Igenkänning</i>	28
3.1.3	<i>Färger</i>	30
3.1.4	<i>Lågpassfilter</i>	30

3.1.5	<i>Derivering</i>	32
3.1.6	<i>Subsampling</i>	34
3.1.7	<i>Normalisering</i>	34
3.1.8	<i>Fouriertransform</i>	34
3.2	HÄRDVARA	35
3.2.1	<i>Ljuskänslighet hos kameran</i>	35
3.2.2	<i>Egenskaper hos lysrör och glödlampor</i>	36
3.2.3	<i>Färgdigitalkamera</i>	36
3.3	UNDERSÖKNING AV HALVFABRIKAT	37
3.3.1	<i>Bakgrund</i>	37
3.3.2	<i>Problem</i>	37
3.3.3	<i>Ljussättning</i>	37
3.3.4	<i>Lösningsansats Integrering/Mätning – Helhetslösning</i>	40
3.3.5	<i>Försök och uppställningar</i>	41
3.3.6	<i>Analys av resultaten</i>	42
3.4	SLUTSATS.....	45
4	BEGREPPSLISTA	46
5	LITTERATURLISTA	47
6	BILAGA 1 – ANDRA ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN	48
	KVALITETSKONTROLL AV RATTDÄMPARE	48
	<i>Bakgrund</i>	48
	<i>Problem</i>	48
	<i>Lösningsansats Integrering/Mätning – Helhetslösning</i>	49
	<i>Försök</i>	51
	<i>Analys</i>	51
	KONTROLLMÄTNING AV BOCKAD STÅLPROFIL	52
	<i>Bakgrund</i>	52
	<i>Problem</i>	52
	<i>Lösningsansats</i>	52
	<i>Försök</i>	53
	<i>Analys</i>	53

1 Inledning

Examensarbetet har utförts på Trelleborg, Trelleborg Forsheda AB och LTH i Lund under vintern 2004/2005.

1.1 Syfte

Examensarbetets första del syftar till att identifiera en eller flera lämpliga metoder för att automatisera tillverkningen på Trelleborg Forsheda Resonance Damping. Den andra delens syfte är att utveckla och utvärdera metoder för att med vision utföra automatiska kvalitetskontroller i produktionen.

Intressenterna i denna rapport är i första hand Trelleborg Forsheda och Institutionen för Industriell Elektroteknik och Automation (IEA) vid Lunds Tekniska Högskola (LTH). Den riktar sig också till alla de som är intresserade av den typ av problemställningar rapporten tar upp.

1.2 Målsättning

Målsättningen för arbetet har varit att åstadkomma något konkret som Trelleborg Forsheda har nytta av i sin produktion. Exempel på detta kan vara ändrade rutiner eller inköp av specifika maskiner. Målsättningen har vidare varit att de metoder som utvecklats skall vara praktiskt orienterade och vara möjliga att med så små medel som möjligt använda i praktiken. Ett annat viktigt mål har varit att få erfarenhet av industriellt arbete och av vilka frågeställningar som är centrala för industrin.

1.3 Problemställning

Monteringsprocessen på Trelleborg Forsheda är i dagsläget i stort sett helt manuell. Svårigheten för Trelleborg Forsheda är att produktion sker av en mängd olika produkter, förvisso med stora likheter, och att man anser sig sakna kompetens och erfarenhet av automationslösningar. Rapporten är därför rätt bred, den försöker kartlägga produktionen för att kunna identifiera vad som är grundproblematiken till varför ingen automation har skett och försöker finna vägar för en framtida automation med hänsyn till kvalitetsmässiga, ekonomiska, strategiska och tekniska aspekter. Ett huvudproblem identifierades och i och med att målsättningen med arbetet var att åstadkomma någonting konkret löser rapporten i fas två detta problem. Rapporten är därför uppdelad i två faser där den första kallas *kartläggning* och den andra kallas *vision och kvalitetskontroll*.

1.3.1 Fas 1 - Kartläggning

Det fundamentala i denna fas är att kartlägga hur tillverkningens olika processer påverkar slutresultatet och hur de bidrar till kostnaderna. Efter detta går det att se hur förändringar av dessa processer skulle påverka monteringen, vilket är en förutsättning för att kunna uttala sig om ändamålsenligheten hos olika förändringsåtgärder.

1.3.2 Fas 2 – Vision och kvalitetskontroll

Arbetet blir att ta fram en metod samt om möjligt utveckla en applikation för att kontrollera kvaliteten hos halvfabrikaten som uppfyller de krav som ställs på automationen enligt fas 1.

1.4 Metod

1.4.1 Fas 1

För att kartlägga produktionen har en indelning av produktionen utförts. Efter detta har aktiviteterna i respektive steg studerats visuellt och berörda personer har intervjuats. Där statistik har funnits tillgänglig har denna använts i den mån den har bedömts vara tillförlitlig. Därefter har en ekonomisk analys utförts på delprocesserna.

1.4.2 Fas 2

Som förundersökning gjordes inledande tester för att få en uppfattning om rimligheten i att använda sig av visuell kvalitetskontroll vid berörda stationer och vilken typ av utrustning som krävs för att klara uppgiften. En litteraturstudie såväl som intervjuer med experter på området utfördes därefter. I fallet med halvfabrikaten genomfördes flera testserier med påföljande statistiska analys för att kontrollera de olika metoder som därefter ansågs kunna vara lämpliga. I den senare delen av arbetet upptäcktes att statistiska serier inte gav så mycket eftersom antalet variabler som gick att ändra var för stort. Då förändrades metodiken till att utgå ifrån typfall, som identifierades hjälp av statistiken. Så fort ett sådant upptäcktes gjordes det till utgångspunkt för en ny testserie.

För att veta hur väl en automatisk kvalitetskontroll fungerar i praktiken bör den testas under exakt de betingelser som råder i verkligheten eller åtminstone så nära dessa betingelser som möjligt då man vill kunna garantera att försöksresultaten går att repetera. Men, de betingelser som systemet skall fungera i är i dagsläget inte till fullo kända och kan dessutom komma att variera med tiden, exempelvis vet man inte idag vilka nya produkter som kommer att tillverkas i framtiden. Därför har det ansetts som både tillräckligt och önskvärt att utvärdera systemet i en varierande, mindre tillrättalagd testmiljö och därigenom utveckla ett system som är så omvärldsinvärdant och anpassningsbart som möjligt. Rapporten kommer därmed inte innehålla några exakta förslag på gränsvärden, inställningar i form av exakt ljusintensitet och -färg, antal lampor eller bländartal och så vidare.

1.5 Avgränsning

Fas 2 avgränsar sig till att behandla visuell kvalitetskontroll av rätblocksformade svängningsdämpare.

1.6 Resultat

Resultatet av kartläggningen blev att automation genom robotik och då framför allt med stöd av vision i Trelleborg Forshedas fall utgör ett intressant alternativ. De ekonomiska vinsterna är stora och de strategiska respektive mänskliga aspekterna försämras inte nämnvärt om alls. Dessutom skapas möjlighet för en klart högre kvalitetsnivå vilket på sikt är viktigt. I fas två visas på en automatisk lösning som på ett bra sätt klarar av att ta över den manuella syningen av halvfabrikaten som sker idag. Inte bara en teoretisk lösning har tagits fram, utan även hård- och mjukvara avsedd att integreras i den befintliga produktionen om så önskas.

Vidare har arbetet resulterat i ytterligare två konceptlösningar på befintliga problem i produktionen. Målsättningen med rapporten har därmed uppfyllts enligt förhoppningarna genom att den både presenterar konkreta förslag för Trelleborg Forsheda och samtidigt har gett en bra insikt i industriella problem.

2 Fas 1 – Kartläggning

2.1 Företaget

Firma Formpressat Gummi, senare Forsheda AB, grundades 1946 i Forsheda i Småland. Den var under lång tid ett eget företag som levererade produkter såsom skottkärrhjul och dockor utöver de mer kända G- och V-ringarna. Företaget ingick senare i den brittiska TI-gruppen för att slutligen hamna i i den internationella gummispecialisten Trelleborgs ägo. Avdelningen Trelleborg Forsheda Resonance Dampening inom affärsområdet Engineered Systems specialiserar sig på resonansdämpare till bilindustrin. Kunderna är multinationella tillverkare såsom Ford (Volvo), DaimlerChrysler (Mercedes) och GM (Opel).

Avdelningen utför konstruktionen av svängningsdämparna själva i samråd med kunderna. Man köper in färdiga zink- eller järnmassor och andra komponenter såsom aluminium- eller plastlådor och skruvar. Silikondetaljerna gjuter man däremot själva. Även montering och kvalitetskontroll sköts helt och hållet inom avdelningen.

Produkterna kommer vanligtvis in i ett ganska sent skede när en bil konstrueras. Tack vare att biltillverkarna idag jagar viktbesparningar men samtidigt får fler och fler modeller får de ibland problem med störande vibrationer som upptäcks sent i bilutvecklingsprocessen. Då kan det vara för sent/för dyrt att göra stora omkonstruktioner och resonansdämpare kan då komma i fråga, även om de adderar vikt och kostnader till den aktuella bilmodellen.

2.2 Omvärlden

2.2.1 Kunder

Trelleborg Forsheda levererar till kunder inom bilindustrin. Detta är stora företag som Volvo, Opel och Mercedes. Trelleborg Forsheda ser leveransprecision, kvalitet och funktionalitet som något man måste ha för att få sälja sina produkter. Det man konkurrerar med är främst pris, men Trelleborg Forsheda säljer mycket genom att finnas på plats och kunna erbjuda snabba lösningar på sina kunders problem.

2.2.2 Leverantörer

Trelleborg Forshedas underleverantörer agerar på en öppen marknad, då Trelleborg Forsheda endast köper in standardprodukter som kan tillverkas på många ställen. Det är egentligen bara leverantörer på produktionsutrustning som det ställs komplexa krav på.

2.2.3 Konkurrenssituation

Jämfört med konkurrenterna är Trelleborg Forshedas svängningsdämpare uppbyggda på ett annat, patenterat sätt. Hos de konkurrerande produkterna är massorna upphängda i stället för inpressade. Trelleborg Forshedas konstruktion möjliggör användningen av silikon, vilket ger Trelleborg Forsheda en konkurrensfördel gentemot konkurrenterna eftersom temperaturoberoende funktion är en ordervinnare hos biltillverkarna. Tack vare detta har utvecklingen för Trelleborg Forshedas produkter varit positiv.

2.3 Produkterna

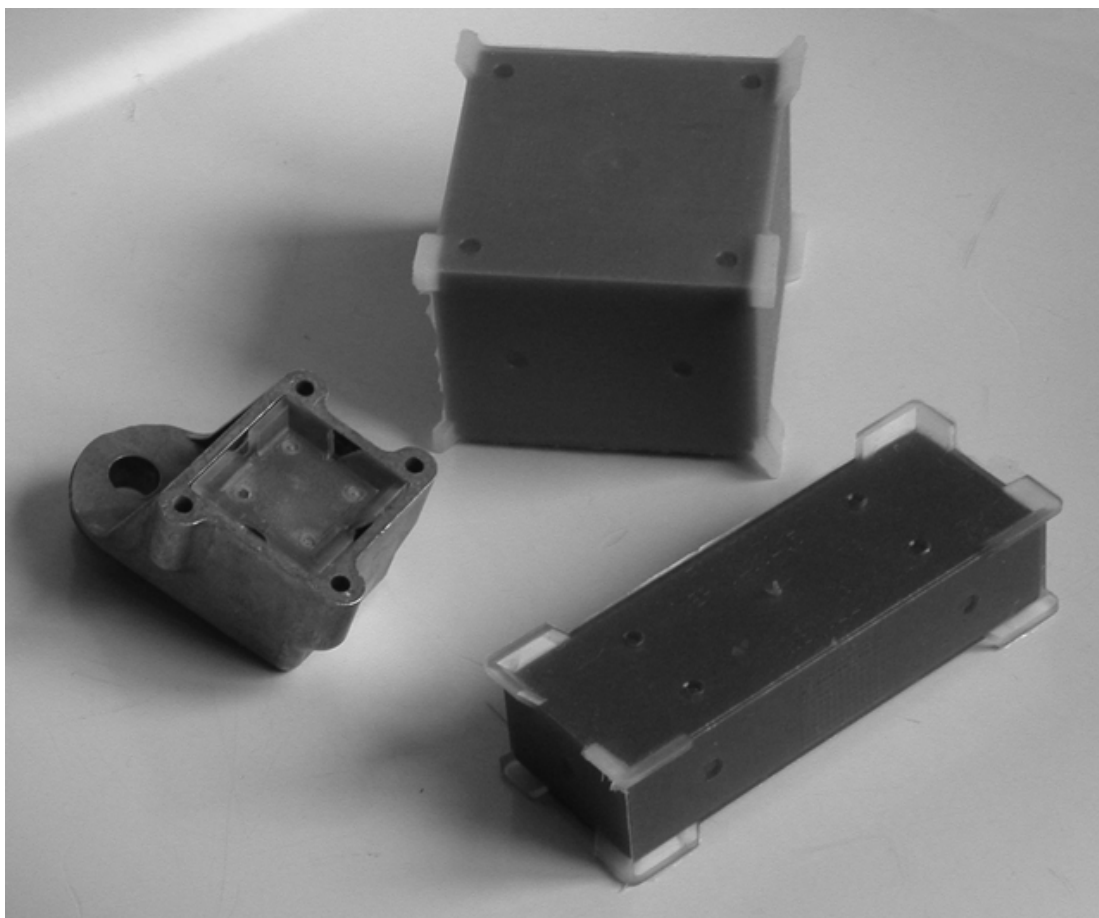
De produkter som behandlas i detta arbete är svängningsdämpare som används i bilar. Den består av en silikongummibeklädd massa av järn som är inklämd i en låda av aluminium. Det är den silikonbelagda järnmassan som sätts i svängning.

Varje dämpare har en egenfrekvens. När dämparen sätts mot en yta som vibrerar med denna frekvens börjar dämparens massa svänga och dämpar då ut ytans svängningar. Exempel på yta kan vara en baklucka eller en vinkelväxel i en bil.

Silikon används då det har en temperaturoberoende funktion. Egenfrekvensen hos svängningsdämparen påverkas därmed i liten utsträckning av varierande temperatur. Detta gör den lämplig för bilindustrin som kräver produkter som kan arbeta i väldigt varierande klimat. Nackdelen med silikon är förutom det högre priset jämfört med gummi att det har svårt att fästa mot metall.

2.3.1 9669 – Exempel på produkt

Denna produkt är det minsta exemplet på en svängningsdämpare av typ 1. Den består av en kopp och ett lock i aluminium, fyra skruvar och ett halvfabrikat med massan 0,5 kg. I figur 1 syns ett halvfabrikat av typen 9669 i sin tillhörande aluminiumkopp. Dessutom syns två andra, större halvfabrikat (9720 respektive 9743).



Figur 1: Ett urval av tre olika halvfabrikat som produceras på avdelningen Trelleborg Forsheda Resonance Dampening. Den minsta, 9669, är placerad i en aluminiumkopp utan monterat lock.

2.4 Produktionsprocessen

Produktionsprocessen kan delas in i fyra steg. Dessa steg kan i sin tur delas in i ett antal moment:

1. Tvättning och blästring

Massorna plockas upp och sedan packas de ner i korgar

Tvättning

Flytt mellan tvättning och blästring

Blästring

Plock ner i pallar

Mellanlagring, flytt till produktionen vid behov

2. Vulkanisering

Plock till vulkanisering

Beläggning med gummi automatiskt

Okulär kvalitetskontroll av vulkanisering

Plockas ner i pall

3. Montering

Plockas upp

Monteras

Plockas ner

4. Leveranskontroll

Kvalitetskontroll av montering

Alla moment kräver manuell hantering utom tvättning, blästring och automatisk beläggning av gummi.

2.4.1 Tvättning och blästring

De massor Trelleborg Forsheda köper in behöver tvättas och blästras innan silikongummi gjuts på dem.

Massorna kommer in till tvätt- och blästringsavdelningen i pallar, plockas upp för hand och läggs i korgar för att tvättas. Efter tvättning flyttas korgarna manuellt längs ett band för att blästras. Efter blästringen packas massorna huller om buller i pallar. När de behövs flyttas de till produktionsavdelningen som ligger ungefär femtio meter bort.

2.4.2 Silikonbeläggning

2.4.3 Monteringen

Monteringen sker normalt manuellt. Koppen läggs här i en form som är monterad i ett bord varefter en gummiklädd massa läggs i och lock sätts på. Delarna skruvas ihop med ett antal skruvar med hjälp av skruvdragare, se Figur 2: **En manuell monteringsstation..**

För mer komplexa produkter monteras även andra detaljer, som fästskruvar och tätningar.



Figur 2: En manuell monteringsstation. En färdig produkt sitter i fixturen till höger. I den gula lådan ligger lock och i den blå lådan ligger skruvar. Till höger syns skruvdragaren.

2.4.4 Leveranskontroll

Efter monteringen packas halvfabrikaten ner för att gå till leveranskontroll. Alla produkter skeppas pallvis med ett bestämt antal enheter i varje pall av enbart en sort. Vid leveranskontrollen kollas varje pall efter fel. De fel som kollas kan uteslutande härledas till monteringen. Speciellt kontrolleras om alla skruvar är ordentligt iskruvade.

I leveranskontrollavdelningen sitter det ett schema som anger hur många enheter som skall kontrolleras i varje pall. Detta värde beror på hur många detaljer det finns i pallen enligt tabell 1.

Tabell 1: Antalet enheter som skall kontrolleras i en pall med ett visst antal produkter. För samtliga nivåer gäller att det inte några felaktiga enheter är tillåtna.

Totalt antal i pallen	Antal att kontrollera i pallen
1-12	Alla
13-90	13
91-150	20
151-280	32
281-500	50
501-1200	80
1201-3200	125

Om en felaktig detalj eller fler hittats i en pall returneras den till monteringsavdelningen som kontrollerar hela pallen och åtgärdar de upptäckta felaktigheterna för att sedan skicka pallen till leveranskontrollen för ny kontroll.

Leveranskontrollen sker okulärt. Det som tittas efter är huruvida alla delar av en detalj finns med och speciellt att alla skruvar finns med och är väl indragna.

Vid en inspektion av leveranskontrollen noterades att vissa artiklar ligger förpackade på ett sådant sätt att alla enheter i en pall är väldigt lätta att kontrollera – de ligger i bara ett lager med alla skruvar synliga. Åtminstone en av leveranskontrollanterna gör i dessa fall en kontroll av alla enheter i en pall.¹

2.5 Resursförbrukning (vilka processer kostar vad)

För att avgöra vad automatisering av olika moment skulle innebära har produktionsmomenten undersökts med avseende på resursförbrukning. Denna undersökning begränsas till att uppskatta den arbetstid de olika momenten tar, eftersom det är denna faktor som skulle påverkas vid en automatisering. Vidare har undersökningen begränsats till att omfatta stegen *vulkanisering* och *montering*, eftersom det är här den största arbetskostnaden finns, samtidigt som de tekniska lösningarna här är enklast att genomföra. Dessutom är vinsterna här lättare att uppskatta än för exempelvis leveranskontrollen.

