

Kvalitetsarbete inom mätteknik med FARO-arm

Daniel Bengtsson Karin Gustafsson

SIEMENS

Förord

Detta examensarbete har genomförts som en avslutande del för ingenjörsprogrammet Industriell ekonomi på Högskolan Väst i Trollhättan. Examensarbetet har pågått i tio veckor och omfattar 15 högskolepoäng.

Tack till Siemens Industrial Turbomachinery AB för att vi har fått möjlighet att utföra vårt examensarbete hos er. Vi vill tacka vår handledare Daniel Vierikko för all hjälp och stöd under arbetets gång. Vi vill också säga tack till operatörerna (som har fingerade namn senare i rapporten) Wesam Ibrahim, Michael Johansson och Simon Vajizovic för att de hjälpt till med mätningar och haft insiktsfulla tankar. Andra anställda på företaget som hjälpt oss och som vi vill tacka är Mattias Karlsson, Magnus Sundholm, Tomas Wahlberg och Klas Öhrman.

Vi vill även säga stort tack till Claes Hansen som har varit vår handledare på Högskolan Väst och som bidragit med givande diskussioner och vägledning under arbetets gång.

Arbetet har till störst del utförts gemensamt, det som gjorts enskilt har granskats och utvecklats i samråd. Om inget annat anges är alla tabeller och figurer som förekommer i rapporten framställda av författarna.

Trollhättan, april 2019

Handwritten signatures of Daniel Bengtsson and Karin Gustafsson in black ink.

Daniel Bengtsson

Karin Gustafsson

Kvalitetsarbete inom mätteknik med FARO-arm

Sammanfattning

Examensarbetet har utförts på Siemens Industrial Turbomachinery AB i Trollhättan. Företaget tillverkar brännkammare till gasturbiner. Syftet med arbetet har varit att undersöka om kvalificerade mätningar kan utföras med Siemens Industrial Turbomachinery AB:s mätinstrument. Denna undersökning har utförts genom en mätsystemanalys. Syftet har även varit att undersöka om det går att införa statistisk processtyrning för en detalj. För att utföra denna studie har undersökningsdesignerna fallstudie och aktionsforskning använts. Fallstudien har varit till för mätsystemanalysen eftersom den berört ett specifikt fall som har analyserats. Aktionsforskning har nyttjats till undersökningen om statistisk processtyrning eftersom undersökningen har varit en del av planeringsarbetet för införande av en förbättring.

För mätsystemanalysen har det använts tre detaljer av samma sorts artikel, tre operatörer och två mätomgångar per detalj. Det har även utförts mätningar på en passbit med kända mått. Mätningarna har sammanställts i ett Excel-ark och analyserats i programmet Minitab. Därefter har en VMEA utförts. Analys av mätningarna har tydliggjort att operatörerna varierar i både repeterbarhet och reproducerbarhet. Mätinstrumentet har bevisats stabilt och inte en grund till variation. Undersökningen om implementering av statistisk processtyrning har visat att det inte är möjligt att införa eftersom mätresultaten är alltför ostabila. Detta har lett till att företaget måste se över sina mätmetoder för att få en minskad spridning av mätresultaten. Att studien inte har använt tillräckligt många mätobjekt för ett statistiskt riktigt resultat bör poängteras. Hänsyn bör därmed tas till att studiens resultat inte är helt tillförlitligt, utan snarare indikerar att det är ett troligt resultat som framkommit. Förbättringsförslag som har framkommit under studien:

- Detaljerna placeras inomhus tillräckligt länge innan de mäts.
- Företaget inför ett eget, enskilt, anpassat rum för att mäta detaljerna.
- Företaget ser över arbetsmetodiken för mätningarna.
- Företaget uppdaterar arbetsinstruktioner för mätningar.
- Företaget inför mätutbildning för operatörerna.

Det som inte har utförts är själva införandet och framtagning av underlag för statistisk processtyrning. Detta eftersom mätresultaten har för stor variation för att SPS ska kunna användas.

Datum:	2019-04-01
Författare:	Daniel Bengtsson, Karin Gustafsson
Examinator:	Oskar Jellbo
Handledare:	Claes Hansen (Högskolan Väst), Daniel Vierikko (Siemens Industrial Turbomachinery AB)
Program:	Industriell Ekonomi
Huvudområde:	Industriell Ekonomi
Kurspoäng:	15 högskolepoäng
Utgivare:	Högskolan Väst, Institutionen för ingenjörsvetenskap, 461 86 Trollhättan Tel: 0520-22 30 00, E-post: registrator@hv.se , Web: www.hv.se

Quality work within measuring technology with FARO-arm

Summary

The thesis has been performed at Siemens Industrial Turbomachinery AB in Trollhättan. The company manufactures combustors for gas turbines. The purpose of the work has been to investigate whether qualified measurements can be performed with Siemens Industrial Turbomachinery AB's measuring instruments. This study has been performed through a measurement system analysis. The purpose has also been to investigate whether it is possible to introduce statistical process control for a detail. To carry out this study, the study designs case study and action research have been used. The case study has been for the measurement system analysis because it concerned a specific case that has been analyzed. Action research has been used to investigate statistical process management since the survey has been part of planning work for the introduction of an improvement.

Measurements on a gauge block with known dimensions have also been made. The measurements were compiled in an Excel sheet and analyzed in Minitab. Then a VMEA was performed. Analysis of the measurements made it clear that the operators vary in both repeatability and reproducibility. The measuring instrument has proved to be stable and not a basis for variation. The study on implementation of statistical process control has shown that it is not possible to be introduced because the measurement results are too unstable. This leads to the company having to review its measurement methods to achieve a reduced spread of the measurement results. That the study has not used enough measuring objects for a statistically correct result should be emphasized. Consideration should therefore be taken that the result of the study is not entirely reliable, but rather indicate that it is a probable result that has emerged. Suggestions that have emerged during the study is:

- The details are placed indoors long enough before they are measured.
- The company introduces a separate, customized room for measuring the details.
- The company reviews the work methodology for the measurements.
- The company updates work instructions for measurements.
- The company introduces measurement training for operators.

What has not been made is the actual introduction and making of user data for statistical process control. This is because the measurement results have a too great variation for the use of SPS.

Date:	April, 1 st 2019
Author(s):	Daniel Bengtsson, Karin Gustafsson
Examiner:	Oskar Jellbo
Advisor(s):	Claes Hansen (University West), Daniel Vierikko (Siemens Industrial Turbomachinery AB)
Programme name:	Industrial Engineering and Management
Main field of study:	Industrial Engineering and Management
Course credits:	15 HE credits
Publisher:	University West, Department of Engineering Science, S-461 86 Trollhättan, SWEDEN Phone: +46 520 22 30 00, E-mail: registrator@hv.se , Web: www.hv.se

Innehåll

Förord	i
Sammanfattning	ii
Summary	iii
Nomenklatur	vi
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Problembeskrivning	2
1.3 Syfte.....	2
1.4 Mål	2
1.5 Avgränsningar.....	2
2 Metod & Tillvägagångssätt	3
2.1 Fallstudie	3
2.2 Aktionsforskning	3
2.3 Validitet & Reliabilitet	4
2.4 Kvalitativ & Kvantitativ data	5
2.5 Datainsamling.....	5
2.5.1 Litteraturstudie.....	5
2.5.2 Observationer.....	6
2.6 Litteraturstudie	6
2.7 Projektplanering.....	6
2.8 Mätssystemanalys (MSA).....	7
2.9 Statistisk processtyrning (SPS)	8
3 Teori	9
3.1 Kvalitet	9
3.2 Sex Sigma	9
3.3 Variation Mode and Effects Analysis (VMEA)	10
3.4 Mätosäkerhet.....	10
3.5 Kalibrering.....	12
3.6 MSA.....	13
3.7 SPS.....	14
4 Nulägesanalys	16
4.1 FARO mätarmar	16
4.2 Företagets mätmetod	17
5 Resultat	19
5.1 MSA.....	19
5.2 SPS.....	23
6 Diskussion	26
6.1 Projektplanering.....	26
6.2 Metod.....	26