Förutom den direkta tidsbesparingen, som går att mäta, finns det besparingar i indirekt arbetstid om antalet moment för de anställda minskar. Speciellt för små moment som inte kan utföras mer än halv minut i sträck blir detta en betydande del av tidsåtgången. Av praktiska skäl har emellertid denna del av tidsförbrukningen inte undersökts grundligt utan endast uppskattats grovt.

2.5.1 Plockning till silikonbeläggningen

Plockning till silikonbeläggningen tar ungefär åtta minuter för 200 stycken, eller för mindre produkter 25-30 minuter för 700 stycken (9669). Detta ger ungefär 2,5 s/styck.²

2.5.2 Plockning från vulkaniseringen

Kontrollen och plockningen av halvfabrikat styckar i dagsläget upp arbetet. Utförelsen från vulkaniseringen måste kontrolleras ungefär var tionde minut, då tio klossar kan plockas ner, vilket tar en halv minut. Detta innebär en direkt tid på 3 s/styck. Ungefär halva tiden beräknas gå åt till att kontrollera släppet. Förutom att vara ett extra plock kräver momentet en del spilltid som förflyttning till och från bandet och inkörningstid av avbrutna processer (eg. montering). Den indirekta tidsåtgången uppskattas vara lika stor som den direkta.

2.5.3 Montering

De data som använts för monteringen kommer från de arbetskort som anger produktionstakten i produktionen. En uppföljning av hur väl dessa stämmer med den verkliga produktionstakten har genomförts av Trelleborg Forsheda, men någon analys av resultaten har inte gjorts. I arbetet har uppföljningsmaterialet använts för att avgöra tillförlitligheten av arbetskorten.

Snittiden det tar att montera en produkt beror på produktens sammansättning. Tre produktgrupper kan särskiljas.

Stålprodukter som monteras med skruvdragning, vilka utgör majoriteten av produkterna, har en monterings tid på i snitt 60 sekunder. Denna tid varierar mellan 47 och 86 sek. De produkter som monteras med hjälp av den automatiska skruvdragaren tar i snitt 51 sekunder.

En del stålprodukter monteras genom att pressas ihop manuellt. Snittiden för dessa är 31 sek

¹ Lena, Trelleborg Forsheda

² Patrik, 050406.

Zinkprodukter tar i genomsnitt 121sek att montera.

Av denna tid utgör plock till och från skruvdragningen ungefär hälften av tiden, medan resten av tiden består av skruvdragning.

2.6 Kvalitet

För Trelleborg Forsheda är kvalitet ett prioriterat område, då kundernas krav är felfri produktion. Upphovet till de kvalitetsbrister som når slutkund kan delas in i tre grupper:

Feltyp 1. Fel från underleverantörer

Den första typen är de fel som direkt beror på Trelleborg Forshedas underleverantörer. Det handlar främst om spänningar eller andra defekter i gjutningen av de lådor som halvfabrikaten är inneslutna i. Denna typ av fel är svåra att upptäcka för Trelleborg Forsheda då de ofta märks först när produkten monteras av kunden. Då de inte påverkas vid förändringar av Trelleborg Forshedas produktion behandlas de inte vidare i rapporten.

Feltyp 2. Fel i monteringen

Den andra typen av fel är de som uppstår i själva monteringen. I första hand är det skruvar eller plastdetaljer som aldrig monteras eller skruvar som inte dras i fullt ut.

Att personalen glömmet skruvar och andra detaljer är inget anmärkningsvärt. Det finns inte många hjälpmedel för montören annat än att själv försöka komma ihåg att montera alla delar. Att vissa skruvar inte dras i fullt ut är svårt även för montören att upptäcka om det handlar om små avvikelser. Enbart en noggrannare kontroll av varje skruv ger svar på om skruven är helt i.

Feltyp 3. Fel i silikonbeläggningen

Den tredje typen av kvalitetsbrister är de som uppkommer i silikonbeläggningen av halvfabrikaten. Felen uppträder främst i början av en batch innan processen hunnit stabilisera sig och man har finjusterat inställningarna. Det hörn på halvfabrikaten som agerar dropphörn är ofta en källa till silikonläpp eftersom blåsanordningen som skall förhindra droppbildningen inte alltid är rätt inställd.

2.6.1 Kvalitetsstudie av feltyp 2

Trelleborg Forsheda sade sig ha vissa kvalitetsproblem vid monteringen av svängningsdämparna. Etiketters och skruvars glöms och ibland skruvas inte skruvar i hela vägen. Vid en närmare undersökning av de reklamationer som företaget mottagit från kunderna under det senaste två och ett halvt åren var det endast ett fåtal produkter (2-3 av 15 undersökta) som överhuvudtaget fått godkända reklamationer på sig beroende på fel av ovanstående typ. Speciellt är det produkterna 9658 och 9706 som är sorgebarnen med 8 respektive 6 reklamationer vardera, varav fyra enheter med skruvproblem inklusive en saknad skruv.

Detta tycks inte vara speciellt mycket, men anses ändå vara ”alldeles för mycket” av Trelleborg Forsheda. En noggrannare kontroll visade att denna rätt låga siffra för antalet godkända reklamationer till viss del kunde förklaras av att den tidigare ansvarige för reklamationerna hade bra kontakt med kunderna och på så sätt kunde klara av vissa reklamationer vid sidan av de officiella kanalerna – som därmed undgår att hamna i statistiken. Fortfarande idag lever detta kvar, exempelvis får en kund extra etiketter som de kan klistra på då sådan saknas.

Känslan på Trelleborg Forsheda att det finns kvalitetsbrister i monteringen härrör antagligen snarare från leveranskontrollen och egna kvalitetskontroller än från de officiella reklamationerna. Vid leveranskontrollen kontrolleras ett visst antal enheter ur varje pall och all statistik bokförs i dator. Även här fanns ett förvånansvärt litet antal felaktiga detaljer, åtminstone fram till augusti 2004. Närmare sagt fanns det sju stycken spärrade pallar under 2004 fram till augusti och enbart en under hela 2003. Som jämförelse kan nämnas att i augusti, september och oktober månad 2004 spärrades 6, 7 respektive 9 pallar.

Det framfördes olika teorier till denna dramatiska ökning, bland andra att det skulle ha kommit in mycket ny personal eller att det var andra produkter som kördes efter semestern. En tredje och troligare förklaring är att man införde nya rutiner efter sommaren och först då började bokföra allt i datorn. Att så var fallet var det en av leveranskontrollanterna som hävdade.

För att få en egen uppfattning om vilka felfrekvenser monteringen genererar genomfördes en statistisk undersökning. Denna utgår ifrån materialet som genererats vid leveranskontrollen under perioden 1 augusti – 17 november år 2004.

Antaganden i den statistiska undersökningen

En statistisk undersökning av felfrekvenserna försvåras av ett antal faktorer. Tillförlitlig data är bara tillgänglig för en kort period och därmed relativt små volymer – speciellt för vissa produkter. Genom att slå ihop och räkna ut medeltal för alla produkter fås en mer statistiskt tillförlitlig data på grund av att datamängden ökar. De skillnader i konstruktion och tillverkning som finns mellan olika produkter tas då inte med i beräkningen och resultatet kommer att beskriva en medelprodukt. Detta behöver inte vara något problem så länge de slutsatser som dras av studien tar hänsyn till detta och inte slentrianmässigt överför resultaten till produktnivå.

För de produkter som bara packas i ett lager med alla skruvar synliga passar åtminstone vissa av kontrollanterna på att kontrollera alla enheter. Detta tas hänsyn till i beräkningarna. Däremot tas ingen hänsyn till att kontrollanten också har en felfrekvens, antagligen ungefär samma felprocent som montören. Detta eftersom felfrekvensen är i storleksordningen 1/1000 och inte skulle påverka resultatet nämnvärt.

Antalet skruvar varierar mellan två och åtta per detalj och det är rimligt att detta ger upphov till olika felfrekvenser i termer av antalet dåliga skruvförband per färdig svängningsdämpare. Men samband av denna typ är svåra att verifiera med de data som finns enligt resonemanget om datamängd ovan; osäkerheten är för stor på produktnivå.

För att avgöra hur väl kontrollmetodiken är anpassad till felfördelningen har simuleringar genomförts. Dessa utgår ifrån den felfördelning som kan härledas från leveranskontrollen. Simuleringarna har utförts för alla befintliga provtagningsmängder. En stor mängd kontroller har simulerats varefter andelen lyckosamma respektive misslyckade mätts. Resultatet från simuleringarna är endast ämnade att ge en uppfattning om leveranskontrollmetodikens lämplighet, och är inte tillräckligt detaljerade för att ligga till grund för en alternativ metodik.

Resultat av statistisk undersökning

Resultaten i kalkylbladet *Översikt* visar bland annat hur stor andel fel som statistiskt sett kan antas komma från monteringsprocessen. För att göra den här uträkningen har antagits att felet är någorlunda Poisson-fördelade, alltså att felhistoriken inte spelar någon roll för när nästa fel uppkommer. Kolumn R, kalkyl% felaktiga, visar väntevärdet på felprocenten förutsatt att kontrollen skett enligt mall. Kolumn S, förmodlig fel%, visar felprocenten förutsatt att alla synliga skruvar kollas. Eftersom sättet att packa vissa produkter kan variera med tiden blir denna siffra i vissa fall en ganska grov uppskattning. Kolumn T och U visar väntevärdet på hur många fel som hittills har levererats till kund, enligt de två antagandena.

Det resultat uträkningarna ger är att felfrekvensen ut från monteringen ligger på 0.62 promille förutsatt att kontroll sker enligt mallen i tabell 1. Om alla synliga skruvar kontrolleras är felfrekvensen 1,1 promille.

Antagandet att felet uppkommer oberoende av varandra har varit svårt att verifiera. Simuleringar har gjorts för att avgöra om felet var okorrelerade. Sannolikheten för att felet var helt okorrelerade var låg, under 5%. Å andra sidan uppvisar felfördelningen binominalliknande form, vilket talar för att de är relativt oberoende.

Resultaten från simuleringarna visade att 30-40 % av alla pallar med felaktiga i standardstorlek (300 stycken) klarar sig igenom leveranskontrollen.

2.6.2 Befintlig kvalitet

Typ 2

Vår studie visar att felfrekvensen för monteringsprocessen är i storleksordningen en promille. Detta stämmer väl överens med de studier som gjorts inom området felfrekvenser. I själva verket har Trelleborg Forsheda hög kvalitet på manuellt arbete. Felfrekvensen till kund är, då leveranskontrollen hittar 60-70% av alla pallar innehållande felaktiga detaljer, under en promille men över 100 ppm.

Typ 3

Det förs statistik på hur mycket som kasseras i silikonbeläggningen. Denna visas i bilaga xXX. Hur felen är fördelade förs det för närvarande ingen statistik på. Eftersom kvalitetskontrollen är manuell och inte utgör ett eget arbetsmoment kan den antas släppa igenom en stor andel fel. Att mäta denna andel är inte möjligt, eftersom det inte finns någon möjlighet att kolla detaljerna efter monteringen.

2.6.3 Kvalitetens koppling till ekonomin

Typ 2

Det finns en viss direkt ekonomisk vinst att göra om man kan minska antalet reklamationer (8 stycken under 2004 t o m 061404 – typ en i månaden) som beror på monteringen. Den direkta kostnaden för en reklamation är 500 SEK som kunden debiterar. Utöver detta tillkommer en kostnad för Trelleborg Forshedas hantering av reklamationen. Uppskattningsvis kostar reklamationerna Trelleborg Forsheda 2000 SEK per månad, eller 24 000 SEK per år exklusive goodwill.

Typ 3

Denna typ av brister upptäcks sällan av slutkund och det är därmed svårt att uppskatta vidden av de problem detta medför. Det hade varit bra för Trelleborg Forsheda om de kunde visa att deras produkter garanterat håller en viss kvalitet – men det kan de inte idag. Inspektioner av kontrollerade halvfabrikat och studier av de sätt halvfabrikaten i praktiken kontrolleras säger att kvalitetskontrollen är bristfällig och att Trelleborg Forshedas egna kriterier inte alltid uppfylls.

Internt ger emellertid kvaliteten upphov till kvantifierbara kostnader. Statistiken från den befintliga kontrollen visar att man kasserar produkter till ett värde av 17 000 kronor i veckan.

2.7 Leveransprecision

Trelleborg Forsheda använder sig av ett mått på leveransprecision som ser ut som följer: antal riktiga leveranser (antal, typ, dag) / totalt antal leveranser. Data för år 2005s nio första veckor visar på att Trelleborg Forsheda håller en mycket hög leveransprecision.³

2.8 Arbetsmiljö

Något som är slående i det dagliga arbetet är alla de plock, eller lyft, som personalen måste utföra. Ett halvfabrikat plockas åtminstone sex gånger innan leverans. Med tanke på att europapallar som används är rätt stora och produkterna som hanteras kan vara rätt tunga samtidigt som det är stora volymer så är det av intresse att minska antalet plock. Detta kan ske antingen genom att maskiner utför arbetet eller att man ändrar arbetsrutinerna så att man utför en större del av arbetet på varje halvfabrikat mellan plocken. Exempelvis att syna detaljerna och montera dem samtidigt.

De andra arbetsmoment som förekommer är också till stor del väldigt repetitiva. Vad som är positivt idag är att det går att kombinera olika arbetsmoment under en arbetsdag, vilket leder till en större variation i arbetet. Rent arbetsmiljömässigt kan det vara en försämring att eliminera ett arbetsmoment om det leder till större monoton i det övriga arbetet.

³ Leveransprecision RD Trelleborg Forsheda avd 28 samt samtal med Hans Windahl.

2.9 Teorier rörande automatisering

2.9.1 Investering i tillverkning

Tillverkningens uppgift

Något som är viktigt att ta hänsyn till vid beslut om tillverkning är vilka uppgifter denna har. Beslut som rör tillverkningen handlar inte bara om kostnader utan får också effekter på leveranssäkerhet, ledtid, kvalitet och andra faktorer. För att tillverkningsbesluten skall vara konsistenta med företagets strategi krävs att marknadens krav kan översättas så att de kan användas för att styra tillverkningen. En metod för detta är att definiera ordervinnare och kvalificerare hos marknaden.⁴ Detta förfaringssätt går ut på att täcka in marknadens krav i ett antal prestandakrav såsom t ex pris, kvalitet, flexibilitet och leveranssäkerhet och avgöra kravens natur som kvalificerande, orderförlorande kvalificerande eller ordervinnande.

Med kvalificerande egenskap menas att tillräckligt uppfyllande av egenskapen är en förutsättning för att agera på marknaden men att den vid högre uppfyllande inte är en konkurrensfördel. Orderförlorande kvalificerare är marknadskänsliga; man åker fort ut från marknaden om man slutar uppfylla kraven. Ordervinnande är slutligen de egenskaper som man konkurrerar med.

När man har gjort detta har man en klarare bild av olika egenskapers betydelse för företagets framgång.

Produktprofilering

En mer specifik metod för att avgöra hur ett beslut påverkar tillverkningens koppling till marknadsstrategin är produktprofilering.⁵ Denna går ut på att undersöka huruvida ett beslut gör tillverkningen mer eller mindre konsistent med marknadens krav. Modellen presenteras i figur 6.

Relevanta aspekter		Typiska karakteristika för processval		
		Manuellt	batch	line
Produkter och marknader	Produktsortiment	Diversifierat		Homogent
	Orderstorlek	Liten		Stor
	Förändringar i efterfrågan	Plötsliga		Långsamma
	Ordervinnare	Leveranstid/ unikhet		Pris
Tillverkning	Processteknologi	Generell		Dedikerad
	Flexibilitet	Hög		Låg
	Producerade volymer	Små		Stora
	Tillverkningens nyckeluppgift	Svara på förändringar avseende ledtid och specifikationer		lågkostnads-tillverkning

⁴ Terry Hill, Manufacturing Strategy

⁵ ibid

Figur 3: Produktprofilering enligt Hill. Figuren används för att avgöra hur väl en produktionsinvestering överensstämmer med företagets marknadsstrategi.

I tabellen läggs en marknads och dess produktionssystemens egenskaper in före och efter en händelse, som kan vara ett tillverkningsbeslut, ett marknadsinitiativ eller naturliga förändringar hos dessa. Det går alltså ut på att jämföra gammal tillverkning med ny.

Lean production

Trelleborg Forsheda är påverkade av konceptet Lean Production och försöker tillämpa det i sin produktion. Att undersöka hur investeringsbeslut passar in i denna strategi kan därmed vara intressant. Relevanta karakteristika för Lean Production är:

- Allt ansvar skall delegeras till lägsta möjliga nivå.
- Aktiviteter bör vara teambaserade.
- Organisationen skall vara horisontellt orienterad och fokusera på produkter snarare än på funktioner.

I Lean Production-filosofin är resursförbrukning ett centralt begrepp. För att kunna minimera resursförbrukningen krävs ett metodiskt angreppssätt. På Toyota som anses vara en föregångare i Lean Production arbetar man med att minska olika sorters spill:

The Seven Wastes enligt Toyota:⁶

1. Overproduction - Onödig överproduktion orsakar kostnader i form av extra produktionskostnader och lager längs hela försörjningskedjan.
2. Waiting time - Att bara titta på maskiner som kör, eller att vänta på att de skall bli färdiga. Denna kostnad är onödig, men svår att komma tillrätta med. Ofta finns restriktioner i form av avtal avseende bemanning av olika maskiner.
3. Transportation - Transporter tar upp tid och genererar arbets- och lagerkostnader, vilka skulle kunna minskas med bättre fabrikslayout.
4. Processing - processer kan gå att optimera i sig själva
5. Inventory - Lagerkostnader går ofta att minska genom att minska antalet lagringspunkter. Varje lagringspunkt ger upphov till nya problem.
6. Motion - Rörelse behöver inte vara värdeskapande. Pick and place-operationer, förflyttning mellan olika arbetsmoment är exempel.
7. Product defects - Bara att producera felaktiga detaljer kostar, det kostar att sortera ut dem, att slänga dem. Därför bör man undvika att producera felaktiga detaljer.

Att minimera allt spill fullständigt är givetvis omöjligt, men att vid varje beslutspunkt tänka efter hur beslutet skulle påverka olika typer av spill kan vara värdefullt.

Marknadsstrategi

Ytterligare en aspekt av en ökad grad av automation är att man med denna kan skapa inträdesbarriärer för nya konkurrenter på marknaden. Om automationen leder till minskade rörliga tillverkningskostnader blir det mindre intressant för konkurrenter att försöka ta sig in på marknaden. Ett inbrytningsförsök skulle

⁶ Eliminating Waste, The new manufacturing challenge,

kunna motverkas genom tillfälligt sänkta priser utan att det dominerande företaget skulle lida större skada och därmed är det alltså inte längre så intressant för konkurrenter att försöka ta sig in på marknaden.

2.9.2 Kvalitet

Kvalitet har både långsiktiga och kortsiktiga implikationer. Det är viktigt att fånga alla dessa för att få en uppfattning om hur kvaliteten påverkar företaget som helhet.

Kvalitetsmätning

Kvalitet mäts vanligtvis som:

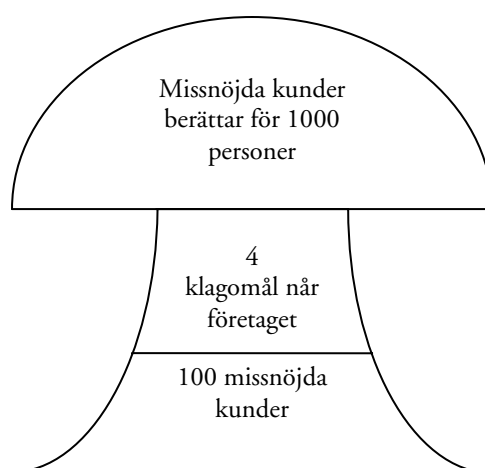
Kvalitet (per artikel) = (antalet uttagna artiklar – antalet defekta artiklar) / antalet uttagna artiklar

och anges i procent. Vid aggregering av flera artiklar kan man tänka sig minst två sätt. I det ena fallet räknar man ut kvaliteten per produkt och tar sedan medelvärde av alla produkter. Då tar man alltså inte hänsyn till proportionerna mellan de olika produkterna utan alla produkter väger lika mycket. I det andra fallet tar man hänsyn till hur mycket man har av varje produkt genom att man summerar antalet av alla uttagna artiklar och produkter och subtraherar den adderade summan av antalet defekta enheter för att slutligen dividera med antalet av alla uttagna artiklar och produkter. Det som avgör vilken metod som används är hur företaget värderar produkterna, ifall det är lika viktigt med hög kvalitet på både hög- och lågfrekventa artiklar eller ifall man värderar kvaliteten på högfrekventa artiklar högre.

$$\text{Kvalitet}_1 = (\text{Kvalitet artikel}_1 + \text{Kvalitet artikel}_2 + \dots + \text{Kvalitet artikel}_n) / n$$

$$\text{Kvalitet}_2 = (\text{Antal defekta artikel}_1 + \text{Antal defekta artikel}_2 + \dots + \text{Antal defekta artikel}_n) / (\text{Antalet uttagna artikel}_1 + \text{Antalet uttagna artikel}_2 + \dots + \text{Antalet uttagna artikel}_n)$$

Kortsiktigt är det enkelt att få återkoppling på sin kvalitet genom att titta på reklamationer. På lång sikt är det här emellertid ett ytterst osäkert mått. Undersökningar visar att bara var tjugonde missnöjd kund klagar hos säljaren eller leverantören.⁷ Å andra sidan för de sitt missnöje vidare till vänner och bekanta enligt figur 7. Kvalitetsbrister får alltså andra konsekvenser än de direkta reklamationerna.



Figur 4: Bakom varje reklamation döljer det sig fler missnöjda kunder som i sin tur sprider sina erfarenheter. sid 318 i bergmanklefsjö

⁷ Bergman & Klefsjö, Kvalitet från behov till användning

Kvalitetens ekonomiska betydelse

Litteraturen tillskriver kvaliteten stor betydelse för ett företags ekonomiska framgångar. En genomgång av PIMS-databasen kommer fram till att kvalitet är den sjätte mest betydelsefulla faktorn för hur framgångsrikt ett företag är, exempelvis viktigare än ett företags innovationsförmåga.⁸ Vidare finns det ett positivt samband mellan avkastning och kvalitet samt mellan nettovinst och kvalitet. Även bruttomarginalen i procent av omsättningen stiger kraftigt vid en högre kvalitetsnivå. Däremot leder kvalitetsförbättringar ofta till en försämrad lönsamhet på kort sikt.⁹ Detta är inte så konstigt med tanke på att kvalitetsförbättringar ofta innebär en investering av något slag, i tid eller i pengar.

En empirisk studie utförd av McKinsey och Tekniska Högskolan i Darmstadt i Tyskland pekar på liknande resultat. Studien tittade på underleverantörer till bilindustrin och delade in dessa i fyra grupper med avseende på kvalitet. Hög processkvalitet ledde till högre marginaler och hög designkvalitet ledde till ökad försäljning. Vad som är anmärkningsvärt i studien är den stora skillnaden i försäljningsökning mellan företagen med den bästa kvaliteten och företagen med den näst bästa kvaliteten i undersökningen – att gå från grupp tre till grupp fyra fördubblar försäljningstillväxten från i genomsnitt 8 % till 16 %.¹⁰

2.9.3 Leveransprecision

Med leveransprecision menas förmågan att leverera rätt antal av rätt produkt vid rätt tidpunkt. Den kan mätas på en mängd olika sätt och anges oftast i %. Vilket mått som är bäst beror på vad man är ute efter. Säg att kunden har beställt 1000 enheter av en produkt. Får den inga enheter är det klart att leveransprecisionen är 0 %. Om kunden däremot får 999 enheter, kan man antingen ange leveransprecisionen som 99,9 % eller 0 % - en ganska kraftig skillnad. Är det så att produktionen står still på grund av att en enhet av 1000 saknas bör det senare måttet användas. Blir produktionen inte lidande, utan det räcker att leverera den tusende enheten senare, kanske det är bättre med det första måttet.

2.9.4 Automatiserad produktion

Personalen och automation

Personalens attityd till robotik är enligt litteraturen blandad. Enligt Chao och Kozlowski (1986) så är low skill-personal skeptisk medan high skill-personal är mer positiv till automation. Första gruppen känner sig hotad av tekniken, andra gruppen känner att de kan utvecklas.¹¹

Arbetspsykologi och monotont arbete

För att hjälpa sina anställda med att klara av monotont arbete finns det främst två åtgärder som olika arbetsgivare har testat.

Den första är en utökning av arbetsuppgifterna som går ut på att man låter varje anställd sköta fler uppgifter. Arbetet kombineras eller struktureras på så sätt att de anställda får möjlighet att lära sig andra uppgifter på företaget. Förhoppningen är att detta skall leda till en större omväxling i arbetet men det uppenbara problemet är att det kan vara svårt att motivera någon till att lära sig fler saker och utföra fler uppgifter utan högre lön.

Den andra metoden går ut på att omstrukturera arbetet så att det blir mer utmanande. Hackman och Oldham (1975) identifierade fem nyckelaspekter som påverkar hur nöjd man är med sina arbetsuppgifter:

1. Skill variety, olika färdigheter som behövs för en uppgift
2. Task identity, i hur stor grad man har ansvar för en hel produkt eller bara en liten del.
3. Task significance, betydelsen arbetet har för andra.
4. Autonomy, graden av självständighet i planeringen och utförandet av arbetet.

⁸ Ahlmann, Hans. Kompendium i kvalitets- och underhållsstyrning, del 2. PIMS Findings.

⁹ Almgren, Bengt och Noll, Jan Åke. Kvalitet – vad vet man egentligen? Sid 37-39. Kompendium av Hans Ahlmann.

¹⁰ Günter Rommel, Rolf-Diter Kempis och Hans-Werner Kaas. *Does quality pay?* The Mckinsey Quarterly 1994, nummer 1.

¹¹ Smither, sid 463.

5. Feedback from the job itself, på vilket sätt arbetet ger feedback om utfört arbete.

Dessa fem aspekter används sedan för att utvärdera hur man kan förändra arbetet och göra det mer intressant.¹²

Det är svårt att uttala sig om resultatet av de båda metoderna, det finns inga entydiga bevis för att någon av metoderna alltid ger ett visst resultat. Generellt skall man passa sig för att använda sig av statistiska resultat när man är intresserad av hur enstaka individer reagerar på olika faktorer.

Felfrekvenser vid enklare manuella uppgifter

Det finns studier som behandlar hur stora felfrekvenserna är för olika typer av manuellt arbete. Enligt Hill så ligger felfrekvensen kring 0,5 % fel per operation för enklare uppgifter såsom restaurangnotor, löneutbetalningar, receptutskrivning med flera.¹³

2.9.5 Om investeringsbeslut

Ett faktum är att de orsaker som officiellt ligger till grund för investeringsbeslut inte alltid är samma som de som i efterhand upplevts avgöra beslutet.¹⁴ De i efterhand uppfattade orsakerna beskriver ofta verkligheten bättre. För att kunna åtgärda detta krävs att beslutsfattare blir medvetna om sin irrationalitet genom att följa upp investeringsbeslut med avseende på nyckelfaktorer. I tabell 2 syns ett exempel på en mätning på ett företag där det finns en skillnad mellan dokumenterad orsak och upplevd motivering för investeringsbeslut.

Tabell 2: Undersökning på ett Brittiskt tillverkningsföretag under 2,5 år. De upplevda orsakerna dokumenterades en tid efter varje investering.

Orsaker till investering	Dokumenterade	Upplevda
Kostnadsreduktion	50	19
Uppdatera/Introducera ny teknologi	37	55
Öka produktivitet	37	17
Öka kapacitet	37	27
Del av omorganisation	28	34
Öka kvalitet	25	16
Styrt av befintliga processval	25	21
Reducera ställtid	21	0
Öka produktflexibilitet	20	0
Ny process/befintlig teknologi	18	1
Minska kontrollkostnader	16	12
Köp av tillgänglig maskin	15	17
Förbättra materialhantering	10	0
Reducera ledtider	6	0
Processmodernisering	5	22
Automatisera process	4	0

I den här undersökningen har man motiverat beslut med ekonomiska kalkyler när det har varit andra orsaker som varit avgörande. Därigenom försvårar man styrning av verksamheten.

En princip som kan användas vägledande vid investeringsbeslut är den att varje investering bör kunna motiveras med en enskild orsak.¹⁵ Om man måste ta till flera anledningar för att motivera beslutet bör det ifrågasättas.

¹² Smither, sid 264-265.

¹³ Hill, sidan 81.

¹⁴ Terry Hill

¹⁵ Terry Hill

2.10 Åtgärder

I detta kapitel beskrivs hur de olika produktionsstegen skulle påverkas av en automatisering. De vinster som kan göras diskuteras, liksom olika tekniska lösningar och hur de passar produktionens uppgift.

De kostnadsberäkningar som har gjorts baseras på den faktiska tid som sparas in. I vilken utsträckning dessa tidsbesparingar kan omsättas i pengar kan endast Trelleborg Forsheda avgöra.

En parameter för att bedöma åtgärder är hur de passar tillverkningens uppgift. Trelleborg Forshedas tillverkning sker i batcher med medelstora serier enligt i förväg fastställda kontrakt. Produktionstakten är alltså jämn normalt sett. Å andra sidan behöver Trelleborg Forsheda snabbt kunna svara på förändringar i produkterna. Trelleborg Forsheda bedöms sammantaget ha en ganska typisk batchtillverkning med de krav på produktionen det innebär.

2.10.1 Plock till vulk

Vinster

Plockningen till vulkanisering är ett väldigt litet moment i produktionen. Icke desto mindre innebär det en hel del tunga lyft.

Den direkta tidsåtgången för momentet uppgår till $200\text{kr/h} \cdot 2,5\text{s} \cdot 700\,000\text{st/år} / 3600\text{ s/h} = 97\,000\text{ kr/år}$ totalt. Den indirekta tiden är försumbar, eftersom endast var tvåhundra produkt utgör ett störningstillfälle. Kostnadsbesparingen i sig själv är alltså inte tillräckligt stor för att motivera åtgärden.

En vinst är att man med vissa lösningar kan frigöra tid hos den robot som plockar mellan pallet, gjutning och vulkanisering. I dagsläget är denna ingen kritisk resurs men detta kan ändras i och med andra åtgärder.

En annan sak som skulle kunna förbättras är antalet avbrott i vulkaniseringsprocessen. I dagsläget måste denna stängas av medan man byter pallet. Detta avbrott är inte långt men inskränker likväl kapaciteten med någon procent. En lösning som tar bort detta produktionsstopp vore därför önskvärd.

Denna åtgärd skulle reducera antalet behandlingspunkter och på det sättet passa in i produktionsstrategin. Beaktas bör emellertid att en lösning inte innebär alltför förlängda ställtider, eftersom man arbetar med så små serier.

Arbetsmiljömässigt är det naturligtvis en vinst att kunna eliminera detta fysiskt påfrestande arbetsmoment.

Lösningar

Två angreppssätt har identifierats. Antingen en central enhet som plockar produkter till alla liner eller en lösning för varje line.

En central enhet implicerar i princip någon sorts robot. En möjlig lösning är en kamerastyrd robot som kan känna igen och plocka alla typer av massor. En annan är någon form av positioneringsmekanism i anslutning till en robot, exempelvis en magnet som slumpmässigt plockat upp ett halvfabrikat i taget på en plan yta där halvfabrikatet sedan lätt kan plockas med hjälp av en kamerastyrd robot.

Förutsatt att varorna kommer in som idag är detta plockningsproblem väldigt avancerat. För att inte mjukvaran skall bli väldigt dyr måste krav ställas på hur massorna är sorterade.

En decentraliserad lösning kan vara en lösning liknande den som redan finns till en av vulkmaskinerna, men som är anpassad till fyrkantiga massor. Fördelen med denna lösning är att man kan leda massorna direkt till det första steget i vulkaniseringsprocessen och därigenom spara tid för vulkprocessens robot. Ett problem med den här typen av lösning är att konstruera den så att den passar flera produkter.

En annan lösningsmodell är att anpassa vulkprocessens robot till att kunna plocka direkt ur en europapall. Detta kan ske med hjälp av något positionerande verktyg, med hjälp av vision eller både och.

Koncepten har olika produktionsstrategiska fördelar. För en decentraliserad lösning är fördelen kopplad till produktionsflödet. Plock direkt från varje line kommer att minska antalet hanteringsställen. De centrala enheterna har å andra sidan en fördel i det att de inte försvårar en återgång till det gamla sättet om det skulle bli förändringar som omöjliggör plock direkt från line. Varje lösning kommer emellertid att innebära en fast merkostnad vid introduktion av nya produkter.

2.10.2 För kontroll av släpp

Vinster

För att kunna automatisera plockning från vulkaniseringsprocessen måste man kunna automatisera kontrollen av halvfabrikaten. Att kontrollera släpp är alltså en förutsättning för att kunna automatisera hela flödet från vulkaniseringen.

Den direkta arbetskostnad som skulle kunna sparas in på detta moment beräknas till 3 sekunder * 700 000st/år / 3600s/h * 200kr/h = 117 000 kronor om året med nuvarande beläggning om produkten plockas ned i pall automatiskt. Därutöver kan den indirekta arbetstiden sparas. Den består av spiltid som förflyttning till och från bandet och inkörningstid av avbrutna processer. Denna besparning är förmodligen större än den direkta men beräkningar av den låter sig inte enkelt göras med rimlig noggrannhet.

Ytterligare en vinst är att automatiseringen kommer att innebära att statistik om släppen blir tillgänglig, något som inte finns idag. Denna kommer att ge information som eventuellt kan användas för att styra processen: öka kvaliteten och/eller pressa cykeltiderna. Kassationerna kostar i dag $52 * 17000 = 884\,000$ kr/år. Kan man minska dessa finns det alltså betydande vinster att göra.

En automatiserad kvalitetskontroll kommer sannolikt också att förbättra kvaliteten. Eftersom denna inte genererar kvantifierbara vinster kan emellertid inte detta faktum ensamt motivera en investering.

Möjliga lösningar

För kvalitetskontrollen är det möjligt att använda sig av någon form av visionsystem. En svårighet finns då varje halvfabrikat har sex sidor som behöver kontrolleras, som dessutom ser olika ut: exempelvis är det bara två av dem som är likadana på 9669. För att möjliggöra kontroll av alla sex sidor behövs en manipulator och/eller flera kameror.

Ett alternativ skulle kunna vara mekaniska metoder, att mäta styvheten hos hörnen. Men detta ger inte full information då det inte säger något om framtida styvhet hos hörnen på grund av släpp som växer med tiden.

Två halvfabrikat som tillverkas idag är snarlika i sin utformning. För att förhindra att de monteras i fel kopp färgar man idag den ena gul. Därmed tappar man möjligheten att kontrollera släpp till en ganska stor del. Detta skulle inte behövas med en automatisk identifiering och montering.

2.10.3 För monteringen

Vinster

Monteringen är den process som drar mest direkta kostnader. Den direkta arbetskostnaden beräknas uppgå till $60s/st * 700\,000/år / 3600s/h * 200kr/h = 2\,330\,000$ kr/år.

Knappt en tusendel av stålprodukterna är felaktigt monterade. Om automatisering skulle minska denna frekvens går inte att avgöra. Däremot kommer automatisk montering att underlätta för automatisk kvalitetskontroll, som definitivt kommer att förbättra kvaliteten hos levererade produkter.

Möjliga lösningar

För att frigöra arbetskraft från processen krävs att ingen behöver närvara vid den hela tiden. Alltså behöver en monteringsmaskin kunna förse sig själv med alla delar den behöver. Avgörande för hur mycket tid som sparas är hur ofta den behöver matas, hur lång ställtiden är, felfrekvensen - allt i förhållande till kapaciteten.

Det finns en uppsjö tänkbara lösningar. En avgörande parameter är läget på stationen, om den skall ligga i anslutning till eller fristående från vulkmaskinerna. Här får man ta hänsyn till arbetsbesparingar och felkänslighet. Exempel på konfigurationer:

- Montering i anslutning till vulkanisering, en robot totalt.
- Montering i anslutning till vulkanisering, en robot per line.
- Central lösning, en fristående monteringsstation.

Metoden med en central lösning har i viss mån redan undersökts av Trelleborg Forsheda och ansetts som för dyr, inflexibel och avancerad. Företaget som tillfrågades om en sådan lösning förespråkade ett system med en central robot av ABB-typ kombinerat med palletter för hantering av de ingående detaljerna. Ungefär hälften av de produkter som tillverkas idag skulle ha klarats av med denna utrustning.

Att plocka halvfabrikaten efter eftervulkaniseringen är inte helt elementärt och är svårt att göra på ett traditionellt mekaniskt sätt. En lösning på detta problem är att plocka dem med en kamerastyrd robot. Kameran används för att identifiera halvfabrikaten och deras position och orientering på bandet efter eftervulkaniseringen. Detta skulle göra plockningen från bandet flexibel och inte kräva några omställningar vid en ny batch. Däremot skulle systemet innebära visst programmeringsarbete om ett helt nytt halvfabrikat skall börja tillverkas.

Även de övriga ingående detaljerna bör hanteras automatiskt. Locken till lådorna tar inte speciellt mycket plats och väger inte heller särskilt mycket. De kommer levererade huller om buller pallvis, och att plocka dem automatiskt direkt ur pall är därmed ett krävande och dyrt problem. En bättre lösning är att ha ett magasin till roboten som sköter monteringen, exempelvis ett revolvermagasin som klarar av att hålla alla de lock som används vid just den produktionslinjen, ungefär tre-fyra stycken olika. Flera timmars behov skulle kunna staplas på en höjd på en meter (locket tjocklek är mindre än 5 mm) och inga justeringar skulle behövas vid omställningar. Liksom i fallet ovan krävs det dock visst arbete då en ny produkt skall införas i form av programmering och mekaniska anpassningar.