6.3	Mätosäkerhet.....	27
6.3.1	Mätmiljö och mätinstrument	27
6.3.2	Mätmetod	28
6.3.3	Mätobjekt.....	28
6.3.4	Operatörer	28
6.4	Omvärlden	29
7	Slutsats	30
8	Framtida arbete	31
	Referenser	32
	Bilagor	
A:	Exceldokument av mätresultat	A:1
B:	Gantt-schema	B:1
	Figurer	
Figur 2.1	PDCA-cykeln.....	4
Figur 2.2	Fyra kategorier av observationer [6]	6
Figur 2.3	Grovplanering för arbetsgång	7
Figur 3.1	DMAIC-cykeln av Daniel Penfield (CC BY NC SA) [13]	10
Figur 3.2	En översiktlig bild av ett mätsystem [14].....	11
Figur 3.3	En Beskrivning av BIAS [18].....	13
Figur 3.4	Noggrannhet och Precision [18]	14
Figur 3.5	Grundprincip för styrdiagram. Avståndet från centrallinjen till en styrgräns är vanligtvis tre gånger kvalitetsindikatorns standardavvikelse.....	15
Figur 4.1	Bild på FARO-arm. Ägare: Siemens Industrial Turbomachinery AB	16
Figur 4.2	Detalj som används i studien med mätpunkter uppmärkta.....	17
Figur 5.1	Variationsbredden på mätningarna med passbit	19
Figur 5.2	Variationskomponenter	20
Figur 5.3	Operatörernas reproducerbarhet	20
Figur 5.4	Variationskomponenter utan Görans mätningar	21
Figur 5.5	Variationskomponenter utan Josefines mätningar.....	21
Figur 5.6	VMEA	22
Figur 5.7	Normalfördelning av medelradie i förhållande till toleranserna.....	23
Figur 5.8	Karaktärsdrag för normalfördelningskurvan av cirkelformen	24
Figur 5.9	Normalfördelning av cirkelform i förhållande till toleranserna	24
Figur 5.10	Potentiell normalfördelning	25

Nomenklatur

Vokabulär

Brännkammare	= Den del i en turbin där bränsle blandas med luft och förbränns.
DMIAC	= Står för: Define, Measure, Improve, Analyse & Control, och är en process för förbättringar inom Sex Sigma.
GR&G	= Gauge repeatability and reproducibility.
Ledtid	= Tiden det tar att genomföra en process från start till slut.
MSA	= Mätssystemanalys.
PDCA	= Står för: Plan, Do, Check & Act, och är en process för förbättringar inom kvalitet.
SIT	= Siemens Industrial Turbomachinery AB.
SPS	= Statistisk processtyrning.
VMEA	= Variation Mode and Effects Analysis.

1 Inledning

Detta inledningskapitel kommer handla om syfte och mål med examensarbetet. Kapitlet kommer även beskriva bakgrunden till examensarbetet samt problemformuleringen, sist kommer avgränsningar beskrivas.

Galilei var den första personen som fick världen att inse värdet och betydelsen av mätningar, i samband med pendellagarna 1604. Under 1700- och 1800-talen kom mätningarnas stora genombrott, elektriciteten uppfanns och industrialiseringen krävde en större mätnoggrannhet. Genom ökade krav på mätnoggrannhet framkom det att kvalitet och mätning hör ihop [1]. Med mätteknik kan kvaliteten förbättras och lönsamheten hos ett företag kan påverkas positivt. Jämnare kvalitet på produkterna ger motiverade operatörer, företaget kan få nöjdare kunder och bli mer effektivt. För att uppnå detta krävs att företag arbetar med ständiga förbättringar. Det finns ett flertal arbetssätt och strategier för detta idag [2].

1.1 Bakgrund

Siemens Industrial Turbomachinery AB (SIT) är en del av koncernen Siemens AG. Siemens AG är verksamt inom ett flertal områden, till exempel industri, hälsovård och energi. Koncernen har cirka 360 000 anställda i över 190 länder [3]. SIT är en del av energisektorn, där exempelvis gasturbiner tillverkas. Gasturbinerna används för att framställa el inom bland annat olje- och gasindustrin. Huvudkontoret ligger i Finspång där företaget har varit verksamt sedan andra världskriget. Idag är cirka 3000 anställda på SIT, inräknat både Finspång och Trollhättan. SIT hade år 2017 en omsättning på ungefär 11 miljarder kronor, en vinstmarginal på 13,2 procent, en kassalikviditet på 73,9 procent och en soliditet på 38,3 procent [4].

Fabriken i Trollhättan var från början företaget Trestad Svets AB och blev uppköpt av SIT år 2006. I Trollhättan tillverkas brännkamrarna till Finspångs gasturbiner. Trollhättanfabriken tillverkar även andra produkter som levereras till kunder utanför SIT. I Trollhättan delas tillverkningen in i tre kärnkompetenser: svetsning, pressning/formning och laserbearbetning av nickellegerade och värmebeständiga material. Flertalet svetsmetoder används, bland annat TIG, MIG, plasma och lasersvetsning [5]. SIT i Trollhättan behöver utveckla mätningen av svetsade konstruktioner i produktionsmiljö. Idag utförs mätningarna med hjälp av ett flertal olika mätinstrument. Verifierande mätning utförs för att säkerställa att produktens mått är inom specifikation. Mätning utförs ofta även i tillverkningsprocessen för att justera produkten till rätt mått.

1.2 Problembeskrivning

SIT utvecklar i dagsläget nya produkter som har snävare toleranser än tidigare. Företaget är osäkert på om deras mätsystem har tillräckligt god noggrannhet för att klara av att mäta med dessa nya toleranser. Detta innebär att mätsystemets kapabilitet behöver säkerställas för att den mättekniska avdelningen ska ha möjlighet att utföra kvalificerade mätningar. För att utvärdera ett mätinstruments kapabilitet bör en mätsystemanalys utföras. Samtidigt behöver det standardiserade mätupplägget ses över för att undersöka om det finns förbättringsförslag som kan föreslås. Med införande av en statistisk processtyrning får SIT en dokumenterad översikt över mätningarna som utförs. Diagrammen som uppförs gör det möjligt att skilja på systematiska och slumpmässiga orsaker till variationer i processen.

1.3 Syfte

Syftet med studien är att undersöka om kvalificerade mätningar kan utföras med SIT:s mätinstrument. Syftet är även att undersöka om det går att införa förbättringar för en detalj.

1.4 Mål

Målet med arbetet är att genom en mätsystemanalys uppskatta ett mätsystems repeterbarhet och reproducerbarhet av mätning. Målet är även att undersöka om det finns förutsättningar för att implementera statistisk processtyrning, och i så fall ta fram underlag för användandet av det och anvisa personal hur metoden ska användas.

1.5 Avgränsningar

Mätsystemanalysen är begränsad till att studien endast ska utföras på ett mätinstrument samt att tre operatörer utför mätningarna. Detta eftersom verktygen som används och operatörerna som hjälper till inte ska hindra ordinarie produktion. Studien avgränsades också till att endast hantera toleranskrav gällande den största av diametrarna på detaljen. Studien är även avgränsad från att undersöka påverkan av variation från miljö eftersom ett antagande har gjorts att mätinstrumentets sensorer fungerar. Statistiska processtyrningsanalysen är begränsad till att studien endast ska utföras på en detalj. Avgränsningarna är gjorda i samråd med SIT

2 Metod & Tillvägagångssätt

Detta kapitel består av två delar. Första delen kommer att handla om metodteori – Där kommer fallstudie, aktionsforskning, validitet & reliabilitet, kvalitativ & kvantitativa data och datainsamling beskrivas. Datainsamlingen kommer innefatta litteraturstudier och observationer. Den andra delen kommer att handla om tillvägagångssättet – Där kommer litteraturstudie, projektplanering, mätsystemanalys (MSA) och statistisk processtyrning (SPS) beskrivas.