Kopporna utgör det största problemet vid en automatisering, då de är rätt olika till sin utformning. Däremot kan leverantören till viss grad packa dem i pallar på ett sätt som underlättar automatisk plockning med hjälp av vision. En bättre ordning i det som skall plockas underlättar i stor utsträckning vid en sådan lösning. Problemet är komplicerat och skulle förmodligen kräva mycket arbete för att fungera tillfredställande. Och även om man löser det för befintliga koppar behöver det nödvändigtvis inte vara så att lösningen fungerar för framtida detaljer. Liksom i fallet med locken blir därför en process med mänsklig inblandning förmodligen den bästa lösningen på grund av den stora tekniska utmaningen. Skall man ha magasin för en lång tids produktion blir det rätt skrymmande, en meter räcker inte till mer än fem minuters produktion för vissa produkter.

Cykeltiden för en svängningsdämpare ger ganska stora möjligheter att utföra flera moment med en robot. Att plocka en kopp ur ett magasin, plocka ett halvfabrikat från bandet, placera detta i koppen, plocka ett lock från ett annat magasin och placera detta i fixturen och sedan packa den färdiga detaljen i en pall skulle enkelt hinnas med tidsmässigt. Det som tar lite tid är skruvdragningen, så om det är ont om tid kan detta göras av en traditionell automatisk skruvdragare av den typ som idag finns i den halvautomatiska monteringsstationen. Under tiden skruvförbanden monteras kan nästa enhet förberedas av roboten. Användandet av fixtur och skruvdragare ökar ställtiden något då dessa måste förberedas till produktionsbyten. Ställtiden utgör dock ingen flaskhals då det i dagsläget tar drygt en timme att byta till produktion av ett annat halvfabrikat i silikongjutningen.

Alla föreslagna lösningar har vissa strategiska nackdelar i det att de minskar flexibiliteten, framför allt ökar åtgärderna tiden det skulle ta att införa en ny produkt i produktionen. Detta skall beaktas vid en eventuell automation. Vid ett visionstyrt system kommer ställtiderna inte att bli lidande medan detta är ett potentiellt problem för mekaniska lösningar. Sårbarheten blir något större då man är beroende av att tekniken fungerar. Det är också därför bra om man vid behov har möjlighet till manuell montering. Den stora vinsten med en automation enligt ovan är den minskade tillverkningskostnaden. När Trelleborg Forshedas patent går ut kan de räkna med att marknaden för de produkter som berörs kommer att bli betydligt priskänsligare. Därför är det angeläget att minska kostnaderna för tillverkning innan andra aktörer hunnit komma in på marknaden. Automation kan då vara ett sätt att skapa inträdesbarriärer.

En annan stor vinst är ökad kvaliteten; även om automationen i sig inte leder till bättre kvalitet blir det enkelt att införa automatiska kvalitetskontrollsystem i monteringsprocessen.

Fabriksflödet kommer att förbättras med en montering i anslutning till vulkaniseringen, antalet hanteringspunkter kommer att minska. Detta medför ökad genomströmning och minskad kapitalbindning.

Hur arbetssituationen kommer att påverkas av en automatiserad montering är svårt att förutspå. Arbetsmiljömässigt så kan den enligt teorin ske både förbättras och försämrats. Det arbete som återstår är mer kontrollerande än producerande. De nuvarande arbetsuppgifterna i monteringen är väldigt monotona, men man har viss möjlighet att växla mellan olika arbetsuppgifter. Risken finns att bara något enstaka moment återstår efter genomförd automation, exempelvis att fylla på ett magasin var tionde minut. Förhoppningsvis kan man hitta andra, mer utmanande arbetsuppgifter om så är fallet än att hela tiden fylla på magasin till fyra stycken produktionslinjer.

2.10.4 För kontroll av montering

Vinster

Det görs inga uppenbara arbetsbesparingar av att automatisera det här momentet. Möjligtvis kan man inskränka leveranskontrollen något. Däremot kan en omfattande kvalitetsförbättring åstadkommas. Felfrekvensen, som är i storleksordningen en på tusen, skulle förbättras radikalt med ett fungerande automatiskt system för kvalitetskontroll.

Möjliga lösningar

Det har visat sig att indikatorn uppnått moment vid skruvdragningen inte är tillräckligt för att avgöra om skruvarna är i på ett korrekt sätt. Toleransen hos skruvarna är nämligen sådan att det moment som inte orkar dra i en skruv kan dra sönder en annan. Det behövs alltså en till kontroll av skruvdragningen utöver denna momentkontroll.

Kontroll av att detaljen är rätt monterad, det vill säga att inga delar saknas, är ett förhållandevis enkelt problem. Ett kamerasystem eller en ultraljudsundersökning skulle klara att avgöra om någon detalj saknas. I detta fall förslås en kamerabaserad lösning, då den tekniken är vanligare och bättre utvecklad än motsvarande ultraljudsteknik. Dessutom slipper man uppenbara problem som känsligheten för tryckluft som ultraljud lider av. Den största svårigheten ligger i att integrera kvalitetskontrollen i monteringsprocessen på ett så resurssnålt sätt som möjligt. Vid en automatisk montering är detta lätt att åstadkomma, vid en manuell montering något svårare. Man vill helst inte ha ytterligare ett eller plock i form av ”från montering till kvalitetskontroll, från kvalitetskontroll till pall”.

Vad gäller kontroll av huruvida skruvar är fullt idragna eller inte är lösningen lite mer komplicerad. Det går inte att ovanifrån se om skruven är fullt idragen. Fenomenet kan dessutom ta sig uttryck som en glipa mellan lock och kopp istället för att skruvhuvudet stannar på en nivå högre än normalt ovanför locket. De toleranser det handlar om här är tiondels millimetrar, och lådorna har yttermått som har större toleranser än detta och alltså är det svårt att på något sätt mäta dessa brister. För att komplicera saken ytterligare är

vissa skruvhuvuden nedsänkta vilket omöjliggör en visuell kontroll av skruvhuvudet från sidan av dessa produkter.

Att mäta avståndet mellan skruvhuvudet och locket är det mest uppenbara. En annan idé är att mäta glipan mellan locket och koppen. Den senare lösningen fångar problemet bättre, men kan vara svårare att realisera.

Vid både automatiserad och manuell montering kan man ha ultraljud vid kontroll av skruvarna. Eftersom det behövs en kontroll per station för att kunna integreras på ett bra sätt i produktionen krävs att det är billigt, varför då ultraljud skulle kunna vara en lösning. I denna tillämpning skulle man använda sig av interferensmönster från ultraljud. Själva ultraljudstekniken är relativt billig och klarar toleranser på 0,1 mm.¹⁶ Nackdelen är att den kommersiella utvecklingen av ultraljusprodukter för ändamål av denna typ är i det närmast obefintlig och ett sådant system skulle alltså behövas utvecklas på egen hand, något som gör systemet onödigt dyrt. Den ultraljudsutrustning som finns att tillgå är främst inriktad på att mäta avstånd med hjälp av tidmätning. Detta ger en alldeles för låg upplösning för ändamålet ovan.

Andra lösningar vore att mäta det moment som skruvdragarna arbetar med. En skruv som dras i på ett riktigt sätt och en skruv som stannar för tidigt får olika utseenden på momentkurvorna. Eventuellt så krävs det ett större moment att dra ur en skruv som blivit ordentligt iskruvad än en som fastnat för tidigt. Då skulle man kunna försöka dra ur skruven med ett moment som ligger mellan dessa gränser.

En annan ide, som bara funkar i automatiserad montering, är att mäta positionen på skruvdragaren när skruven är nerdragen. För att detta skall ge ett bra resultat måste emellertid lockets position vara känd. Detta skulle kunna uppnås genom att pressa koppen och locket underifrån mot ett känt plan. På så sätt försäkras man sig om att inget glapp finns.

Om man inte kontrollerar skruvarna automatiskt bör leveranskollen förändras. Eftersom felet i monteringen inte har så hög korrelation kommer många fel att slinka igenom kvalitetskontrollen som den ser ut idag. Den metod man använder sig av idag är framtagen för att kontrollera kvaliteten i en kontinuerlig process, exempelvis en kemisk industri, där felet har en tendens att klumpa ihop sig. Metoden hade kanske varit användbar i kontrollen av halvfabrikaten, men där har man istället valt att kontrollera varje enhet. Det naturliga vore att kontrollera varje produkt även om detta skulle innebära en högre styckkostnad. En rutin som kan tillämpas för att effektivisera avsyningen är att i så stor utsträckning som möjligt packa svängningsdämparna på så sätt att så många skruvar, skyddslock och andra detaljer som möjligt är direkt synliga för kontrollanten.

2.11 Slutsats

Den i särklass största potentialen till ekonomiska vinster finns att göra vid en automation av monteringen. De andra investeringarna som diskuterats ovan ger få om några ekonomiska vinster. En förutsättning för en väl fungerande automatisk produktion är att ett bra flöde till monteringen kan åstadkommas. Två huvudproblem med detta har identifierats. Det första är kvalitetskontrollen av halvfabrikaten och det andra är hanteringen av halvfabrikaten. Kan inte dessa delproblem lösas på ett bra sätt kommer produktionsprocessen bli beroende av mänsklig arbetskraft i vissa delmoment. Problemet med detta är att det är svårt att få ett effektivt utnyttjande av personalen om den måste anpassa sin arbetstakt efter de maskiner som finns. Att kontrollera ett halvfabrikat och sedan placera det på önskad plats tar ungefär tre sekunder medan cykeltiden för maskinerna är från 40 sekunder och uppåt. Att ha ett manuellt moment mellan vulkanisering och montering skulle därför innebära ett väldigt ineffektivt nyttjande av arbetskraften, eller stora mellanlager. Ingetdera är önskvärt.

Kvalitetskontrollen finns det ingen färdig standardlösning och det är vid första anblick inte givet att det går att lösa på ett ekonomiskt försvarbart sätt. Hanteringen av halvfabrikaten däremot går att lösa på flera sätt, bland annat finns det mjukvara som klarar av uppgiften att med hjälp av en kamera plocka dem. Del

¹⁶ Neural object classification using ultrasonic spectrum analysis

två av denna rapport kommer därför att inrikta sig på att lösa problemet med en automatisk kvalitetskontroll av halvfabrikaten.

3 Fas 2 – Automatisk kvalitetskontroll av halvfabrikat

Denna del av rapporten behandlar automatisk kvalitetskontroll av halvfabrikat med hjälp av bildbehandling. Speciellt är det halvfabrikat av typen 9669 som har undersökts men de metoder och den hård- och mjukvara som utvecklats är utformade på så sätt att de enkelt kan anpassas även till andra halvfabrikat och då främst de rätvinkliga.

3.1 Teori om bildanalys

För bildanalys finns en mängd olika metoder och teorier. Tillämpningsområdena av dessa varierar. Det finns metoder som avser igenkänning av objekt, filtrering av data, samt analys av objekt.

Förutsättningarna för bildanalys är att det finns en given datamängd att analysera. I detta arbete utgår ifrån att indata är en del av en bild, representerad av en matris där värdet i varje element är medelvärdet av intensiteten för det område den representerar.

I en bild finns olika typer av information. Man brukar skilja på forminformation och texturinformation. Den första typen av information är den som har med olika objekts form att göra. Detta är hörn, kanter, hål, upphöjningar och så vidare. Den senare typen av information är den som talar om hur en yta är beskaffad. Färg och ytjämnhet är exempel på denna typ av information. Inom bildbehandling är man ofta intresserad av att hålla isär informationen men det kan vara rätt problematiskt, speciellt som en dator arbetar med en tvådimensionell bild och samtidigt saknar människans förmåga att snabbt dela in en bild i sina beståndsdelar. Skuggor kan vara svåra att skilja från verkliga objekt och belysningen är därmed central i all bildbehandling. Flimmer och annat brus kan också påverka bilden på en mängd olika sätt.

3.1.1 Belysning

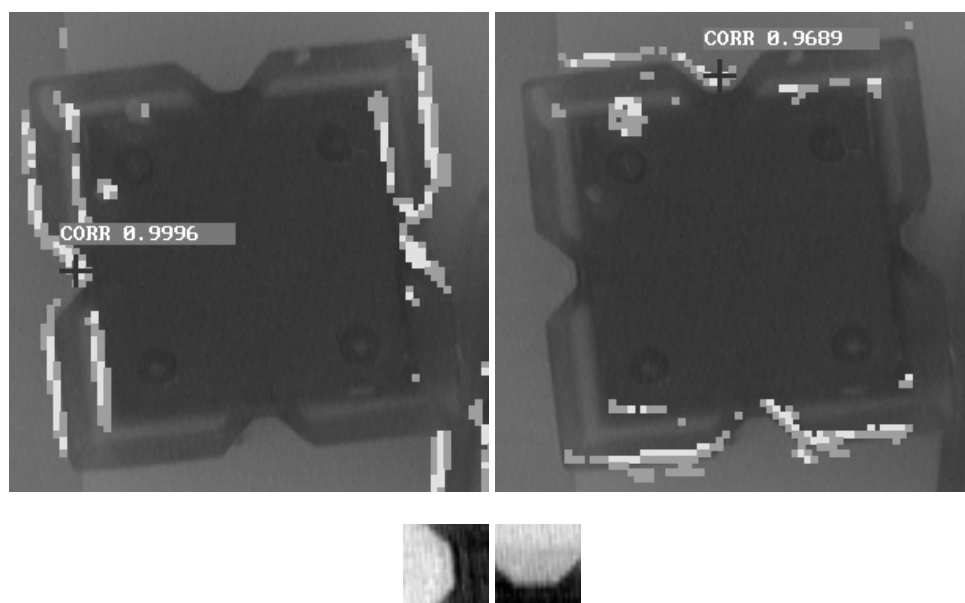
Generellt kan man säga att en bra belysning framhäver de fenomen man är ute efter. En undermålig belysning kan vara förödande vid bildbehandling. Reflexer uppfattas av en kamera som ett ljust område och en skugga som ett mörkt område. Det här behöver inte alltid vara av ondo, skuggning kan exempelvis användas för att mäta ytjämnhet eller höjden på föremål – belyser man en yta från sidan med ljusstrålar som nästan är parallella med planet kommer även små ojämnheter i ytan att bli synliga i form av skuggor.

3.1.2 Igenkänning

Ett system som har använts i arbetet är EasyVision. Detta system kan användas för inläring och igenkänning av olika föremål. Programmet låter användaren markera ett antal nyckelområden (features) i en bild/hos ett objekt. Programmet gör en analys av dessa områden och försöker hitta karakteristiska egenskaper i detta område, exempelvis en kraftig derivata i horisontalled om en sådan finnes. Varje sådan feature ger upphov till en träffkarta, se figur träffkarta. I de övre bilderna är träffgraden för respektive feature markerad, den ljusare färgen är områden med större än 9X % överensstämmelse och för den lite mörkare färgen är gränsen 9X %. Det mörka krysset anger var den högsta överensstämmelsen finns och ovanför står det också hur stor denna är. De två undre bilderna är förstörade och normaliserade bilder av respektive nyckelområde.

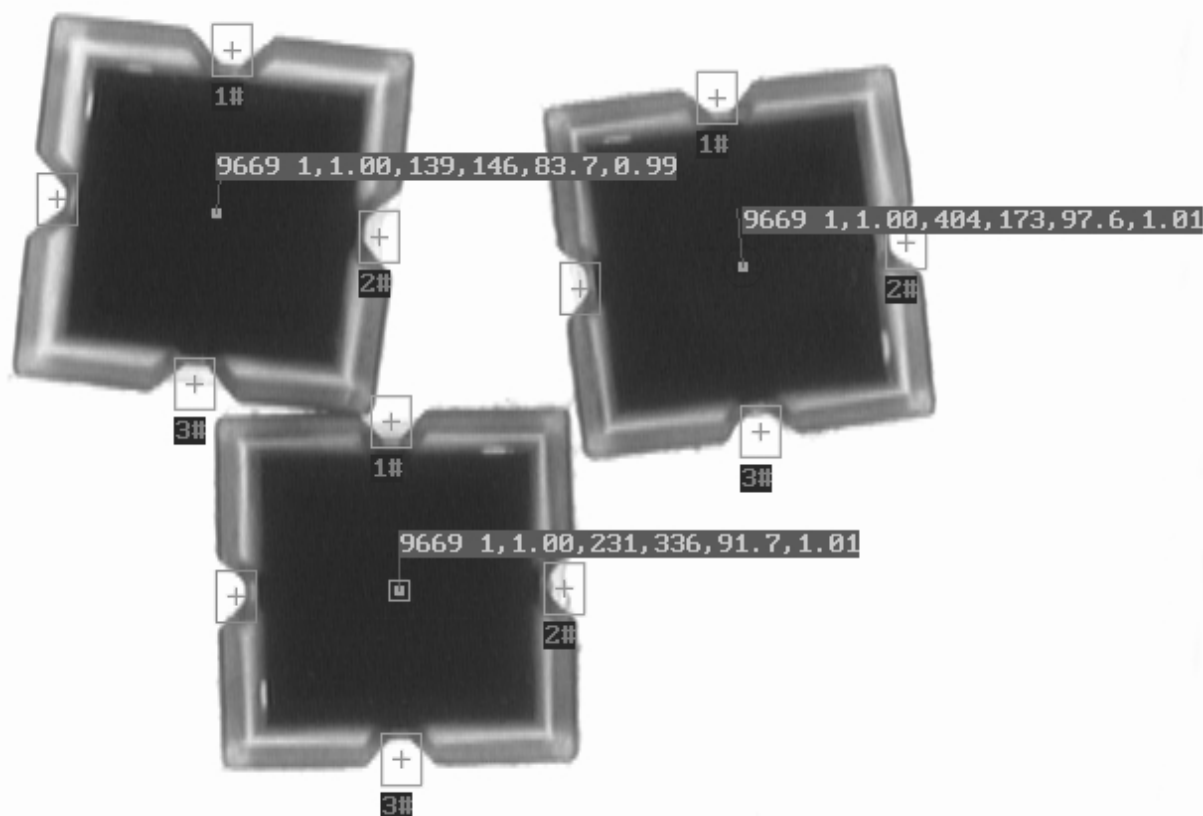
Att bara använda sig av ett område ger ingen robust igenkänning utan det är först när man använder sig av flera nyckelområden hos ett objekt som en robust igenkänning är möjlig. Programmet håller reda på det spatiala förhållandet mellan olika nyckelområden och skulle en feature ha en högre matchning med ett annat än det önskade området i en bild så är därför detta inte något problem. I figur 8 visas hur

programmet letar efter områden som är lika det inlärda området längst ner i bilden, och hur det identifierar ett område som mest likt.



Figur 5: Träffkartor vid igenkänning. I de övre bilderna har en träffkarta markerats för tillhörande delområde (undre bilderna). Området med största överensstämmelsen är markerat med ett kryss. Den ljusare färgen innebär en överensstämmelse på >85 % och den mörkare färgen innebär en överensstämmelse >75 %. Observera att delområdena är förstora och normaliserade.

I nästa bild, figur 9, har fyra nyckelområden använts för att lära in och identifiera objekt av typen 9669. Lägg märke till referenspunkten och informationen tillhörande varje objekt. Informationsraden talar om vilken typ av objekt systemet identifierat, hur stor överensstämmelsen med inlärdd modell är, var objektet är beläget, hur det är orienterat samt hur stort det är i förhållande till ursprungsmodellen.



Figur 6: Tre objekt av typen 9669 korrekt identifierade av EasyVision med hjälp av fyra nyckelområden/features. Informationsraden talar bland annat om position och orientering.

3.1.3 Färger

Normalt sett använder man sig av tre kanaler vid färgbildbehandling: rött, grönt och blått – eller RGB som det heter. Ljusintensiteten, eller en gråskala, beräknas då som medelvärdet av de tre kanalerna. Vid bildbehandling med en svartvit kamera (gråskala) kan man utnyttja färginformationen som finns med hjälp av färgfilter framför linsen. Har man brus som är blått kan man filtrera ut detta utan att använda sig av en färgkamera genom att sätta ett filter framför linsen som inte släpper igenom blått ljus.

3.1.4 Lågpasfilter

En mängd filter har använts i arbetet, främst lågpasfilter. Dessa är hämtade ur olika skolor, en del ur teori för bildanalys medan andra är tvådimensionella omskrivningar av filter som normalt används för endimensionella data.

Vilket filter som än används så ligger mycket av svårigheten att filtrera lagom mycket. Filtrerar man för lite får man med brus och annan information som inte är önskvärd. Filtrerar man för mycket kommer man att mista angelägen information. Förhållandet mellan upplösningen och filtret spelar också roll. Höjer man upplösningen på en bild kommer en kraftigare filtrering vara nödvändig – givet att samma nivå på informationen önskas.

Lågpasfilter används för att filtrera bort högfrekvent brus eller information. Den allra enklaste typen av lågpasfilter är att minska skärpan hos kameran, vilket ger ungefär samma effekt som om man kisar kraftigt eller tar av sig glasögonen. Ett annat enkelt filter är att ta medelvärdet av ett antal brusiga bilder. Om man antar att bruset är jämnt fördelat i bilden och helt slumpmässigt kan man få väldigt bra resultat med denna metod. Nackdelen är att man kanske inte har tid att ta så många bilder, exempelvis om det är ett föränderligt objekt man undersöker.

Vill man ha mer kontroll över resultatet är det bättre att göra lågpasfilteringen i mjukvaran. Det finns två huvudtyper av enkla matematiska lågpasfilter; medelvärdesfilter och exponentiella utjämningsfilter.

Det första filtret låter varje värde bero på ett medelvärde, viktat eller oviktat, av de intilliggande värdena. Det enklaste exemplet på ett medelvärdesfilter är det oviktade av typen

```
1 1 1
1 1 1 / 9
1 1 1
```

som kan anta vilken storlek som helst. Divisionen är till för att hålla intensiteten på rätt nivå. Se figur 10 för ett exempel med detta filter och en jämförelse med medianfilter.

Ett exempel på ett viktat medelvärdesfilter är följande:

```
1 2 1
2 4 2 / 16
1 2 1
```

Vikterna är i detta fall valda på så sätt att de approximerar en gaussfunktion. Just denna approximation av gaussfunktionen har den fördelen att det går väldigt snabbt att beräkna resultatet om programmet man använder sig av skrivs i exempelvis C. Alla multiplikationerna och även divisionen kan då skrivas som skiftoperationer. En av anledningarna till att man ofta använder sig av gaussfunktioner inom bildbehandling är att de har ett trevligt frekvenssvar utan oscillationer.¹⁷

Ett annat lågpasfilter är det exponentiella. Detta utnyttjar data från en redan filtrerad datamängd och låter det filtrerade värdet bero på dessa. I det endimensionella fallet ser det ut så här:

$$X(k) = X(k-1) + (1-\alpha) * (A(k) - X(k-1))$$

där X är den filtrerade vektorn och A är ursprungsvektorn. I bildanalys används normalt inte exponentialfilter. Eftersom det ändå har ansetts vara intressant har av en algoritm utvecklats, som filtrerar både horisontellt vertikalt och viktat resultaten lika.

En tredje typ av lågpasfilter är medianfiltrering. Medianfiltrering är effektivt då bruset består av starka, spikliknande komponenter samtidigt som man vill undvika att kanter blir utsuddade. Vid medianfiltrering tar man en pixels och dess grannars värde och räknar ut medianen. Den filtrerade bilden får då respektive medians värde i varje pixel.¹⁸ Se figur 10 för ett exempel. Det medianfilter som beskrivs av Gonzales och Woods utgår från en kvadratisk matris på formen

```
1 1 1
1 1 1
1 1 1
```

som appliceras på hela bilden för en pixel i taget, förutom kantpixlarna. Problemet med detta filter är två: det tenderar att runda av hörn och det är långsamt, speciellt för stora matriser. Ett alternativ är att utföra medianfiltreringen i två steg: först applicera en matris på formen

```
1 1 1
```

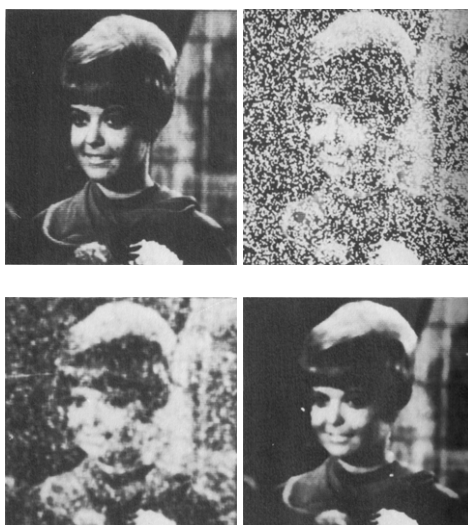
¹⁷ HyperMedia Image Processing Reference, <http://www.cee.hw.ac.uk/hipt/html/gsmooth.html>

¹⁸ Gonzales, Woods. Digital Image Processing. Sid 191-195.

och i nästa steg applicera transponatet av denna matris, det vill säga

1
1
1

för varje pixel. Denna variant är snabbare än metoden ovan, rundar inte av hörn men är i gengäld lite mer brusig. Istället för en mediansökning av n element per pixel krävs det två mediansökningar av \sqrt{n} element per pixel. Tiden det tar en vanlig algoritm att finna medianen i en vektor med n element är proportionell mot $n \log n$. Den andra metoden är därmed \sqrt{n} gånger snabbare än den första metoden. För stora matriser ger detta en betydande skillnad.



Figur 7: Originalbild, bild med adderat brus, bild filtrerad med medelvärdesfilter, bild filtrerad med medianfilter. Exemplet visar tydligt att ett medianfilter ibland lämpar sig bättre än ett medelvärdesfilter för att ta bort brus med spikliknande egenskaper. (Hämtad från Gonzales, Woods. Sid 194.)

3.1.5 Derivering

Att undersöka skillnaderna i ljusintensitet kan göras genom att beräkna derivatan i en bild. Det finns en uppsjö olika metoder för själva beräkningen. En av de vanligast förekommande är den så kallade sobelmasken som i det horisontella fallet ser ut så här:

1 0 -1
2 0 -2
1 0 -1

Man kan tänka sig många andra utseenden på masken. En annan vanligt förekommande mask är Prewitt- eller Kirschmasken som har följande utseende vid horisontell derivering:¹⁹

1 0 -1
1 0 -1
1 0 -1

Derivatan beräknas genom att man för varje pixel, utom kantpixlarna, beräknar faltningen av masken och de intilliggande elementen. Vill man göra en derivering i vertikalled tar man helt enkelt transponatet av matriserna ovan. Den horisontella respektive vertikala derivatan kan sedan användas för att beräkna gradienten för varje punkt i bilden. I figur 11 syns ett exempel på en bild vars gradient har beräknats på

¹⁹ Gonzalez, Woods. Sid 200.

detta sätt utifrån sobelderivator och sedan åskådliggjorts i en ny bild. Observera att riktningen på gradienten inte har tagits någon hänsyn till här, bilden till höger redovisar enbart beloppet av gradienten.



Figur 8: Originalbilden till vänster, resultatet till höger. Bilden till höger åskådliggör beloppet av gradienten av originalbilden.

Filtrering av en bild påverkar derivatan i stor utsträckning. I detta arbete har en önskan varit att få fram lågfrekventa skillnader och därmed har olika lågpassfilter använts flitigt. Man kan också direkt vid beräkningen av derivatan använda sig av olika filter och gränsvärden. Exempelvis kan man ignorera alla derivator mindre än ett visst värde eller använda sig av en exponentiell funktion för att på så sätt betona skarpa övergångar. Detta är exempel på filter med både amplitud- och frekvenssegenskaper.

Ett problem som man stöter på inom bildbehandling är positionsbestämning av objekt eller ett objekts kanter. Ett mörkt objekt som syns mot en ljus bakgrund kan positionsbestämmas genom att man letar upp kanterna för objektet med hjälp av derivatorna. Den enklaste metoden består i att ta reda på var den största derivatan mellan två eller fler pixlar finns och helt enkelt säga att det är där kanten befinner sig. Detta ger ett snabbt resultat men varken robusthet eller precision. Vad som är bättre, men lite krångligare, är att beräkna tyngdpunkten för övergången mellan mörkt och ljust. På detta sätt kan man få en positionsbestämning som har högre upplösning än bilden och som dessutom är mer robust för brus, lågpassfiltrering eller ändrade ljusförhållanden.²⁰ Betrakta följande enkla exempel hämtad ur figur 11:

Ljusintensitet i fyra pixlar: 0 2 2 6

Metod 1: $\text{Max}(|2-0|, |2-2|, |2-6|) = 4 \rightarrow$ pixel 3,5 (mellan pixel 3 och 4 i originalbilden).

Metod 2: $(1,5 \cdot 2 + 2,5 \cdot 0 + 3,5 \cdot 4) / (2+0+4) = (3+0+14)/6 = 17/6 \approx 2,8$.

Problemet som kvarstår är att finna den önskade övergången så att området som skall tyngdpunktberäknas kan bestämmas. I figur 12 har en tyngdpunktsbaserad algoritm använts för att avbilda en av våra medmänniskor.

²⁰ Lars Kopp, Natural Vision for Artificial Systems, 29-32.



Figur 9: En bild deriverad med tyngdpunktsbestämning av derivatorna.

3.1.6 Subsampling

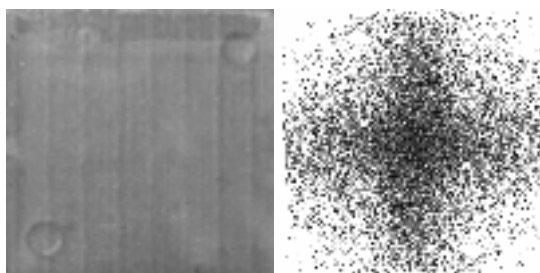
En snabb metod för lågpasfiltrering av stora matriser är subsampling. Denna går ut på att man bara tar med en del av informationen i en matris, exempelvis vartannat bildelement i horisontal- och vertikalled. I igenkänningstillämpningar är det ofta bättre att börja informationsbehandlingen i en sub-samplad bild.²¹

3.1.7 Normalisering

Genom att normalisera en bild gör man om den så att det ljusaste bildelementet i bilden får värdet 255 och det mörkaste bildelementet får värdet 0 med resterande bildelement där mellan.

3.1.8 Fouriertransform

Då brus ofta har den egenskapen att det består av en viss frekvens så kan en övergång till frekvensplanet genom fouriertransform ibland vara användbart. Idén är att släcka ut störande frekvenser. Frekvenserna som finns i en bild kan åskådliggöras genom att man gör en tvådimensionell fouriertransform på bildmatrisen först och ritat upp resultatet, se figur 13. Då elementen är imaginära tar man beloppen av varje element för att få något som lätt kan tydas. Förhoppningen är att de störande frekvenserna syns i den nya bilden som ljusa områden. Genom att sätta de identifierade elementen till 0 och sedan utföra en invers tvådimensionell fouriertransform på den nya matrisen får man en bild utan det oönskade fenomenet.²²



Figur 10: Originalbild till vänster, fouriertransformen av den till höger. Exempel på tvådimensionell fouriertransform av randigt halvfabrikat. Det är svårt att urskilja de icke önskvärda frekvenserna i fouriertransformbilden.

²¹ Ibid, sid 33-34

²² Intervju med expert Rikard Berthilsson, 050119

Det mönster som klart syns i den vänstra figuren i figur 13 ger inget klart genomslag efter fouriertransform.

3.2 Hårdvara

I efterkommande avsnitt har följande hård- och mjukvara använts:

Kamera: Sanyo VCB 3380P, AGC i läge off

Objektiv: Pentax 25 mm och 12,5 mm, båda med mellanlagringsring

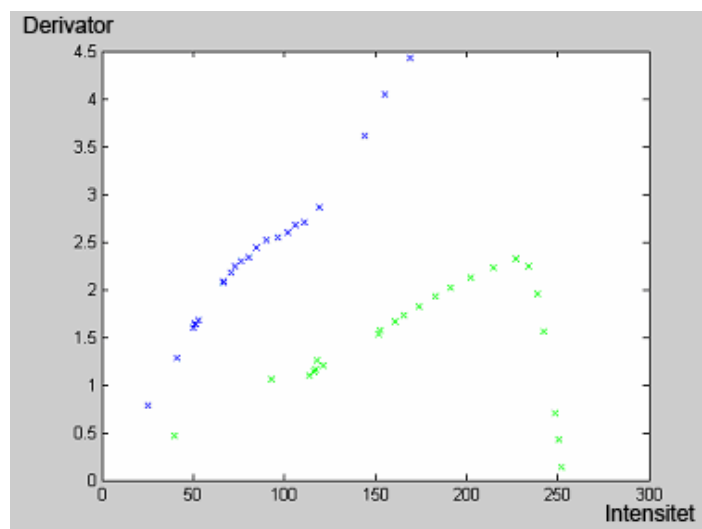
Framegrabber:

Dator: PC Athlon XP 1800 MHz, 512 Mb internminne

Coaxialkabel

3.2.1 Ljuskänslighet hos kameran

Mätningar har gjorts för att avgöra hur ljuskänslig kameran är och inom vilket område kameran arbetar som bäst. Detta har gjorts genom att mäta hur derivatornas storlek varierar med den nominella ljusstyrkan hos kameran. Det ideala vore att en derivata inte ändras om ljussättningen ändras. För att kontrollera detta togs en mängd bilder i varierad ljussättning på ett halvfabrikat samt ett vitt papper med svart mönster på. Summan av derivatorna plottades sedan mot den totala ljusstyrkan, resultatet syns i figur 14.



Figur 11: Diagram över kamerans ljuskänslighet. Blå punkter motsvarar halvfabrikat och gröna punkter är för mönster på papper. Summan av derivatorna ökar nästan linjärt med ljusintensiteten till dess mättnad uppstår.

Som synes så ökar summan av derivatorna då ljusintensiteten ökar. Sambandet är i stort sett linjärt, med tendens till en plattå på mitten, till dess mättnad uppstår. Resultatet pekar på att om man använder sig av derivator i felidentifieringen kan det vara bra att ta kvoten mellan summan av derivatorna och ljusintensiteten för att få ett mindre ljuskänsligt system. Alternativt kan man ha ett fast mätområde som kameran alltid mäter ljuset på och använda sig av dess ljusintensitet för att normalisera bilden. Ljusintensiteten i bilden kan variera antingen genom att belysningen ändras eller genom att färgen på halvfabrikaten förändras.

Kameran tycks vara som minst känslig för ändrade ljusförhållanden kring en ljusintensitet runt 100 då gråskala med 8 bitar används. Sett ur brussynpunkt kanske en högre intensitetsnivå än så bör hållas, då signal/brusförhållandet blir bättre för högre intensiteter.

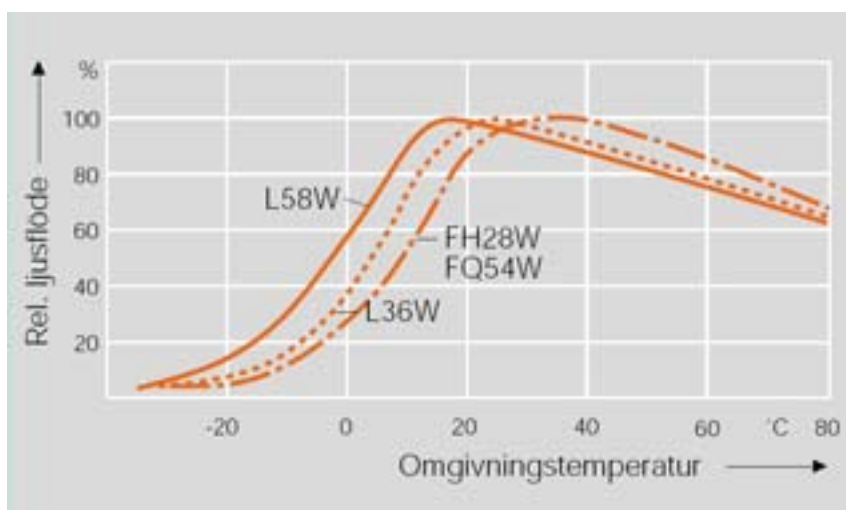
Hur starkt ljuset är spelar inte så stor roll, så länge det är någorlunda konstant, kamerans bländare kan med fördel användas för att kalibrera systemet så att rätt nivå på det infallande ljuset uppnås, speciellt som fokus bara behövs i ett plan som alltid är det samma.

3.2.2 Egenskaper hos lysrör och glödlampor

En aspekt att tänka på är det flimmar med en frekvens på 50 Hz som lysrör och glödlampor ger upphov till. Den kamera som använts i försöken har en elektronisk slutare som varit inställd på 25 Hz och i teorin får man då inga problem med varierande ljusintensitet i bilderna – praktiskt har inte heller några effekter av belysningens flimmar märkts av. Det kan ändå vara av intresse att använda sig av högfrekventa lysrör med en frekvens på 100 Hz i en eventuell implementering av systemet. Detta kan vara bra om ett byte av kamera sker eller om man av någon annan anledning vill ändra slutartiden. Kostnadsskillnaden mellan vanliga lysrör och högfrekventa dito inklusive så kallade hf-don är inte särskilt stor.

Livslängden för lysrör är en fråga som kommit upp under examensarbetets gång då Trelleborg Forsheda vill ha ett så underhållsfritt system som möjligt. Enligt Osram så har lysrör som är igång mer eller mindre kontinuerligt en livslängd som är längre än 18 000 timmar (drygt två år).²³

Lysrör ger olika stort ljusflöde beroende på omgivningstemperaturen. Den skillnad som finns är rätt liten för små variationer i temperatur, se figur 15 för exempel på hur några lysrör beter sig vid varierande omgivningstemperaturer.