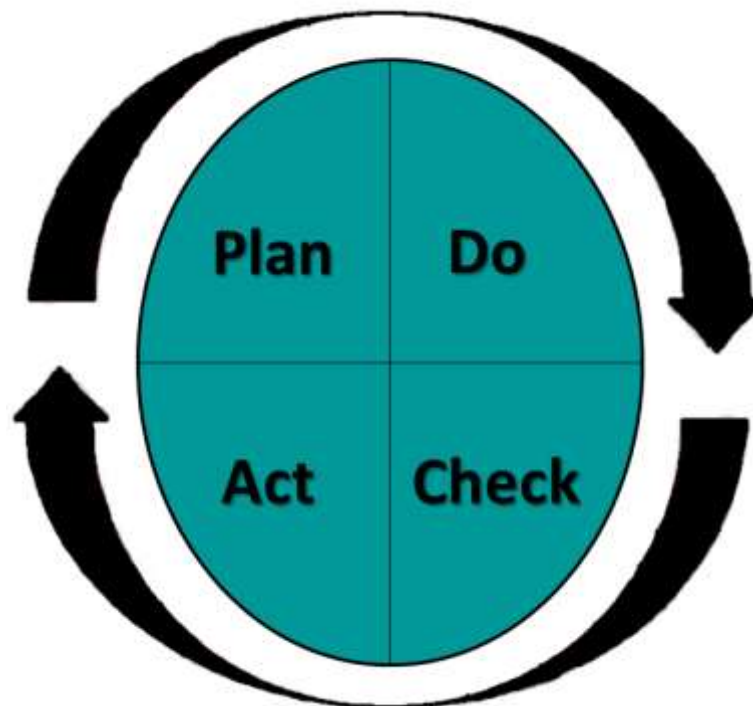
2.1 Fallstudie

Den studie som ska utföras för mätsystemanalysen berör ett specifikt fall som analyseras. Insamling av information kommer att ske genom litteraturstudier och observationer. Därmed är undersökningsdesignen utformad som en fallstudie. Syftet med en fallstudie är att beskriva en företeelse eller ett objekt på djupet. Fallstudier används oftast för att studera företeelser som är komplicerade att urskilja från sin omgivning. En fallstudie är flexibel vilket innebär att frågor och inriktningar kan ändras under studiens gång. Kvalitativa data är det som framförallt används när en fallstudie utförs eftersom variation i den observerade företeelsen är viktigt. Det innebär att samla in så mycket olika data som möjligt genom att intervjua personer, roller och analysera dokument [6]. Teknikerna som är vanligast för datainsamling vid en fallstudie är intervjuer, observationer och arkivanalys. Vid observationer studeras ett händelseförlopp och observatören antecknar utförandet. I en arkivanalys undersöks och kontrolleras dokumentation som har tagits fram. Denna dokumentation har framställts för annat syfte än för den föreliggande undersökningen [6].

2.2 Aktionsforskning

Den undersökning som ska utföras för att utvärdera om implementering av statistisk processtyrning är möjlig kommer att ske genom användning av delar från PDCA-cykeln. Därmed är undersökningsdesignen utformad som en aktionsforskning. Syftet med aktionsforskning är att implementera förbättringar samt studera resultaten. Aktionsforskning är baserat på PDCA-cykeln som är ett kvalitetsbegrepp gällande förbättringar [6]. Enligt Bergman & Klefsjö [7] är stegen i en PDCA-cykel följande:

- **Planera (Plan)** – Metodens början är att fastställa vad problemet är. Vad är det som ska förbättras? Problem måste brytas ner i mindre delproblem som är lättare att hantera.
- **Gör (Do)** – Här sammanställs en arbetsgrupp som ska utföra förbättringsarbetet. I detta steg ska alla inblandade personer informeras om vad problemet är och hur lösningen på problemet ska genomföras.
- **Studera (Check)** – I detta steg gäller det att studera hur effekterna har blivit. Blev det någon förbättring? Har det blivit förbättringar måste arbetsgruppen se till så att förbättringarna får förutsättningar att fortsätta.
- **Lär (Act)** – Vid en lyckad förbättring ska lösningen implementeras permanent. Att dra lärdomar från förbättringsarbetet är en viktig del för att andra problem i framtiden ska kunna undvikas.



Figur 2.1 PDCA-cykeln

2.3 Validitet & Reliabilitet

En studie kan betraktas som trovärdig om den uppfyller kriterierna för faktorerna validitet och reliabilitet. För en framgångsrik studie krävs det att metoden är tillförlitlig och att validiteten och reliabiliteten anpassas i förhållande till varandra [8]. Validitet innebär till vilken grad gruppen mäter det som är avsett att mäta. Giltig och relevant information

uppnås genom att tre typer av validitet uppfylls: inre, yttre samt begreppsvaliditet. Den inre validiteten behandlar i vilken utsträckning insamlad information motsvarar verkligheten. Den yttre validiteten handlar om hur väl ett mätvärde överensstämmer med det som fås vid en operationell definition. Begreppsvaliditeten behandlar hur väl teori och datainsamlingen är kopplade till varandra [6]. Studiens validitet ökar om instruktioner och formuleringar för de som medverkar i studien är tydliga [8]. Om resultatet av en undersökning blir detsamma om det utförs igen visar den på en god reliabilitet. Reliabilitet innebär hur stor tillförlitlighet en undersökning har. Tillförlitlig data uppnås genom granskning, mätning samt statistiska samband [9].

2.4 Kvalitativ & Kvantitativ data

Information som samlas in under ett arbetes gång kan vara kvalitativ eller kvantitativ. Ibland när en djupare förståelse krävs för att tolka en särskild händelse [6], till exempel data som består av ord eller beskrivningar kan det vara gynnsamt att framställa kvalitativ data. Bearbetning av kvalitativ data utförs genom sortering och kategorisering som analysmetoder. Om en särskild händelse innehåller information som kan mätas eller värderas på ett mätbart sätt, till exempel antal, andel, vikt, färg med mera, är det mer fördelaktigt att nyttja metoder för kvantitativ data [8]. Bearbetning av kvantitativ data utförs genom statistisk analys [6]. Syftet med en studie är det som påverkar ifall kvalitativ eller kvantitativ data bör framställas. Vanligast är att en kombinerad variant av kvalitativ och kvantitativ data eftertraktas eftersom det ger ett varierat synsätt av ett undersökningsområde [10].

2.5 Datainsamling

Det finns flera olika sätt att göra en datainsamling. För att kunna beskriva hur något utförs, är det givande att göra observationer. Ett annat sätt är att använda litteraturstudier eftersom det ger en kunskapsgrund inom ämnet som ska studeras [6].

2.5.1 Litteraturstudie

Ordet litteratur har flera betydelser, två av dessa är någonting skrivet och lärdom. Detta kan tolkas som ett resultat av en skrivprocedur [11]. Litteraturstudier är en grund för att börja fördjupa sig i ett ämne. Ofta är det ett invecklat arbete eftersom det krävs sökningar efter relevant information i olika databaser [6]. Litteraturstudier kan ske genom böcker, vetenskapliga artiklar, avhandlingar och tidskrifter. Litteraturstudierna är sekundära, det innebär att informationen från studierna är till för annat syfte än för den aktuella litteraturstudien. Detta är en nackdel med litteraturstudier som datainsamlingsmetod. En fördel är att mycket information går att samla in på relativt kort tid och med små ekonomiska resurser [8].

2.5.2 Observationer

Vid observationer studeras händelseförloppet och observatören antecknar. Observationerna kan delas in i deltagande observatör och fullständig observatör. Deltagande observatör innebär att när händelseförloppet studeras har observatören samtidigt en roll, till exempel projektdeltagare. Fullständig observatör innebär att fokus enbart är på händelseförloppet, det vill säga observatörens enda uppgift är att notera och beskriva. Detta kan ske dolt, till exempel, via kamera eller bandupptagning [6]. Det finns fördelar och nackdelar med båda sätten att observera. Den deltagande observatörens fördel är att observatören får känna delaktighet i observationen. Nackdelen är att observatören kan förlora fokus på själva observationen. Fördelen med fullständig observatör är att observatören inte förlorar fokus på observationen. Nackdelen är att observatören inte får känna delaktighet [6]. Observationerna kan delas in ytterligare: observerande deltagare och fullständigt deltagande. En observerande deltagare försöker bli så integrerad som möjligt i gruppen samtidigt som gruppen vet om att observatören existerar. En fullständigt deltagande observatör liknar den föregående förutom att observatören undviker att visa att denne är en observatör [6].

Kunskap om att vara obesvarad		
Interaktion	Hög	Låg
Hög	Observerande deltagare	Fullständigt deltagande
Låg	Deltagande observatör	Fullständig observatör

Figur 2.2 Fyra kategorier av observationer [6]