Figur 12: Ljusflödet beroende på omgivningstemperatur för några lysrör. En skiftande temperatur kan innebära en förändring i ljusflödet.

Slutsatsen blir att de skillnader som finns beroende på skiftande temperatur lätt kan kompenseras för med samma metoder som redan används för att maximera systemets ljusinvarians. Är man riktigt noggrann eller har ett system känsligt för skillnader i ljusflöde kan man försöka använda sig av lysrör som ger ett så konstant ljusflöde som möjligt kring den för den valda platsen normala temperaturen.

3.2.3 Färgdigitalkamera

En färgdigitalkamera mäter ljusintensiteten i tre kanaler: rött, grönt och blått. Tar man medelvärdet av de tre kanalerna i en punkt får man kvar ljusintensitetsinformationen, det vill säga samma information som fås direkt med en svartvit kamera. Med bildbehandling kan man dela upp bilden i respektive kanal och titta på enbart en av dem eller olika kombinationer av dem. Ett fenomen som är färgberoende kan vara svårt att upptäcka med en svartvit kamera men väldigt enkelt med en färgkamera.

²³ Tekniska uppgifter, <http://www.osram.se/Bilder/PDF/Allm%c3%a4nbelysning/tekniska%20uppgifter.pdf>

3.3 Undersökning av Halvfabrikat

3.3.1 Bakgrund

För att automatisering av monteringen skall bli så lönsamt som möjligt krävs att det inte finns något manuellt moment mellan monteringen och vulkaniseringsprocessen. Detta förutsätter att den okulära besiktningen av halvfabrikat kan automatiseras.

3.3.2 Problem

Uppgiften är att automatiskt skilja halvfabrikat från varandra med avseende på kvalitet. Med kvalitet menas att slutprodukten kommer att generera rätt frekvens under tillräckligt lång tid.

De fel hos produkterna som beror på halvfabrikaten kan nästan uteslutande härledas till hur bra silikonet fäster mot metallytan i hörnen på dem. Om det är ett släpp i ett hörn blir styvheten och frekvensen lägre.

Den policy Trelleborg Forsheda använder idag, i den manuella kontrollen, är att klossar med ett släpp mindre än en centimeter från ett hörn skall kasseras.²⁴

En försvårande omständighet är att de regler som gäller för vad som skall kasseras eller ej varierar beroende på vem man frågar och vilken produkt det gäller. Större svängningsdämpare och dämpare med lägre frekvens utsätts för större krafter och bör kanske kontrolleras hårdare.

Massorna består av strängpressat järn som kapas i lagom stora bitar med en såg. På kapytan syns ibland parallella linjer som härrör från märken sågningen lämnar efter sig.

En del massor tycks vara mer utsatta för kontakt med andra massor under tvättningen och blästringen eller hanteringen där efter. Dessa klossar har en mängd mindre gulaktiga repor (se figur 16 längre ner). Reporna tycks uppkomma på ett relativt stort antal av massorna, kanske var tionde till var tjugonde massa, och vara relativt jämnt fördelade över alla sex ytorna. Det är alltså inte enbart en eller två av ytorna som är repade.

Beroende på var i produktionsprocessen kvalitetskontrollen utförs och på hur produktionsprocessen kommer att se ut kan tidsåtgången bli en kritisk faktor. Det är ett krav att avsyningsalgoritmen inte tar så lång tid att den minskar flödet i processen.

3.3.3 Ljussättning

Den riktlinje som har använts vid ljusuppsättning för försöken är att hålla nere komplexiteten. Så enkel uppsättning som möjligt med ett fullgott resultat, detta för att säkerställa lösningens robusthet och repeterbarhet.

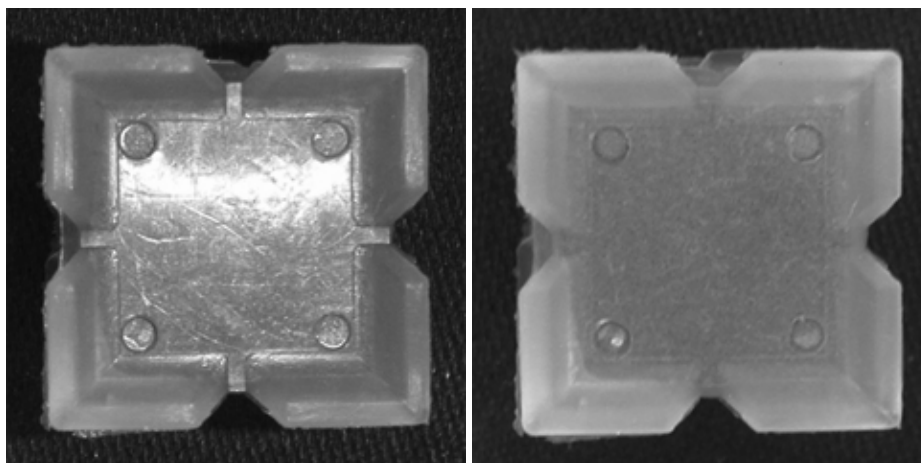
Bildbehandling kan vara väldigt känsligt för variationer i belysningens färg, även om man använder sig av en svartvit kamera. Dagsljus, glödlampor och lysrör ger alla olika förutsättningar för visionsystemet. De tester som har utförts har skett med dagsljus, glödlampor, blandning dagsljus glödlampa samt blandning av dagsljus, glödlampa och lysrör. Det har inte gått att se något mönster eller skillnad i resultaten beroende på vilken färg ljuset har, vad som framkommer som klart viktigast är från vilket håll ljuset kommer och hur starkt det är. I en uppställning lyckades ljus från ett stort fönster och lysrörsljus från ett annat håll kompenseras med en enkel glödlampa från en tredje riktning. Genom att mäta på en yta som roteras 90 grader kan man kontrollera huruvida ljussättningen är homogen.

Reflektioner

Ett fenomen som stör mätning är att silikonet lätt reflekterar ljus. Speciellt så tycks de konkava benen på 9669 ha en benägenhet att fånga upp inkommande ljus och spegla detta så att det ser ut som ett ljus område för kameran. Fenomenet minimeras om en riktigt jämn ljussättning åstadkoms, se figur 16. De

²⁴ Hans Windahl

försök som gjordes utomhus under i stort sett perfekta skånska ljusförhållanden visade på detta. Lägga märke till det fel som finns nere i det vänstra hörnet i de båda bilderna. Diffust ljus har av denna anledning varit den viktigaste parametern för ljussättningen. Att få bort alla reflektioner kan göras med någon sorts halvgenomskinlig avskärmning eller matta reflektorer. Försök har gjorts med frostade lampskärmar i glas och dessa kan till viss del kompensera en ojämn belysning.

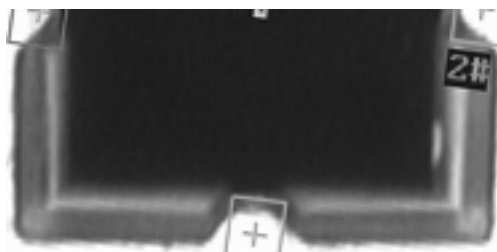


Figur 13: Exempel på dålig och bra ljussättning. Lägga märke till reflexerna i bilden till vänster som uppstår där benen börjar och jämför med bilden till höger. Reflexerna är omöjliga att skilja från släpp för en kamera. I båda bilderna kan man se de tunna oregelbundna linjer som är repor i massans yta.

Ljuset har också en tendens att ledas en bit in i silikonet då detta är genomskinligt med viss grumlighet. Grumligheten gör att ljuset kan ledas in från sidan i exempelvis ett ben och sedan få ytan intill benet att framstå som ljusare än det är. Har man starkt ljus från ena sidan kan detta alltså störa mätningen även om ljuset inte reflekteras direkt in i kameran. Detta fenomen kan åskådliggöras genom att mäta på ett halvfabrikat som roteras. Summan av derivatorna blir då vitt skilda beroende på orienteringen. Vad detta i sin tur exakt beror på är svårt att fastställa – leder silikonet ljuset olika bra, finns där repor i metallen eller andra förändringar som betonas när de blir ljusare? – och spelar inte heller så stor roll. Det viktiga är att på något sett att minimera dess inverkan på mätresultatet.

Ljusinledning

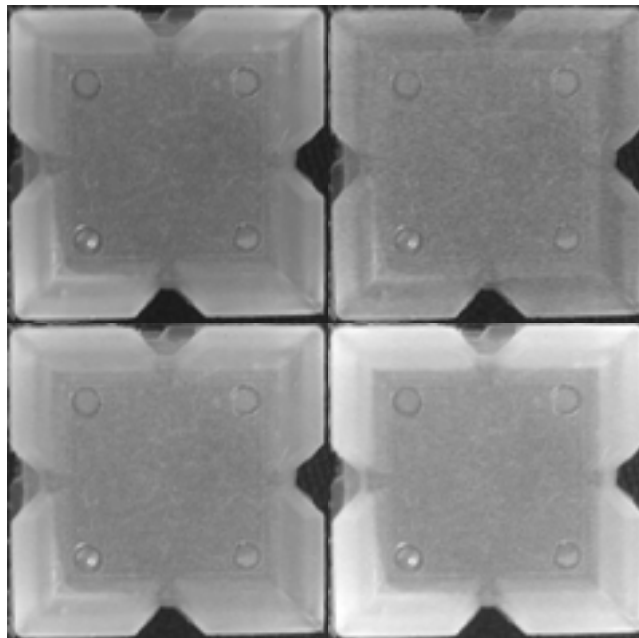
De små stöttor som stabiliserar massan under silikongjutningen lämnar avtryck i silikonet på halvfabrikatet. De gropar som uppstår fungerar som ljusuppsamlare och leder ljus infallande från sidan in i silikonet, se figur 17. Detta ljusa område som syns i bilden kan lätt förväxlas med ett släpp om mätområdet läggs ut fel vid bildbehandlingen. Fenomenet kan undvikas helt om inget ljus infaller från sidan.



Figur 14: Bild på en del av halvfabrikatet till 9669. Lägga märke till det ljusa området under och lite till vänster om tvåan i bilden. Detta område kommer sig av små gropar som finns på varje sida av halvfabrikat och som uppkommer vid gjutningen. Dessa gropar leder in ljus som infaller från sidan.

Färganalys

Ett försök gjordes för att undersöka om de olika fenomenen tar sig olika uttryck beroende på ljusets våglängd. Detta försök gick till så att en bild togs med en färgdigitalkamera på ett halvfabrikat. Bilden delades upp i respektive färgkanal och gjordes om till svartvita bilder. Resultatet syns i figur 18.



Figur 15: (RGB, R, G, B) De tre olika kanalerna en färgkamera arbetar med samt summan av dem. R-kanalen ser klart brusigast ut. B-kanalen tycks framhäva släppet nere i vänstra hörnet.

De fyra resulterande bilderna filtrerades och behandlades sedan med ett par olika metoder. Resultatet syns i tabell 3. Observera att det enbart är det intressanta området innanför de fyra silikonbenen som behandlats, ej hela bilden.

Tabell 3: Tvetydiga resultat av en analys av de olika färgkanalerna och deras summa. Subjektivt är B-kanalen bäst, men det är inte helt uppenbart att det är så då man studerar siffrorna.

Kanal	Derivering	Derivering, normaliserad	Lågpassfiltrering, derivering	Lågpass, derivering, normaliserad
RGB	23224	20628	14761	13235
R	25767	20593	15311	12317
G	23556	17319	14828	10987
B	24331	16020	15617	10369

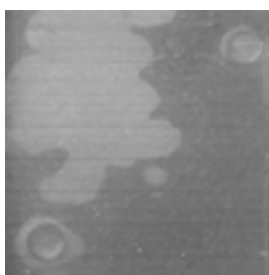
Subjektivt så är R-kanalen klart sämst med mycket brus. B-kanalen minimerar bruset och störningarna från reporna i metallen samtidigt som släppet nere till vänster betonas. Teoretiskt sätt borde RGB-kanalen vara minst brusig då denna är en kombination av tre kanaler. Det är den emellertid inte om man tar hänsyn till respektive bilds ljusintensitet. Den kanal som ger bäst resultat är den samma som upplevs som bäst, B-kanalen, men även G-kanalen ger ett bra resultat. I denna mätning finns stora osäkerhetsfaktorer, det är svårt att avgöra hur stor del av resultaten som beror på kameran och vad som beror på fenomenens synlighet i olika ljus. Resultatet, åtminstone det subjektiva intrycket, är dock så pass tydligt att närmare studier med blå filter eller blå belysning och en svartvit kamera vore intressanta.

3.3.4 Lösningsansats Integrering/Mätning – Helhetslösning

Det som skall åstadkommas är ett system som löpande i produktionen kan skilja mellan felaktiga och godkända produkter och skicka denna information vidare till produktionssystemet.

Två mätprinciper diskuterades inledningsvis: mekanisk mätning, som avgör benens styvhet genom deras motstånd mot en tryckning eller dragning, samt optisk mätning där en kamera tar bilder som analyseras. De metoder som får användas för att mäta fenomenen inskränker sig till sådana som inte påverkar produkten fysiskt.²⁵ Därför har mekanisk mätning uteslutits, och den lösningsansats som har valts utgår ifrån optisk mätning, hädanefter kallad vision.

Fenomenet som skall behandlas, släppet, är per definition synligt för blotta ögat. Det ser ut som en förändring i ljusintensitet. Metallytan syns inte på samma sätt genom silikonet som får sin karakteristiska ljusare, mjölkfärgade yta. Se figur 19.



Figur 16: Tydligt exempel på släpp (ljusa områdena). De runda ringarna är inte släpp utan uppkommer vid gjutningen. De ljusa områdena kring ringarna är däremot släpp.

Mätområde

Innan själva mätningarna kan exekveras måste det område de skall utföras på bestämmas. Den plattform arbetet har utgått från erbjuder två möjligheter:

1. Mätområdet är definierat i förväg i förhållande till fasta koordinater på skärmen.
2. Mätområdet är definierat i förhållande till det igenkända objektet. Detta möjliggör ett mer robust system. Om man utnyttjar systemets igenkänningsfunktion för att definiera mätområdet, kommer systemet inte att vara känsligt för förändringar av objektets läge i kamerans bild. Det kommer däremot fortfarande att vara känsligt för att objektet har rätt rotation, samt att avståndet mellan kamera och objekt är rätt. Det sistnämnda påverkar emellertid knappast mätresultatet, eftersom känsligheten för avståndsförändring bara är i storleksordningen en hundradel av känsligheten för sidledsflyttningar med de avståndsförhållanden som är rimliga med avseende på hårdvaran. Det antas också att rotationen hos mätobjekten kommer att vara konstant. En varierande rotation kring z-axeln skulle vara möjlig att klara av då plattformen även tillhandahåller information om objektets orientering, men det kommer aldrig att vara aktuellt för systemet att klara av objekt som hanteras på detta sätt.

Algoritmer

Vilken kombination av algoritmer beskriver fenomenet bäst? En mängd förslag har kommit upp under arbetets gång.

Filtrering. Innan en bild behandlas är det ofta lämpligt att filtrera den för att inte mätningen skall störas av brus eller andra, tillåtna förändringar. En mängd olika filter har använts för att naturliga variationer inte skall påverka mätningarna. Det första är lågpasfilteret. Detta används för att filtrera bort högfrekvensbrus, i vårt fall mest ojämnheter i ytan och signalbrus. Tre typer av lågpasfilter har undersökts: exponentiell utjämning, medelvärdesfilter och medianfilter.²⁶ För att komma tillrätta med de ränder som visades i figur

²⁵ ibid

²⁶ G. Olsson och C Rosen, Industrial Automation, Media-tryck, Lund 2003

13 i avsnittet angående fouriertransformer prövades att maska bort dem genom att utnyttja att avståndet mellan dem var konstant.

Derivering över yta. En metod som har undersökts är att derivera den undersökta ytan i horisontal- och vertikalled. Då utgås ifrån att en skiftning i ljusintensitet ger utslag på derivatorna.

Derivering längs en linje. Hörnen och kanterna längs silikonbenen är speciellt intressanta för kvalitetskontrollen. I området nära dessa ytor har en metod som enbart tittar derivatan längs en linje använts.

Medelvärde mot ljusaste delyta. Medelvärdet av ljusintensiteten för hela den undersökta ytan jämförs medelvärdet för alla områden av en viss storlek, exempelvis 5*5 eller 10*10 pixlar. Avvikelsen mellan det ljusaste området och medelvärdet för hela ytan beräknas sedan. Ett släpp på en yta ger då upphov till en stor avvikelse, såvida inte hela eller nästan hela ytan består av ett silikonläpp.

Referensyta mot ljusaste delyta. Sker på samma sätt som ovan men istället för medelvärdet av intensiteten på hela ytan används medelvärdet på ett fast mätområde som referens.

3.3.5 Försök och uppställningar

Arbetet har resulterat i en relativt kontinuerlig utveckling där ett flertal försök med olika uppställningar har utförts. Det har tagits en mängd bildserier under olika förhållanden.

Serie 1

I en första studie på 16 bilder användes manuell utläggning av mätområdet. Ljussättningen var rumsbelysning dämpad med ett rör av papper. Ingen filtrering gjordes. Derivering över ytan och medelvärdemetoderna användes efter import av bilderna till Matlab.

Serie 2

I nästa studie togs 74 bilder i hög upplösning och med mätområdena manuellt utlagda. Dessa skalades sedan till att vara 100*100 pixlar stora. Ljussättningen var utomhus en molnig skånsk dag med en pappersskärm som dämpning. Omfattande analyser gjordes av bilderna, bland annat provades olika lågpasfilter i detta skede och korrelationen mellan olika metoder undersöktes. Data från dessa analyser finns i bilaga Mastodontkalkylblad.

Serie 3

Slutligen utvecklades en plattform som kan användas direkt i Trelleborg Forshedas produktion. I denna ingår ljussättning, kamera, dator och mjukvara. Intressanta metoder i undersökningen ovan testades i så verklighetstroga förutsättningar som möjligt utan att göra några ingrepp i Trelleborg Forshedas produktion. I denna plattform används igenkänning för att lokalisera objektets position på skärmen samt för att verifiera att objektet har rätt orientering och att mätområdet därmed placeras på rätt position. I en eventuell slutgiltig implementering kommer orienteringskontrollen inte att ha samma funktion eller kanske inte användas alls, då objektet förutsätts vara rätt orienterat. Däremot kan den användas för att kontrollera själva igenkänningen, uppger programmet en annan rotation av objektet än normalt kan man misstänka att mjukvaran misslyckats med att känna igen objektet på ett riktigt sätt alternativt att objektet eller utrustningen är skadad på något sätt.

Ljussättningsboxen som använts är gjord i mjölkad plast och aluminiumprofiler i form av ett rätblock. Ena kortsidan, den mot objektet, är öppen. På motstående sida finns ett cirkulärt hål stort nog för de kameraobjektiv som använts i arbetet. Ett stativ för kameran är integrerat i ljusboxen, se figur 20.



Figur 17: Ljussättningslådan sedd snett ovanifrån. Tanken är att halvfabrikatet som skall undersökas placeras i öppningen som är vänd mot golvet på bilden. Den vita plasten sprider ljuset som släpps igenom och skapar en jämn belysning inuti lådan.

3.3.6 Resultat

Försök(suppställning) 1

Resultaten av den första, preliminära undersökningen gav att de tre objekt som var riktiga godkändes av båda metoderna. De felaktiga objekten underkändes. Felmarginalen var emellertid låg; den största inbördes skillnaden mellan godkända objekt var större än den minsta mellan godkända och underkända. Denna minsta skillnad gällde emellertid helt olika exemplar för de olika metoderna. Metoderna reagerar alltså på olika typer av fel och slutsatsen drogs att olika metoder kan komma att behövas för att få en så robust feldetektion som möjligt.

Försök(suppställning) 2

Syftet med denna studie var dels att sortera ut intressanta metoder att implementera i systemet inför den slutgiltiga undersökningen, dels att få en ökad förståelse för problemets natur. Utgångspunkten från den första undersökningen var att flera metoder skulle kunna komma i fråga, antingen för att användas var för sig eller för att användas på ett samverkande sätt.

Resultaten visade att derivering och medelvärdesmetoden i viss utsträckning fångade upp olika typer av fel. Viktade medelvärdesfilter visade sig förbättra robustheten.

En brist med uppställningen är den manuella utläggningen av mätområdet. Förvisso är det enkelt att på så sätt mäta på olika områden på ett halvfabrikat men det är en omständlig och tidsödande verksamhet att mäta på ett stort antal halvfabrikat. Uppställningen talar inte heller om hur känsligt systemet är för störningar av positionen hos halvfabrikatet.

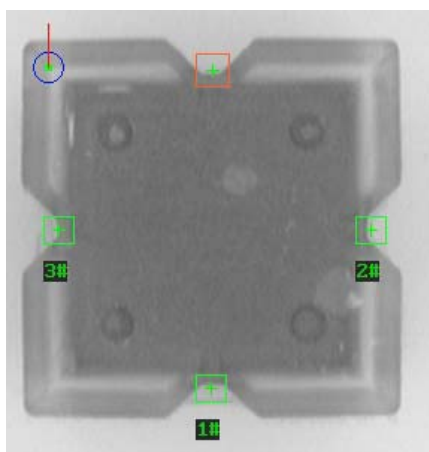
Försök(suppställning) 3

För dessa mätserier har resultaten dokumenterats kontinuerligt och för hand. Arbetsgången har varit iterativ. Snarare än att verifiera metoder med hjälp av statistik har svåra typproblem letats upp. Då

befintliga metoder visat sig otillräckliga har metoder som löst problemen tagits fram. Av denna anledning blir resultat från gamla mätserier irrelevanta.

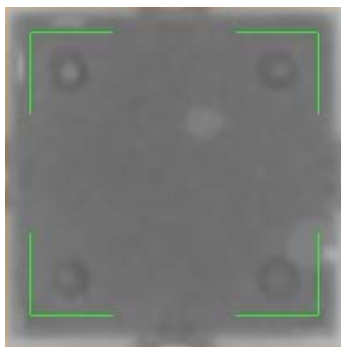
I början av arbetet med den tredje och sista laborationsuppställningen uppmärksammades ett problem som tidigare inte visat sig. En del av de nya, helt korrekta halvfabrikaten gav väldigt höga värden på några av metoderna. Det visade sig att detta kunde härledas till små repor i metallen under silikonet. Medelvärdesfiltreringen som hittills använts som ensamt filter klarade inte av att filtrera bort reporna på ett bra sätt, åtminstone inte i kombination med den deriveringsmetod som innan fungerat väl. Ett medianfilter, ett långsammare men för denna typ av fenomen bra lämpat filter, inkorporerades därför i systemet.

Ett exempel på ett halvfabrikat som korrekt identifierats av systemet syns i figur 21. Lägg märke till referenspunkten som lagts ut uppe till vänster, det är denna som tjänar som inparameter till programmet när kvalitetskontrollen skall utföras. De olika filter som diskuterats i arbetet kan alla användas i detta skede såväl som kombinationer av dem. Det är exempelvis fullt möjligt att växelvis utföra median- och medelvärdesfiltreringar. Att på ett korrekt sätt bestämma den ultimata filterkombinationen låter sig inte göras, speciellt som det beror på vilka metoder som sedan används för felidentifiering. Valet av filterkombination har därför till viss del skett subjektivt och kan komma att ändras om man efter en längre testperiod av systemet stöter på några problem eller får kunskap om fenomenen som inte finns idag. Eftersom medianfiltret är bra på att ta bort enstaka toppvärden förefaller det bäst att applicera detta före ett medelvärdesfilter. Skall sedan ett medelvärdesfilter användas bör detta trimmas in tillsammans med en eventuell derivering och dess amplitudfilter. En kraftigare medelvärdesfiltrering leder då till att ett mer genomsläppligt amplitudfilter bör användas.



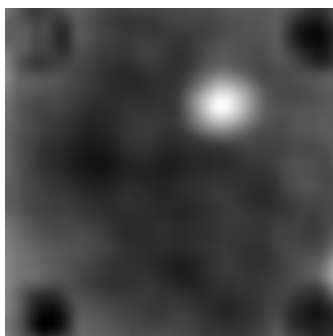
Figur 18: Ett halvfabrikat av typ 9669 har identifierats av systemet och en utgångspunkt har markerats i övre vänstra hörnet.

Då algoritmen för identifiering av ljusaste delar visat sig fungera bra för identifiering av de släpp som ej befinner sig längs kanterna koncentrerades arbetet på att hitta en robust metod för att finna släpp i hörn- och kantområden. En sätt som fungerat väl är metoden som visas i figur 22 tillsammans med två olika filtreringar. En derivering görs längs en linje som placeras längs med kanten av halvfabrikatet. På detta sätt kan släpp hittas som ligger just i detta känsliga område. Genom att gå längs en linje upptäcks också fel som algoritmen för identifiering av ljusaste delar tenderar att missa, nämligen fel som är smala till sin natur. Medianfiltret, och till viss del även medelvärdesfiltret, tenderar att runda av hörn. Detta gör det lite problematiskt att gå ända ut i hörnet med deriveringslinjen, speciellt för stora medianfilter.



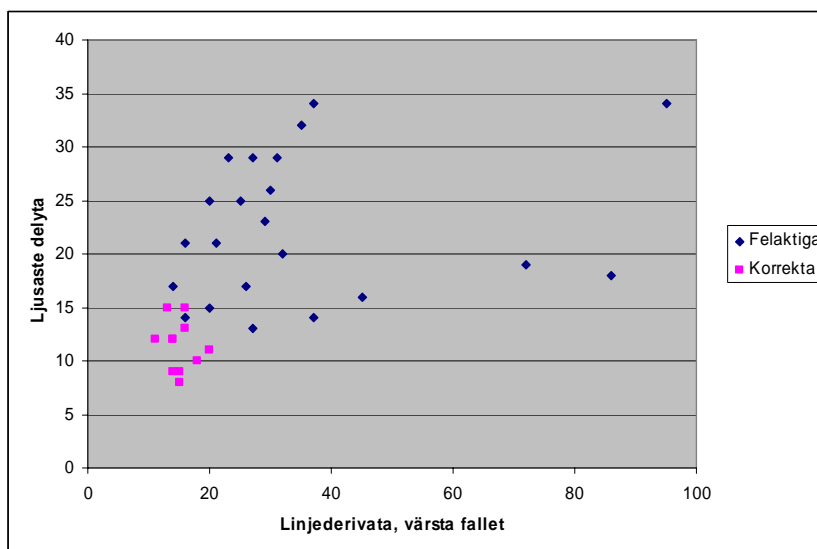
Figur 19: En bild på halvfabrikat av typ 9669 filtrerad först med medianfilter med bredd 5 och sedan medelvärdesfiltrerad tre gånger. Derivering sker längs linjerna i figuren.

Som jämförelse med deriveringsmetoden visas i figur 23 en normaliserad bild av resultatet av algoritmen för identifiering av ljusaste delyta. Utgångspunkt är den filtrerade bilden i figur 22. Denna normaliserade bild visar på ett tydligt sätt att algoritmen är effektiv på att hitta avvikande områden med en större, gärna kvadratisk yta.



Figur 20: En normaliserad bild av hur algoritmen för identifiering av ljusaste delyta fungerar. Varje pixel motsvarar en delyta. Släppet lite ovan och till höger om mitten syns tydligt. Släppet nere och långt till höger syns ej.

Ett av testerna som utfördes skedde med elva riktiga och 22 felaktiga halvfabrikat. Även halvfabrikat med små släpp i hörnområdena användes likväl halvfabrikat med mer än ett fel. Uppställningen ovan användes, exempel på resultatet syns i figur 22 och figur 23. I figur 24 syns resultatet.



Figur 21: Korrekta halvfabrikat jämförda med felaktiga enligt två mätmetoder. Som synes finns en viss korrelation mellan resultaten av de två metoderna.

En första anblick ger att de korrekta halvfabrikaten ligger rätt så samlade. Variationerna beror dels på att halvfabrikaten är olika i sig, dels på brus. Ljusaste delyta-metoden är i detta senare hänseende väldigt robust, variationerna är i stort sett 0. Linjederivatoren är lite mer känslig för brus och varierar med ± 2 . De plottade värdena är bara uppmätta en gång. Det felaktiga halvfabrikatet i (16,14) är subjektivt sett ett av de allra sämsta halvfabrikaten med ett stort område fyllt med luftbubblor i mitten av ytan. Varför detta halvfabrikat blir godkänt beror på att linjederivatoren endast undersöker hörn- och kantområdena och ljusaste delyta-metoden blir påverkad av ett så pass stort område är ljus; metoden jämför med medelvärdet. Givetvis är det inte önskvärt att en helt klart felaktig yta blir godkänd. Botemedlet är att införa ytterligare något kriterium, exempelvis en derivering över hela ytan eller något gränsvärde på hur ljus medelvärdet på ytan får lov att vara.

Tittar man på diagrammet i figur diagram så verkar också de två mätmetoderna vara korrelerade, något som är högst sannolikt. Därmed kanske man inte bör ha individuella gränsvärden för de två metoderna om de används utan ett gränsvärde för en kombination av de två mätresultaten.

Ljusinvariansen för systemet är hög. En förändring i allmänbelysning eller bakgrundsbelysning stör inte systemet nämnvärt. Stora förändringar i ljusintensitet från ett håll skall däremot undvikas.

Tidsåtgång

Tidsåtgången för de olika algoritmerna som använts ovan har analyserats. Medianfiltreringen tar ungefär 0,059 s att utföra. De tre medelvärdesfiltreringarna tar sammanlagt 0,018 s. Metoden för ljusaste delyta-identifiering behöver 0,040 s och de åtta linjederiveringar som utförts kräver sammanlagt 0,067 s. Den tid som angetts gäller inte bara för själva beräkningen utan för hela anropet av funktionen i fråga. Totalt tar hela proceduren ungefär 0,35 s. En stor del av denna tid utgörs alltså av sådant som inte direkt har med beräkningarna att göra, som exempelvis inläsning av bild till minnet. En faktor som inte tagits med i beräkningarna är kommunikationen med omvärlden.

Processen anses vara tillräckligt snabb för ändamålet och några större ansträngningar att få ner tidsåtgången har därför inte gjorts. Vid behov finns det en mängd angreppssätt: optimera programkoden, optimera mätområdets storlek och snabbare hårdvara. Dessutom är det inte nödvändigt att vänta på att resultatet av beräkningen är klart innan man går vidare med hanteringen av det undersökta halvfabrikatet, det vill säga att halvfabrikatet kan roteras/förflyttas till sin nästa position samtidigt som beräkningarna utförs.

3.4 Slutsats

Studien har gett insikt i hur kamerasystem med relativt små insatser kan lösa komplexa problem. Det har visats att alla undersökta fenomen av denna typ som är synliga för ögat har gett mätbara förändringar med någon av de metoder som använts. I studien har alltså alla synliga fenomen varit mätbara. Det har också visats att denna typ av undersökningar inte behöver kräva dyrbara resurser i form av utrustning.

För att systemet skall vara acceptabelt att införa måste det överträffa den manuella kontrollen. För att avgöra om detta har lyckats krävs ett mått på hur bra den manuella kontrollen fungerar. Ett sådant mått är svårt att fastställa då det varierar kraftigt med tiden och då det inte finns någon som helst statistik på detta område. Bedömningen blir därför subjektiv. De undersökningar som gjorts säger att resultatet är bättre för det automatiska systemet än det manuella, frågan är bara hur mycket bättre. Detta kommer aldrig att helt kunna fastställas och det slutliga omdömet om den föreslagna lösningen måste vänta till dess systemet varit i bruk ett längre tag.

4 Begreppslista

EasyVision	Visionprogramvara utvecklad av Lars Kopp.
Feature	Nyckelområde i en bild som används av EasyVision för att identifiera ett objekt.
Godkända reklamationer	Reklamationer från kund som Trelleborg Forsheda har accepterat och ersatt.
Halvfabrikat	Silikonbelagda massor.
Hf-don	Möjliggör användning av lysrör för drift vid 100 Hz.
Kopp	Aluminiumdetalj som massan monteras i samt doktor i Lund.
Lock	Aluminiumdetalj som monteras på kopp.
Låda	Kopp (aluminiumdetaljen, ej doktorn) med lock.
Massa	Den del som sätts i svängning vid vibrationsdämpning.
Monteringen	De aktiviteter som utförs efter det att halvfabrikaten belagts med silikon och eftervulkaniserats fram till det att de leveranskontrollerats.
Requill	Trelleborg Forshedas varumärke för svängningsdämpare av boxtyp.
Spärrad pall	Pall med icke godkänd produkt som upptäcks i och skickas tillbaka från leveranskontrollen till monteringen.
Vision	Begrepp som avser analys med kamera och dator.

5 Litteraturlista

Ur Ahlmann, Hans. Kompendium i kvalitets- och underhållsstyrning, del 2, Lund 2003:
PIMS Findings.

Almgren, Bengt och Noll, Jan Åke. Kvalitet – vad vet man egentligen?

Bergman & Klefsjö, Kvalitet från behov till användning, Studentlitteratur, Lund 2001

Gonzales, Rafael C. Woods, Richard E. Digital Image Processing. 1 uppl. Addison-Wesley, Reading MA, 1992.

Hill, Terry. *Manufacturing Strategy*, 2 uppl., Palgrave, Hampshire 2000.

Klahold, Jürgen, Jürgens, Hartmut och Rückert, Ulrich. *Neural Object Classification Using Ultrasonic Spectrum Analysis*,

System and Circuit Technology, Heinz Nixdorf Institute,

Paderborn University, Fürstenallee 11, D-33102 Paderborn, <http://www.whni.uni-paderborn.de/publikationen/download.php?id=884&filename=paper.pdf&paper=KJR2003.pdf&parent=%2Fprojekte%2Fprojekt.php%3Fid%3D153>

Ur Kompendium i produktionsledning 2005:

Eliminating Waste, The new manufacturing challenge

Kopp, Lars. *Natural vision for Artificial Systems*, 1 uppl., Lund University Cognitive Studies 100, Lund 2003.

Olsson, Gustaf och Rosen, Christian, Industrial Automation, Media-tryck, Lund 2003

Rommel, Günter. Kempis, Rolf-Dieter. Kaas, Hans-Werner. *Does Quality Pay?* The McKinsey Quartely, 1994. Nummer 1.

Smither, Robert. *The psychology of Work and Human Performance*, 3 uppl., Longman, New York 1998.

HyperMedia Image Processing Reference, <http://www.cee.hw.ac.uk/hipr/html/gsmooth.html>

<http://www.osram.se/Bilder/PDF/Allm%c3%a4nbelysning/tekniska%20uppgifter.pdf>

6 Bilaga 1 – Andra användningsområden

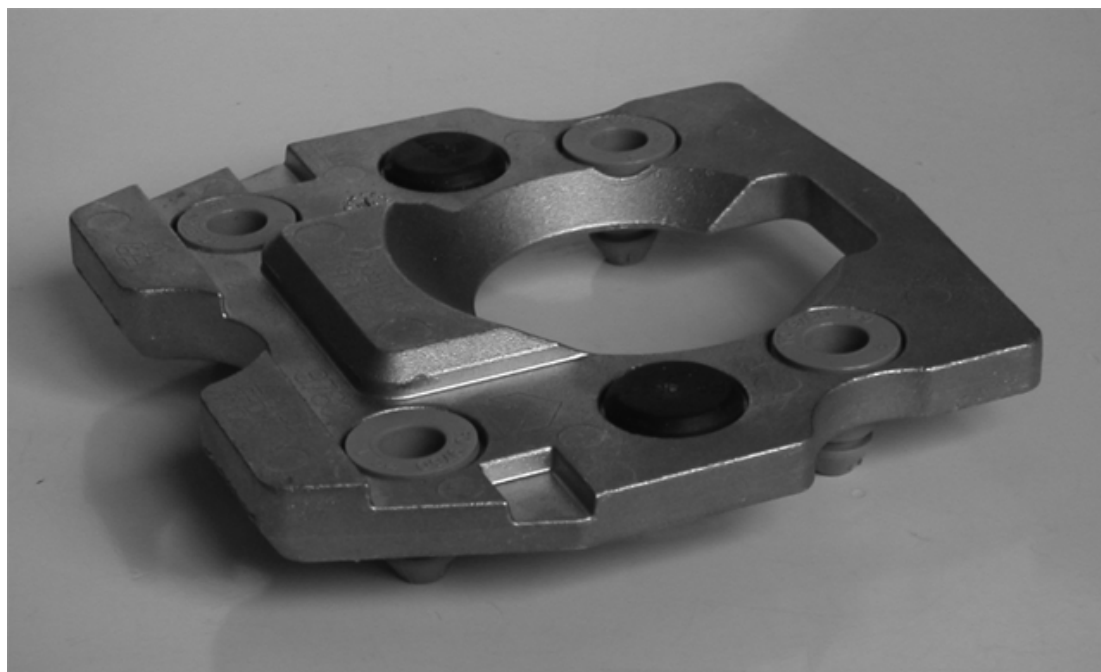
Kvalitetskontroll via bildanalys kan användas för att ersätta exempelvis mänsklig okulärkontroll. Vision kan användas även i andra sammanhang men det är denna koppling som kanske är den mest uppenbara. I Trelleborg Forshedas fall finns i dagsläget manuell okulär kvalitetskontroll på en mängd ställen i produktionen. De problem de olika kvalitetskontrollerna syftar till att kontrollera är olika och kontrollen kan därmed i olika grad ersättas av kvalitetskontroll via bildanalys. Denna del av rapporten visar på två problem och försöker lösa dessa med hjälp av bildbehandling. Ett av exemplen visar också på behovet av inbyggda kvalitetskontroller i automationsutrustning.