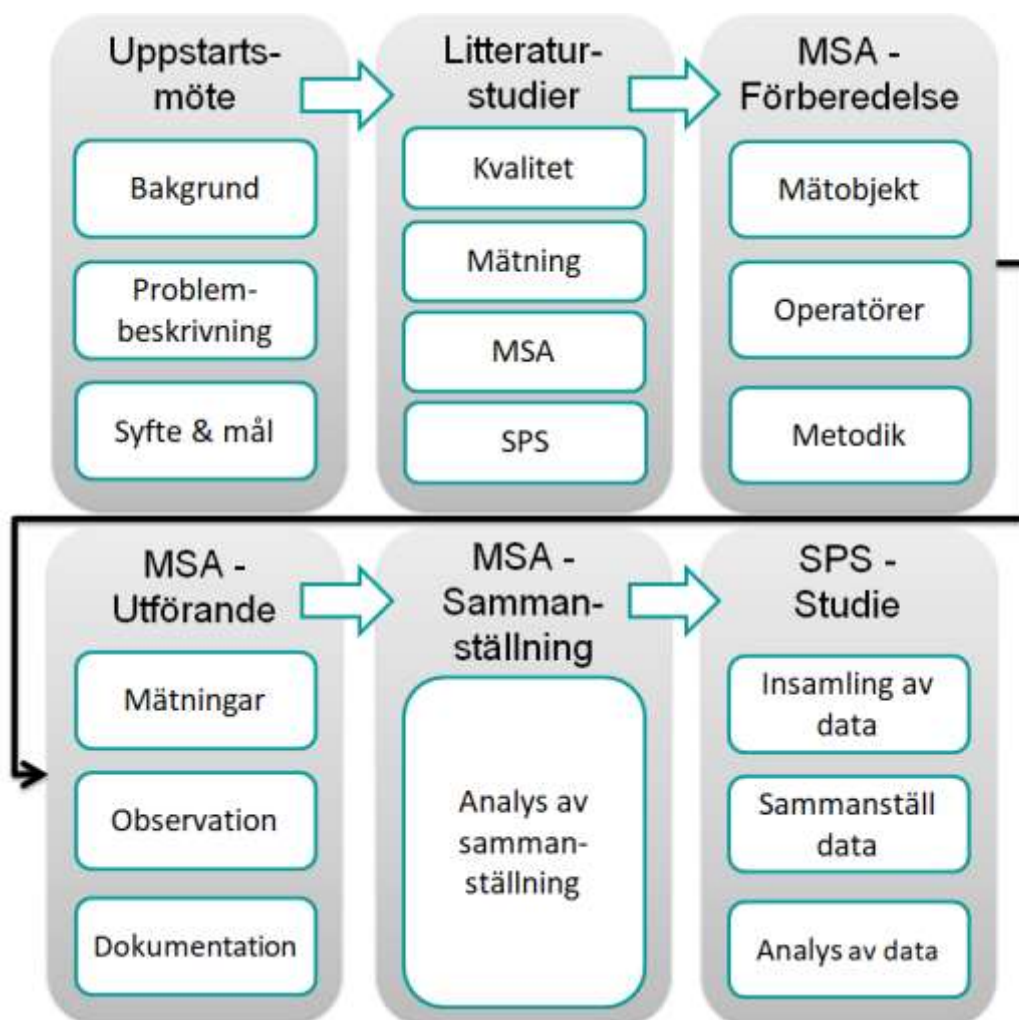
2.6 Litteraturstudie

Information om ämnet mätsystemanalys och statistisk processtyrning söktes bland annat i böcker, tidigare examensarbeten, avhandlingar och vetenskapliga artiklar. Detta gjordes på Högskolan Västs biblioteksdatas. Litteraturen var kopplat till kvalitet, mätning, mätsystemanalys och statistisk processtyrning. Ord som användes vid sökningarna var: "Mätsystemanalys", "Mätteknik", "Mätosäkerhet", "MSA", "Statistisk processtyrning", "SPC", "SPS", "GR&G", "Gauge R&R", "Measuring System Analysis", "Kvalitetsteknik", "Measuring Technology" och "Statistic Process Control". Genom att läsa tidigare examensarbeten kunde mer litteratur om bland annat statistisk processtyrning och mätsystemanalys påträffas.

2.7 Projektplanering

Projektplaneringsarbetet lades till grund genom ett uppstartsmöte med SIT för att komma överens om handledare. Företaget beskrev bakgrunden till uppdraget och det diskuterades kring vad företaget ville få ut av studien. När detta förtydligats framställdes syfte och mål

med studien, tillsammans med företaget. En tidsplan togs fram utifrån en Work Breakdown Structure, WBS, som utarbetats för mätsystemanalys och statistiska processtyrningsundersökningar. Tidsplanen resulterade i flödesschemat enligt figur 2.3.



Figur 2.3 Grovplanering för arbetsgång

Under ett fortsättningsmöte med SIT bestämdes det hur undersökningarna skulle genomföras. Tillsammans med handledaren bestämdes vilken artikel som skulle användas, att tre operatörer skulle delta i studien och att fyra detaljer skulle utvärderas. Det beslutades även att operatörerna skulle mäta varje detalj två gånger.

2.8 Mätsystemanalys (MSA)

För att säkerställa att mätinstrumentet inte skulle orsaka variation utfördes mätningar på passbitar, med kända geometrier. Nästkommande mätningar utfördes på detaljer från ordinarie produktion. Mätningarna var planerade att utföras på fyra detaljer av samma

artikel med tre operatörer och två mätomgångar på varje detalj, vilket skulle resultera i 24 mätningar. På grund av tids- och resursbrist hos operatörerna bestämdes det att studien istället skulle utföras på tre detaljer. Alla mätningar utfördes med ett och samma mätinstrument. Den mätningprocess som används i ordinarie produktion användes även här för att få en verklighetsbaserad fallstudie. Mätningarna utfördes inte vid samma tillfälle utan utfördes när tillfälle gavs. Alla mätresultat rapporterades in i Excel där en färdig mall fanns för artikeln. Under de första mätningarna observerades mätprocessen för att få en förståelse av hur mätningarna fungerade, samtidigt kontrollerades att processerna följdes. När mätningarna var färdiga utfördes en analys av data i programmet Minitab, ett mjukvaruprogram för statistisk analys. Det utför automatiska uträkningar och kan skapa grafer som visar kopplingar mellan faktorer och variabler.

Statistik upprättades genom en jämförelse av de olika mätpunkterna. Varje punkt jämfördes med resultaten av dess motsvarande punkt på resterande detaljer samt alla operatörers mätningar. Därefter jämfördes medelvärdet av punkterna på varje detalj samt dess cirkelform. Resultatet av mätsystemanalysen sammanställdes i en tabell. Därefter utfördes en undersökning av vilka orsaker som kunde ha påverkat spridningen vid mätningarna. För att undersöka vad som gav variationer i mätsystemet bestämdes det att utföra en Variation Mode and Effect Analysis (VMEA) där ett orsaks-verkan-diagram upprättades, för mer information om VMEA se kapitel 3.3. Huvudorsaker identifierades till varje mätfaktor (mätobjekt, mätmetod, mätmiljö, operatör och mätutrustning). Därefter identifierades delorsaker till huvudorsakerna.

2.9 Statistisk processtyrning (SPS)

För att implementera en förbättring krävs att en undersökning utförs för att fastställa problemet. Planeringsfasen i PDCA-cykeln användes för att utreda problemet med att införa SPS. Vid undersökningen om SPS kunde införas på SIT användes mätresultat från samma artikel som under MSA-analysen. Artikeln är frekvent i produktionen, vilket medförde att det fanns mycket mätdata som kunde nyttjas. Programmet Minitab användes därefter för att undersöka möjligheten att införa SPS på företaget. Vid undersökningen användes mätdata från mätsystemanalysen. Även mätdata från år 2016–2018 som finns lagrat på företagets interna nätverk användes, totalt 100 mätresultat. I Minitab plottades därefter ett flertal diagram, bland annat normalfördelnings-, Scatter Plot- och kontroll-diagram. Detta gav en stor mängd information att analysera.

3 Teori

Detta teorikapitel innehåller fakta om kvalitet, mätosäkerhet, FARO mätarmar, MSA och SPS. Teoriavsnittet innefattar även Sex Sigma, Variation Mode and Effects Analysis (VMEA) och kalibrering.

3.1 Kvalitet

Genom att fokusera på kvalitet i ett företag kan företagets lönsamhet och framgång bli bättre på många sätt. Till exempel blir kunderna nöjdare, företagets personal blir motiverad vilket leder till mindre sjukfrånvaro, företaget får en bättre position på marknaden, ledtiderna minskas, färre kassations- och omarbetningskostnader samt att produktiviteten ökar [7]. Ordet kvalitet har många definitioner, en av definitionerna är ”Uppfyllande av satta krav”. Denna definition är satt utifrån producentperspektivet, som är ett av Garvins olika perspektiv på kvalitetsbegrepp [7]. Ett begrepp inom kvalitetsteori är ”offensiv kvalitetsutveckling”. Målet med offensiv kvalitetsutveckling är att kundtillfredsställelsen, både internt och externt, ska öka samt att resursåtgången ska minskas. För att skapa en kultur med fokus på offensiv kvalitetsutveckling krävs det ett starkt och engagerat ledarskap.