Kvalitetskontroll av rattdämpare

Bakgrund

En annan av produkttyperna som tillverkas på avdelningen är rattdämpare. Dessa utgörs av massor i zink som svänger fritt, uppsatta i fyra gumminappar. Vidare har produkten två gummienheter som skall dämpa åt andra hållet. Det finns i dagsläget tre olika modeller av den här produkttypen och fler kommer att produceras i framtiden. Dessa har olika form på massan, samma form men olika färg på napparna, och använder sig av identiska gummienheter. De olika napparna är färgade gula, blå respektive grå. I figur 25 syns ett exemplar av typen 9760, en av de tre nuvarande rattdämparna i produktion.

Det finns en maskin för att sätta in napparna och enheterna, vilka gjuts för sig, i massan. Detta görs genom att de trycks in i ett hål som det krävs tillräcklig deformation att komma igenom för att de skall sitta kvar. Den här maskinen hämtar massorna, trycker in napparna och enheterna och lägger därefter den färdiga produkten på ett band för att förpackas för hand.



Figur 22: Produkt av typ 9760. En av de tre syskonprodukter som produceras i dagsläget.

Problem

Maskinen misslyckas ibland med att trycka in napparna och enheterna ordentligt. De fel som förekommer är: nappar sitter för löst, nappar sitter snett och nappar sitter inte i alls – se figur 26.



Figur 23: Exempel på de tre olika typer av fel som uppkommer då gumminapparna trycks i.

Alla dessa problem förekommer både för nappar och för massor. Detta leder till att man måste kontrollera produktionen hela tiden och producerade enheter innan de packas. Trelleborg Forsheda är därför angelägna om att finna en automatisk lösning till en rimlig kostnad på detta problem.

Dessutom skulle fel nappar kunna monteras om man laddar magasinet med fel typ av nappar.

Lösningensansats Integrering/Mätning – Helhetslösning

Felaktiga artiklar uppvisar fenomenen som är klart synliga och som syns väl med ögat under olika ljusförhållanden. Förutsättningarna för att göra kvalitetskontroll med vision anses därför goda. För att en lösning skall vara praktisk tillämpbar krävs emellertid att den går att integrera med det befintliga systemet. Två frågeställningar uppkommer därmed:

Vad och hur skall vi mäta för att mätsystemet skall känna igen felaktiga detaljer?- mätning

Hur skall mätsystemet kommunicera med monteringsmaskinen för att hantera felaktiga enheter på ett optimalt sätt?- integrering

Mätning

Mätsystemet skall detektera felaktiga detaljer med hög säkerhet. Olika sätt att detektera fenomenet har diskuterats.

Följande mätmetoder har diskuterats:

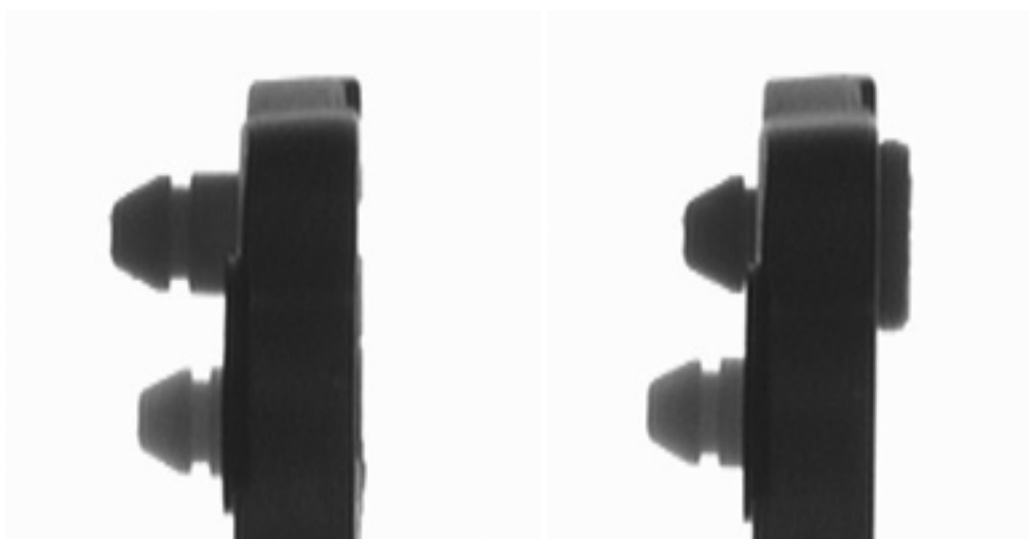
Igenkänning. Den igenkänningsfunktion som utgör basen för mätsystemet kan användas för feldetektion. Om igenkänningsområdena förläggs till de områden som skall mätas kommer systemet inte att känna igen defekta detaljer.

Avståndsmätning mellan punkter. Det inbördes avståndet mellan napparna förskjuts när de ligger snett. Att mäta avstånden mellan dessa skulle detektera detta fenomen, se figur 27. Ett annat sätt vore att mäta avståndet mellan olika sidor på napparna/enheterna. Avstånden förändras när napparna/enheterna kommer närmare kameran eller deformerar. Något att ta i beaktning är att två nappar skulle kunna förskjutas åt samma håll och behålla sitt inbördes avstånd.



Figur 24: Avståndsmätning av tre sträckor på en produkt av typ 9733. Sträckorna är markerade med streck i bilden och avståndet anges i antal pixlar.

Test mot referenslinje. Om napparna/enheterna inte är ordentligt isatta kommer detta att synas som en upphöjning i detaljens profil. Att mäta om en linje eller area strax ovanför detaljen bryts, det vill säga att summera derivatorna längs profilen, är ett sätt att detektera detta, se figur 28. Samma metod kan användas om man tittar på produkten ovanifrån, men ha en cirkel som referens. Är napparna ej korrekt isatta deformeras de och mister sin cirkulära form.



Figur 25: Del av produkt 9733 sedd från sidan. Notera hur tydligt det syns om en napp inte är helt isatt.

Areamätning. Arean på napparna och enheterna minskar/ökar sett ovanifrån när de inte är ordentligt isatta. Att mäta summan av intensiteten över ett område innehållande nappar/enheter kan fånga detta.

Färgkontroll. Att kontrollera att rätt napp har monterats kan göras genom att man använder sig av en färgkamera. Det är i teorin möjligt att göra med en svartvit kamera med, eftersom ljusintensiteten skiljer sig åt mellan napparna, men med en färgkamera blir det betydligt enklare och samtidigt får man ett mer flexibelt system som förhoppningsvis klarar av även andra färger än de tre nuvarande. Rent praktiskt skulle man kunna titta på ett litet område där man vet att en napp skall finnas och analysera färgen där, napparna skiljer sig så pass mycket åt att denna kontroll enkelt går att utföra. Belysningsmässigt får man tänka på att man inte råkar ut för mycket störande reflexer eller använder sig av ett för starkt motljus.

Integrering

Då maskinen har kommit till det område där mätningen skall ske krävs att den anropar mätsystemet och beordrar den att utföra en mätning. Resultatet av denna skall därefter sändas tillbaka till maskinen. Därefter skall maskinen fortsätta sin cykel på det sätt resultatet motiverar. Den koppling mellan mätsystemet och maskinen som har befunnits vara lämplig är kommunikation mellan mätsystemets PC och maskinens PLC via en IO-modul (Adam).

För att kunna utföra en lyckad integration krävs att belysning och kameror kan monteras på ett sådant sätt att de fenomen man är ute efter att mäta synliggörs. Redan i försöken användes två faktiska positioner i maskinen för kameran. Den ena belägen ca 70 cm rakt ovanför den position där produkten vänds av maskinen och infäst i maskinens säkerhetsstaket. Den andra positionen var i samma plan som detaljen och parallellt med maskinens huvudriktning. Två positioner för belysningen utprovades också, i båda fallen på motsatta sidan om enheten som kontrolleras.

De felaktiga enheter som uppträcks skall också placeras på ett sådant sätt av roboten att operatören kan komplettera dem med nappar och/eller gummienheter. Det finns i dagsläget ingen sådan given position, men ett glidplan eller liknande med en buffert kan installeras där produkten kan placeras kan enkelt tillverkas.

Försök

Igenkänning av detaljerna gjordes med centrum av napparna som igenkänningsområden, där bakgrunden var så ljus att centrum av dessa blev ljusare än omgivningen och en karakteristisk cirkelskiva bildades. Igenkänningen blev därmed robust. Vid försöken visade sig denna metod kunna detektera saknade nappar samt gravt sneda dito. Mindre sneda eller lösa nappar kunde inte detekteras och inte heller felaktiga enheter. Problemet med denna metod är att napparna figurerar i olika färger för att de skall kunna särskiljas. Nappar med andra färger kan vara svåra att lysa igenom och en annan ljussättning eller metod kan då behövas. Avståndsmätning infördes i nästa steg mellan de olika punkterna ovan. Detta ledde till att även mindre sneda nappar detekterades korrekt och på ett robust sätt.

Ett försök gjordes att använda varje sida på napparna som ett identifieringsområde för att mäta avståndet mellan dessa, men det visade sig svårt att hitta ett område som var tillräckligt unikt för identifieringsalgoritmen.

Test mot referenslinje. För kameran som placerades i samma plan som detaljen användes en annan strategi. Med denna metod tittar man längs en känd referenslinje och mäter derivatan över denna. Metoden ger ett kraftigt utslag och klarar snabbt att skilja mellan korrekt och felaktigt monterade produkter. Detta verktyg är det samma som används för kontroll av släpp längs kanter och hörn på halvfabrikaten.

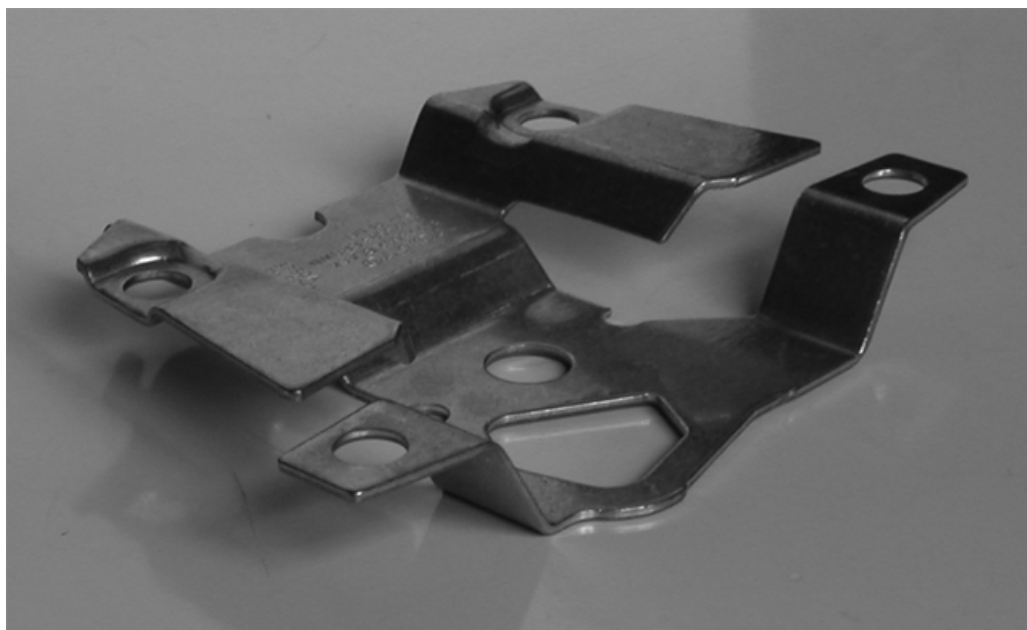
Analys

Vid en implementering rekommenderas det att två kameror används, varav minst en färgkamera. Identifieringsmöjligheten i exempelvis EasyVision gör det möjligt att minimera ställtiderna, inga justeringar alls behövs så länge det inte rör sig om helt nya produkter. Även nya produkter skulle bli relativt enkla att lägga in i systemet då produkterna är väldigt lika i sin uppbyggnad. Ännu bättre är det om man vid konstruktionen eller åtminstone programmeringen av monteringscellen tar hänsyn till att de två kamerorna skall kunna se fenomenen på ett bra sätt. Gripverktyg eller massans profil skall helst ej dölja napparna och gummienheterna på ett sådant sätt att de blir svåra att kontrollera. Även av denna anledning är det en fördel att ha två kameror i systemet som kan komplimentera varandra. Sammanfattningsvis kan konstateras att vision lämpar sig väl för denna typ av kvalitetskontroll och med fördel kan användas istället för manuell kontroll av produkterna.

Kontrollmätning av bockad stålprofil

Bakgrund

En av delarna till en rattdämpare består av en bockad stålprofil. Toleranserna för avståndet mellan de fyra benen och ett tänkt plan under detaljen är relativt små, $\pm 0,3$ mm enligt ritning, se Figur 29. För att kontrollera att benen är bockade enligt kraven har Trelleborg Forsheda utformat två fixturer. Den första fixturen kontrollerar de två undre benen och den andra fixturen kontrollerar de två övre. Mätningen går till så att man trycker ned botten på detaljen mot fixturens botten och sedan försöker föra in detaljen i fixturen horisontellt. Går detta hyfsat enkelt är detaljen godkänd, annars behövs benen bockas till.



Figur 26: Den bockade stålprofilen. Avståndet som skall mätas är det mellan varje ben och ett referensplan parallellt med detaljens undersida.

Problem

Fixturerna som är gjorda i stål slits efterhand och tillåter betydligt större avvikelser än specificerat. Dessutom finns det ett mått av subjektivitet i mätförloppet, det går att för mindre avvikelser tvinga igenom detaljen. Olika individer kommer följaktligen att komma fram till olika resultat. Att varje detalj måste mätas två gånger, en gång för varje benpar, är inte heller önskvärt.

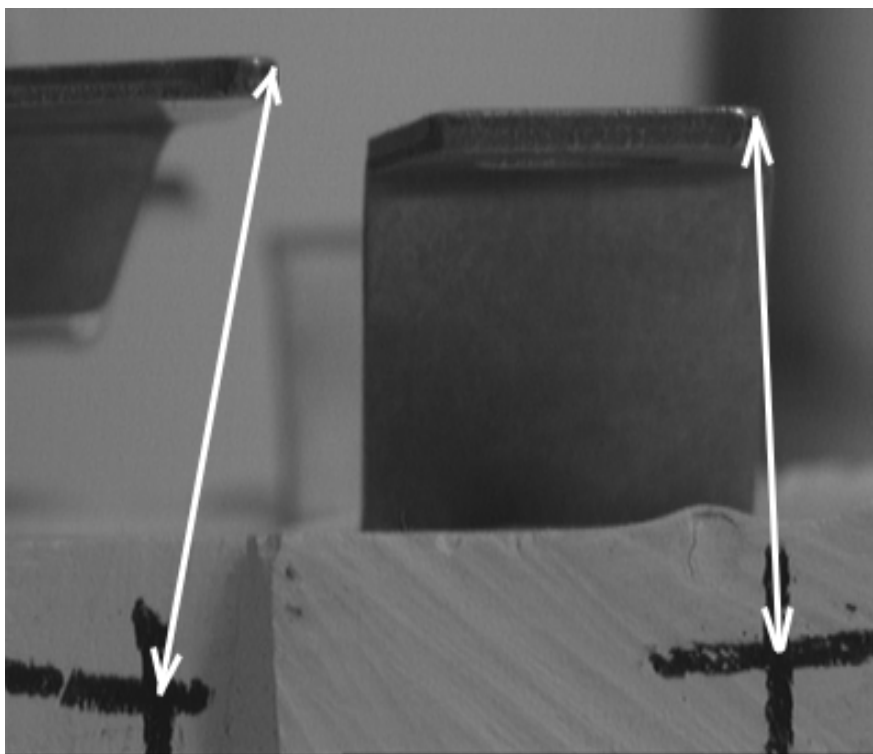
Lösningsansats

Då EasyVision innehåller ett färdigt mätverktyg för mätning mellan två identifieringspunkter, skulle man kunna uppnå en billig och förhoppningsvis robust lösning om detta verktyg kunde användas. Avståndet mellan två punkter mäts med detta verktyg i antal pixlar. En upplösning på 0,3 mm skulle då motsvaras av 3,33 pixlar per mm eller 33,33 pixlar per cm. (Avrundat uppåt blir detta 34 pixlar.) Förutsatt att man kan använda sig av 400 pixlar för att mäta och att det inte förekommer något mätfel, så blir det längsta avstånd man kan mäta med denna upplösning $400 \cdot 0,03 \text{ cm} = 12 \text{ cm}$.

Genom att titta på detaljen från sidan med en kamera kan två ben mätas på samma gång. Vill man kunna mäta alla fyra ben i en mätning krävs två kameror – en från varje sida. Kontrasten antas vara viktig för en exakt mätning, och då kan man tänka sig att man använder sig av en bakgrundsbelysning för att mäta i motljus och då få en kraftig skillnad mellan det man önskar mäta på, benen, och bakgrunden. För att kunna använda sig av två kameror skulle det då en ljuskälla behöva placeras mellan de båda benen ovanför detaljens centrum.

Försök

För att testa principen utfördes mätningar från en sida. Detta gick på så sätt att en fixtur tillverkades av gips för att säkerställa att detaljerna befinner sig på samma nivå i varje mätning. En kamera med ett objektiv på 25 mm placerades ca 30 cm från mätpunkten och en ljuskälla med en vit skärm användes som bakgrund. Gipsfixturen kapades under benet som skulle mätas så att en slät yta på samma avstånd från kameran som benet skapades. På denna yta ritades ett svart kors att ha som identifierings- och mätpunkt i EasyVision, se figur 30. Avståndet mellan det svarta korset och mätpunkten på benet var ca 3 cm i verkligheten och 300 pixlar på skärmen. En pixel motsvarar då 0,1 mm.



Figur 27: Avståndsmätning mellan fast referenspunkt och den intressanta detaljen. Genom att minska avståndet mellan referensområdet och den del som skall mätas kan upplösningen ökas.

Analys

Vad som kunde fastställas var att på vissa detaljer varierar mätresultatet en pixel från gång till gång eftersom mätpunkterna läggs ut i hela antal pixlar. Att då garantera att benen befinner inom toleransen på $\pm 0,3$ mm innebär att gränsen i EasyVision skulle sättas till ± 2 pixlar. En direkt jämförelse mellan mätning med fixtur och kamera gav att noggrannheten i de två metoderna skilde sig vitt åt till fördel för kamerasystemet. Detaljer som upplevdes som tveksamma med fixturen gav ett klart och tydligt utslag på flera pixlar i kamerasystemet.

Önskar man en ännu högre noggrannhet i kamerasystemet kan man tänka sig flera åtgärder. Den enklaste vore att minska avståndet mellan mätpunkterna och öka förstoringen på bilden. Vad som sätter gränsen här är att man helst vill använda sig av bara en kamera och då blir avståndet mellan de båda benen en begränsande faktor. Andra förbättringar vore att programmera om utsättandet av mätpunkten. Detta sker i steg om hela pixlar och man kan tänka sig att beräkna var den skall befinna sig med en större noggrannhet med någon slags tyngdpunktsberäkning. Detta kräver en viss arbetsinsats och skulle öka kostnaderna för systemet.