3.2 Sex Sigma

Offensiv kvalitetsutveckling består av tre delar: värderingar, verktyg och arbetssätt. I delen ”arbetssätt” ingår begreppet Sex Sigma. Företaget Motorola introducerade begreppet under 1980-talet. Det används för att arbeta med ständiga förbättringar där fokus är på utbildning, kostnadsreduktion och variationsminskning. Sex Sigma handlar bland annat om att skapa förståelse och språk för variation och detta sker genom ett framgångsrikt och strukturerat arbetssätt. Genom att minska variationen kan resultatet leda till bättre leveranssäkerhet som kan ge kostnadsreduktioner och ökad kundnöjdhet. Det finns flera anledningar till att begreppet blivit framgångsrikt, men den främsta anledningen är att arbetssätt och verktyg utnyttjas på ett systematiskt och strukturerat sätt. Det måste dock påpekas att utan ledningens stöd och engagemang är det svårt att bedriva Sex Sigma [7]. Inom Sex Sigma används förbättringscykeln DMAIC som enligt Sandholm [12] beskrivs som:

- **Definiera (Define)** – I detta steg handlar det om att tydliggöra och definiera problemet. Det innebär att förstå vad kunderna vill ha, men även att kartlägga problemprocessen.
- **Mäta (Measure)** – I detta steg handlar det om att samla in fakta om problemet. Detta innebär att med information som samlats in kan situationen jämföras med hur det var innan en förbättring infördes.
- **Analysera (Analyze)** – Syftet med denna del är att kartlägga alla faktorer som gör intryck på utfallet i processen.
- **Förbättra (Improve)** – I detta steg gäller det att diskutera olika lösningar på problemet. Det gäller att jämföra lösningarna och sedan välja ut den bästa lösningen.
- **Kontrollera (Control)** – I detta steg handlar det om att säkerställa lösningarna så att förbättringsförslagen blir bestående. Därför införs i detta steg en styrning av processen.



Figur 3.1 DMAIC-cykeln av Daniel Penfield (CC BY NC SA) [13]

3.3 Variation Mode and Effects Analysis (VMEA)

Ett verktyg för att fokusera på och minska variation är VMEA som står för Variation Mode and Effects Analysis. Det är ett verktyg vars fokus ligger på variation. Syftet är att så tidigt som möjligt i produktutvecklingen fokusera på detaljer som kan ge problem. För att utföra en VMEA används en blankett där bedömningar utförs på störfaktorer som kan påverka detaljerna. Efter bedömningarna avgörs om detaljerna behöver en förbättringsinsats [7].

3.4 Mätosäkerhet

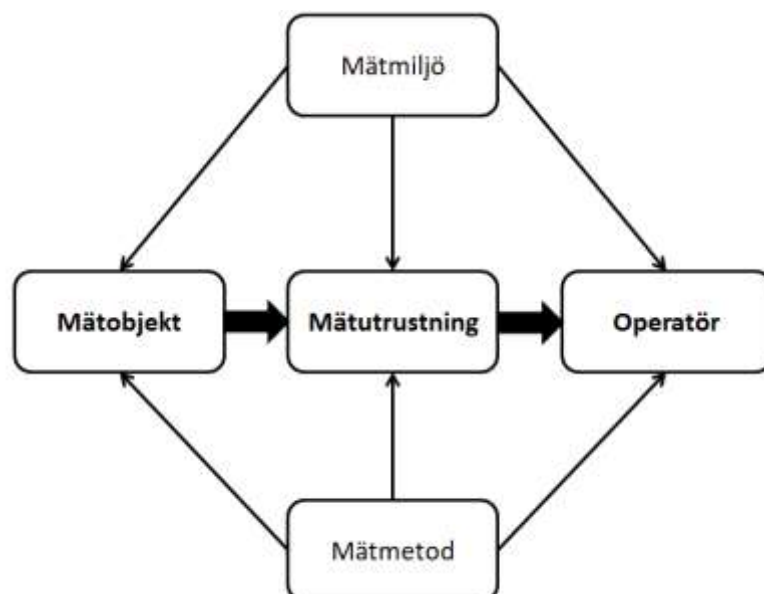
Planering är viktigt att göra innan en mätning ska utföras. Det som bestäms i planeringen är enligt Lindskog [13]:

- Vad som ska mätas?
- Hur ska mätningen utföras?

- Hur tätt ska mätpunkterna tas och inom vilket intervall?
- Hur ska mätosäkerheter och mätresultat beräknas?

Är det så att en mätpunkt skulle avvika måste resultatet undersökas. Det finns ett antal källor som påverkar mätresultatet. Enligt Svensson [14] är dessa:

- **Mätobjektet** – Objektet som ska mätas kan vara en källa till mätfel. Det kan till exempel vara så att mätobjektet är orent vilket gör att objektet kan bli felmätt.
- **Mätutrustningen** – Utrustningen som ska användas till mätningen kan vara en källa till mätfel, till exempel att mätutrustningen inte är kalibrerad. Andra källor till fel kan vara elektriskt brus, ofullständig likriktning och avrundning.
- **Operatören** – Den person som utför mätningen kan vara en källa till mätfel. Olika operatörer gör olika bedömningar, och samma operatör kan vid olika tillfällen göra varierande bedömningar. Det betyder att den mänskliga faktorn påverkar mätfelet och att felet kan se olika ut varje gång.
- **Mätmiljön** – Miljön där mätningen sker kan påverka mätfel. Det kan till exempel vara temperatur, luftfuktighet, vibrationer, ljud, drag och lufttryck. Detta i sig leder till att mätobjektet, operatör och mätutrustning kan orsaka felmätningar.
- **Mätmetoden** – Tillvägagångssättet för utförandet, riggning av utrustning, preparering av mätobjekt med mera kan ligga till grund för mätfel.



Figur 3.2 En översiktlig bild av ett mätsystem [14]

Med mätosäkerhet menas den oskärpa som finns i mätresultatet. Att genomföra en exakt mätning går inte. Det beror på ett antal faktorer i naturen. Däremot kan mättekniken förbättras genom att använda förfinade mätningar som uppnår mindre mätosäkerhet. Det finns två olika varianter som bestämmer mätosäkerheten:

- **Typ A** – Detta innebär att mäta detaljer upprepade gånger som sedan ger ett medelvärde. Mätosäkerheten bestäms då utifrån variationen på mätresultatet [15].
- **Typ B** – Detta innebär alla andra sätt som mätosäkerheten kan bestämmas på. Om mätningen till exempel har sitt ursprung från andra mätningar eller genom egna uppskattningar [15].

Mätfelen kan antingen vara systematiska fel eller slumpmässiga fel. Det innebär att:

- **Systematiska fel** innebär fel som ändras oberoende av när mätningarna utförs, alltså variationer från mätning till mätning av samma objekt. Det beror oftast på mätutrustningen, och kan ofta elimineras genom kalibrering. Dock måste systematiska fel granskas noga innan genomförande av mätning eftersom felen inte upptäcks som variationer [16]. När det finns risk för systematiska fel kan tre alternativ väljas. Det första är om storleken på felet är känt, då kan en justering av mätresultatet införas. Det andra är om storleken på felet inte är känt, då kan mätproceduren ändras så att felkällan ger upphov till temporära variationer istället. Det tredje är om mätproceduren inte kan ändras, då är det lämpligt att räkna med felet som mätosäkerheten kan medföra [15].
- **Slumpmässiga fel** innebär fel som är konstanta det vill säga naturliga fel som enligt Graham, Jubrink & Lauber [16] orsakas av:
 - Temperaturer – Material expanderar olika mycket när temperaturen stiger respektive sjunker.
 - Elektriska störningar – Svetsning kan, till exempel, orsaka elektriska ”spikar” som ger störkällor.
 - Vibrationer – Det kan bli mekaniska skador från vibrationer som skapar utmattning.
 - Omgivande kemisk miljö – Låga koncentrationer av gasformiga kemikalier kan påverka mätutrustningen.

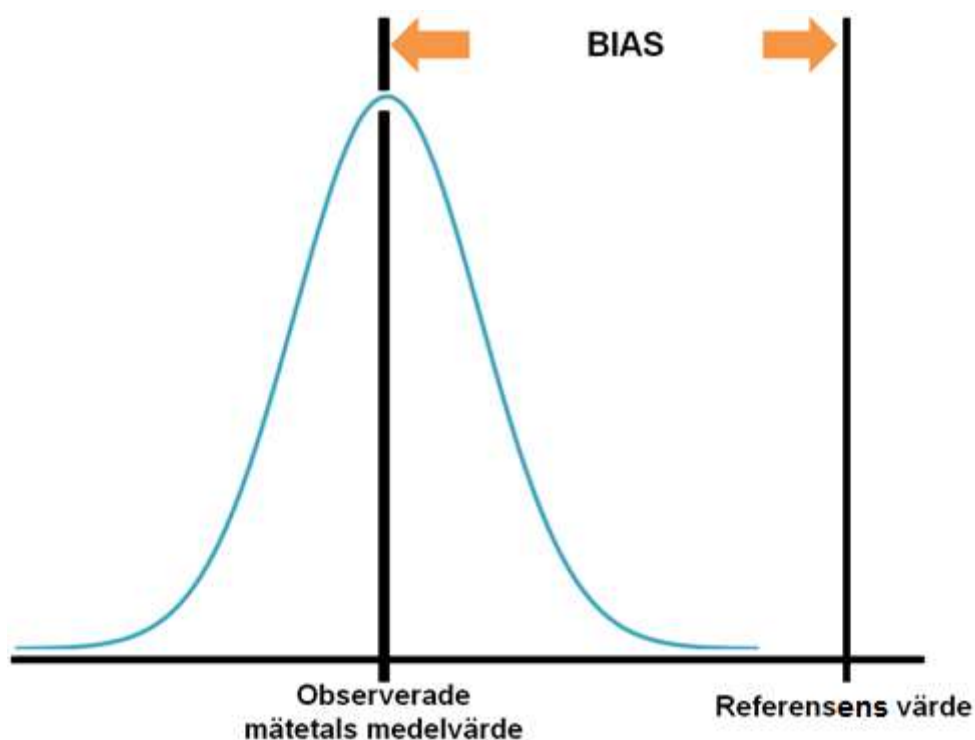
3.5 Kalibrering

Ordet kalibrering betyder ”att mäta noggrant”, med det menas att mätinstrumentet jämförs med en referens som också är ett mätinstrument eller en metod med en större noggrannhet. Referensens värde ska vara cirka 3–10 gånger mer noggrant än mätinstrumentet som ska kalibreras [16]. I annat fall utvärderas mätinstrumentet mot en normal, en geometrisk detalj med kända mått, som används för att ställa in instrumentet.

Kalibrering görs för att bevara en god kvalitet på mätningarna som utförs eftersom mätinstrumenten kan åldras samt vara med om olyckor, till exempel om mätinstrumentet tappas. Det måste dock påpekas att kalibrering inte eliminerar risken för mätfel, men den minskas kraftigt om kalibrering utförs regelbundet [16].

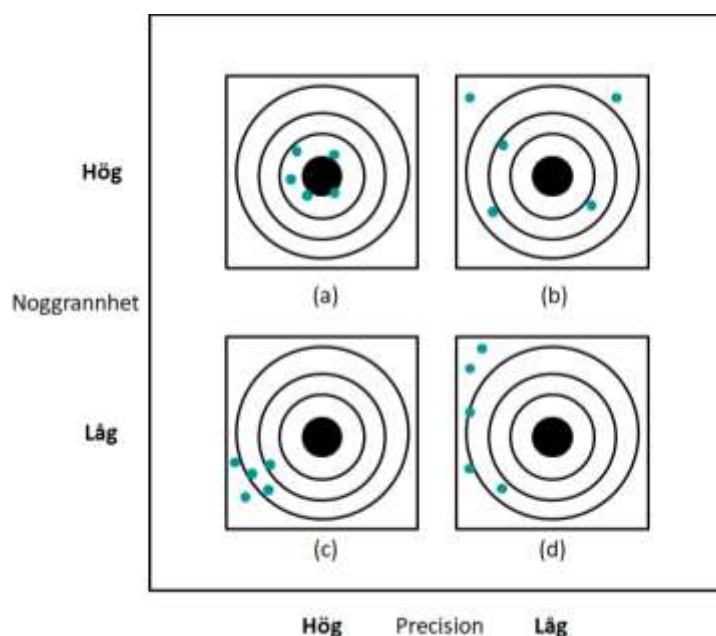
3.6 MSA

Huvudmålet med en mätsystemanalys (MSA) är att bedöma ett mätsystems mätfel. Därför är det avgörande att identifiera källor till avvikelse som kan påverka mätresultaten som framkommer av systemet samt att säkerställa att mätningarnas antal är tillräckliga. Mätsystemanalys är en neutral metod för att bedöma mätsystems tillförlitlighet och påvisa faktorer som skapar variation i mätningarna. Några grundläggande begrepp som används vid identifiering av mätsystemsvarians är: stabilitet, bias, linjäritet, repeterbarhet och reproducerbarhet. Det är viktigt att identifiera faktorer som kan påverka mätsystemets stabilitet, vilket kan lösas genom utformade experiment [17]. En mätsystemanalys kan delas upp i två delar: läges- och breddfel. Lägesfel, som också kallas noggrannhetsfel, består av observerad mätetalsnärhet till det sanna värdet eller ett referensvärde. Inom lägesfel finns bias vilket är skillnaden mellan det observerade medelvärdet av mätningar och referensvärdet. En differens i bias visar på att detaljen har ett högre eller lägre utgångsvärde än vad som är önskvärt, se figur 3.3.



Figur 3.3 En Beskrivning av BLAS [18]

Breddfel, också kallat precisionsfel, omfattar närheten mellan återkommande mätningars inbördes värden och innebär fel med ständig variation. Dessa fel kan klassificeras ytterligare som repeterbarhet och reproducerbarhet. Variationer klassificerade inom repeterbarhet omfattar variationer som uppstår vid flera mätningar med ett mätinstrument och av samma operatör på identiska mått på en detalj. Reproducerbarhetsfelen är variationer som uppstår då olika mätoperatörer utför mätning på en detalj med samma mätinstrument. För att bedöma repeterbarhet och reproducerbarhet kan metoden Gauge repeatability and reproducibility (GR&R) användas. GR&R mäter noggrannhets- och precisionsfel genom analys av mätinstrumentets spridning av mätresultat för en detalj. Med en GR&R-analys kan mätsystemets prestanda och förmåga att åskådliggöra om detaljer är godkända eller inte bedömas [18].



Figur 3.4 Noggrannhet och Precision [18]

Montgomery [19] förklarar att en mätsystemsanalys påvisar mätsystems prestanda att mäta ett verkligt värde.

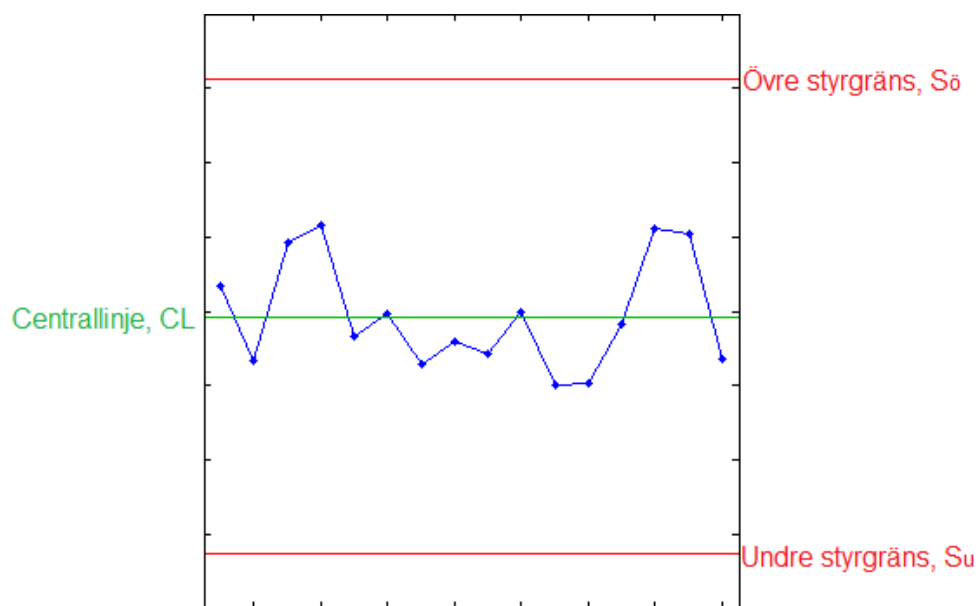
3.7 SPS

Det första riktiga försöket att behärska variation på ett vetenskapligt sätt gjordes av Walter A. Shewhart i början av 1920-talet då Shewhart upptäckte ett sätt att skilja på slumpmässiga och systematiska orsaker till variationer i en process. Metoden kallas numera för statistisk processtyrning (SPS) [20]. SPS är anpassat till alla tillverkningsmetoder [21]. För att kunna införa en SPS måste det säkerställas att systematiska fel har eliminerats och att processen är normalfördelad. Främst är SPS till för att upprätthålla kvaliteten samt möjliggöra förbättring av en slutprodukt. Syftet med SPS är att upptäcka variationsbidrag och sedan

eliminera dessa. När en process blivit stabil med en liten variation hamnar målet på att bevara processen eller till och med förbättra den. Med en stabil SPS ges en kvittens på om en förändring leder till en förbättring [7]. Fördelen med denna metod är att den använder diagram som visar när variation uppstår [21]. Med en SPS analyseras ingående och utgående data i en operation, för detta används ett styrdiagram. Styrdiagrammet fungerar genom att ett antal observationer sker med en viss tids mellanrum. Utifrån dessa observationer beräknas en kvalitetsindikator som avsätts i ett diagram. Enligt Bergman & Klefsjö [7] ska kvalitetsindikatorn finnas mellan särskilda styrgränser, en övre och en undre styrgräns för en stabil process. Ofta markeras en centrollinje mellan styrgränserna som ett målvärde. Bergman & Klefsjö [7] säger att det är viktigt att påpeka vikten av att uttrycka skillnaden på styrgränser och toleransgränser. Bergman och Klefsjö beskriver det som:

“Toleransgränser sätts för att avgöra om en enskild enbet uppfyller ställda produktkrav. Styrgränser är alltså kopplade till en process, medan toleransgränserna är kopplade till kundens krav på en enskild enbet.” [7]

I styrdiagrammet för SPS är det vanligt att avståndet mellan den övre och undre styrgränsen är sex gånger standardavvikelsen för kvalitetsindikatorn, se figur 3.5.



Figur 3.5 Grundprincip för \bar{x} -och R-styrdiagram.

Det vanligaste styrdiagram som används är \bar{x} -och R-diagrammet [7]. Med \bar{x} -delen beräknas provgruppernas medelvärde medan variationsbredden kalkyleras av R-delen i diagrammet. När dessa metoder är utförda kan styrgränserna uppskattas [19].

4 Nulägesanalys

Nulägesanalyskapitlet kommer handla om hur SIT mäter sina produkter med sin mätarm idag. Kapitlet börjar med att ge allmän information om FARO-mätarmar och därefter beskrivs vilken mätnoggrannhet företaget har i sitt system och hur mätningarna går till.

4.1 FARO mätarmar

FARO är ett företag som tillverkar mätarmar. Företaget säljer en bärbar åttaaxlad mätarm vilket innebär att mätkulan kan roteras i realtid i förhållande till armen. Det skapar en förenklad mätprocess eftersom operatörerna inte behöver flytta mätarmen till olika platser under mätprocessen. Det ger en användarvänlig och snabb mätning, operatörerna behöver inte tänka på mätupplägget utan kan istället fokusera på själva utförandet av mätningen [22]. En mätarm är en bärbar koordinatmätare som används för att mäta detaljer. Det är ett enkelt verktyg att använda eftersom armen lätt kan kontrollera produktkvalitet genom till exempel 3D-inspektion. En mätarm ger hög precision och pålitlig 3D-mätning under produktions- och kvalitetssäkringsprocesser [22].

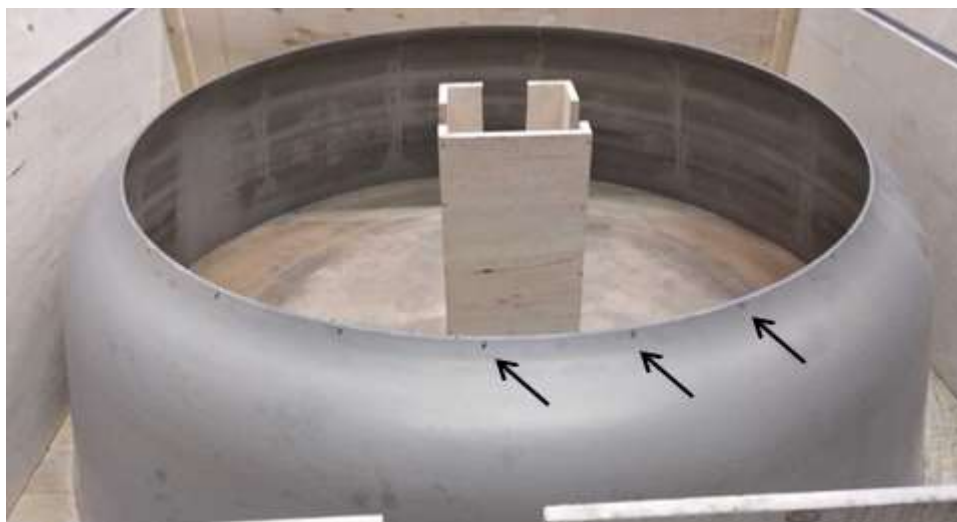


Figur 4.1 Bild på FARO-arm. Ägare: Siemens Industrial Turbomachinery AB

Siemens FARO-mätarms mätnoggrannhet verifieras genom regelbunden kalibrering hos en tredje part. Mätnoggrannheten uppmäts där till $\pm 0,08$ millimeter. Varje detalj jämförs individuellt gentemot toleransgränserna. Det betyder att om SIT vill se tillbaka på detaljernas historik och jämföra de olika detaljerna med varandra blir det komplicerat eftersom data från varje detalj sparats på enskilda Excelfiler.

4.2 Företagets mätmetod

SIT har tusentals artiklar i sin produktion. Detaljen som valts att använda i studien är cylinderformad med en rundning i ena ändan, se figur 4.2. Detaljen har ett toleransspann på 933–940 millimeter i radie på den större ändan som innebär att alla 24 mätpunkter ska vara inom detta spann. Det finns även ett cirkelformkrav som innebär att skillnaden mellan största och minsta uppmäta punkt inte får vara större än 2 millimeter.



Figur 4.2 Detalj som används i studien med mätpunkter uppmärkta

Inför varje mätning väljer operatören ut ett passande planbord för detaljen, och sätter upp detta på sin arbetsplats. När planbordet är på plats ställer operatören detaljen på bordet och positionerar den mot markeringarna i bordet. Därefter monteras mätarmen på mitten av planbordet. När mätarmen är fastsatt kopplar operatören in den i en dator och startar upp mätmjukvaran. Operatören väljer mättningsprogram, som är utformat för detaljen, och följer instruktionerna som visas på skärmen. Utöver instruktioner på skärmen finns så kallade I-ritningar till hjälp. Det är arbetsinstruktioner som är utformade efter varje detalj som bland annat innehåller bilder som visar hur operatörerna ska utföra mätningar och bilder på vilka mätinstrument och verktyg som skall användas. Mätningens utförande börjar med kalibrering av armen för att mäta upp dess position i rummet. När kalibreringen är avklarad får operatören nästa instruktion, via datorn och I-ritningen, hur mätningen ska gå till.

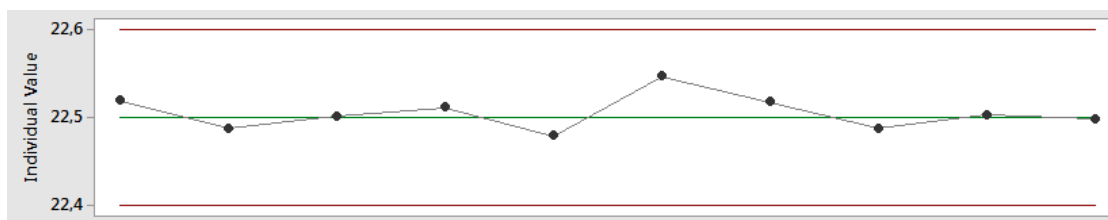
För detaljen som används till studien är första mätningssteget att den stora diametern ska mätas upp med hjälp av 24 punkter, som är uppmärkta runt detaljen. I nästkommande steg används en rätskiva som operatören lägger ovanpå detaljen och flyttar runt medan mätningar görs på undersidan av skivan mot detaljen. Även denna operation utförs på 24 punkter. Följande steg är identiskt med det föregående. I det sista steget tar operatören en mätstakefixtur och hänger på detaljens överkant. Operatören mäter på underkant av fixturen mot detaljen, även detta utförs på 24 punkter. När mätningen är avklarad för operatören över resultatet från mätarmens mjukvara till en Excelmall. Mätresultatet jämförs med toleransgränserna, om resultaten är inom toleransgränserna godkänns detaljen och skickas vidare till nästa operation. Är resultaten utanför toleransgränserna ska detta åtgärdas och mätningsprocessen görs därefter om.

5 Resultat

I följande kapitel presenteras resultatet av studien. Kapitlet kommer beskriva vilka resultat som framkommit av analyserna och vad mätningarna har resulterat i samt resultatet för möjliggörande av statistisk processtyrning.

5.1 MSA

För att säkerställa att mätinstrumentet inte ligger till grund för att variation uppstår utförs tio mätningar på en 22,5 millimeter bred passbit. Mätresultaten förs in i mjukvaruprogrammet, för statistisk analys, Minitab och resultaten utvärderas i form av en graf enligt figur 5.1.



Figur 5.1 Variationsbredden på mätningarna med passbit

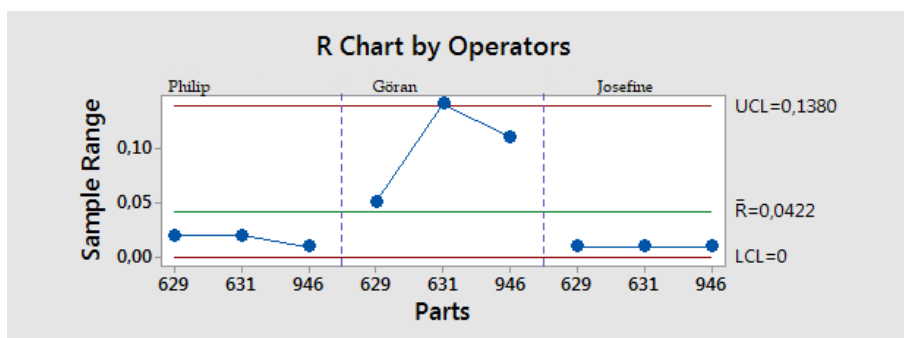
Analys av grafen i figur 5.1 antyder att mätinstrumentet inte har någon större inverkan på variationen. Detta kan utläsas genom att den prickade linjen är relativt rak. Resultatet i figur 5.1 visar också på att FARO-armens uppmätta noggrannhet på 0,08 millimeter bör stämma eftersom inget mätetal hamnar över 22,58 eller under 22,42 millimeter. När analysen av resultaten från mätningarna av passbiten är gjord utförs en analys av operatörernas och mätobjektets påverkan av variation vid mätning. Mätresultaten tillhandahålls av mätoperatörerna i form av Exceldokument, se bilaga A. När mätresultaten samlats in analyseras mätvärdena i Minitab. I samråd med handledare på företaget beslutas att gå vidare med analysen från medelvärdet av detaljerna. Anledningen till detta är att punkternas värden är så varierande från detalj till detalj. Medelvärdet av detaljerna ger följande resultat som visas i figur 5.2.

Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0043840	26,67
Repeatability	0,0018308	11,14
Reproducibility	0,0025532	15,53
Operators	0,0025532	15,53
Part-To-Part	0,0120532	73,33
Total Variation	0,0164372	100,00

Figur 5.2 Variationskomponenter

Tabellen i figur 5.2 visar att repeterbarheten är 11,14 procent och reproducerbarheten är 15,53 procent. Tillsammans bildar dessa Total Gage R&R, vilket är den variation som påverkas av operatörerna. Part-To-Part innebär den variation som uppstår av mätobjektet. Den totala variationen, 100 procent, innefattar Part-To-Part adderat med Total Gage R&R. Enligt Down, Czubak, Gruska, Stahley och Benham [18] får Total Gage R&R inte överstiga tio procent för att räknas som ett stabilt mätsystem. Eftersom Total Gage R&R är 26,67 procent och Part-To-Part är 73,33 procent kan det fastställas att mätsystemet inte är stabilt.



Figur 5.3 Operatörernas reproducerbarhet

Som figur 5.3 visar kan det konstateras att Görans mätningar är mer varierande än resterande operatörers. Om Görans mätvärden inte räknas med resulterar det i lägre repeterbarhetsvarians, se figur 5.4.

Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0049583	32,11
Repeatability	0,0001000	0,65
Reproducibility	0,0048583	31,46
Operators	0,0036208	23,45
Operators*Parts	0,0012375	8,01
Part-To-Part	0,0104833	67,89
Total Variation	0,0154417	100,00

Figur 5.4 Variationskomponenter utan Görans mätningar

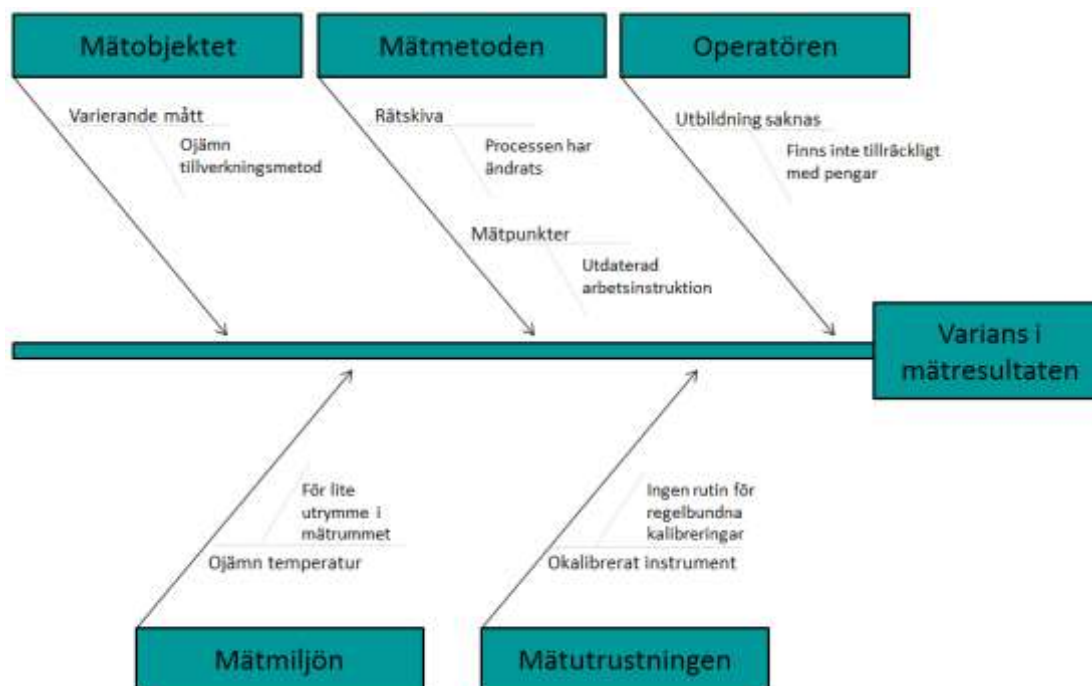
Tabellen i figur 5.4 tyder på att Göran behöver utbildas för att kunna utföra kvalificerade mätningar som inte varierar. Den visar även att Philip och Josefine har varierande mätresultat vid mätningarna, jämfört med varandra. Deras egna mätningar stämmer dock väl överens. Vid nästa analys bortses från Josefines mätningar vilket resulterar i figur 5.5. Undersökning av tabellen visar att Philip och Göran har liknande mätresultat, eftersom variationsandelen för reproducerbarheten är 0 procent.

Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0025750	17,60
Repeatability	0,0025750	17,60
Reproducibility	0,0000000	0,00
Operators	0,0000000	0,00
Part-To-Part	0,0120583	82,40
Total Variation	0,0146333	100,00

Figur 5.5 Variationskomponenter utan Josefines mätningar

Tidigare i rapporten beskrivs fem källor som orsakar variationer i mätningarna (figur 3.2). Hitills är mätinstrument och operatör analyserade genom MSA. För att få fram möjliga orsaker till variation på grund av samtliga nämnda fem källorna gjordes även en VMEA, se figur 5.6.



Figur 5.6 VMEA

I VMEA:n analyseras alla felkällor för att få en helhetsbild över möjliga orsaker till variation. För mätmetoden har upptäckts att rätskivan som operatörerna använder under en del av mätningen kan skapa variation. Detta eftersom rätskivan inte är fastspänd och därmed kan röra sig under mätproceduren. Det visar sig att rätskivan eventuellt inte behöver användas fortsättningsvis eftersom tillverkningsprocessen för detaljen har förändrats. Metoden för mätningen bör av denna anledning omarbetas och analyseras på nytt. Annat som påverkar variationen på grund av mätmetoden är vilka mätpunkter operatörerna väljer att mäta. En mätning i en svetsskarv kan, till exempel, ge ett helt annat resultat än en mätning precis intill. Denna variation uppstår eftersom det inte finns några tydliga direktiv i arbetsinstruktionen om hur mätningar vid svetskarvar ska gå till.

När det gäller mätobjektet kan tillverkningsprocessen vara instabil vilket leder till variation mellan detaljernas mått. Detta kan bero på otillräcklig expanderings eller att detaljerna svetsas olika. Angående mätmiljön står det i FARO-armens specifikation att armen klarar av att mäta var som helst i produktionen utan att mätningen påverkas. Detta eftersom FARO-armen är utrustad med sju sensorer som ska känna av temperatur, vibrationer och ljud med mera och kompensera mätresultatet automatiskt därefter [23].

För att SIT ska kunna förbättra sin mätning måste företaget utföra några åtgärder.

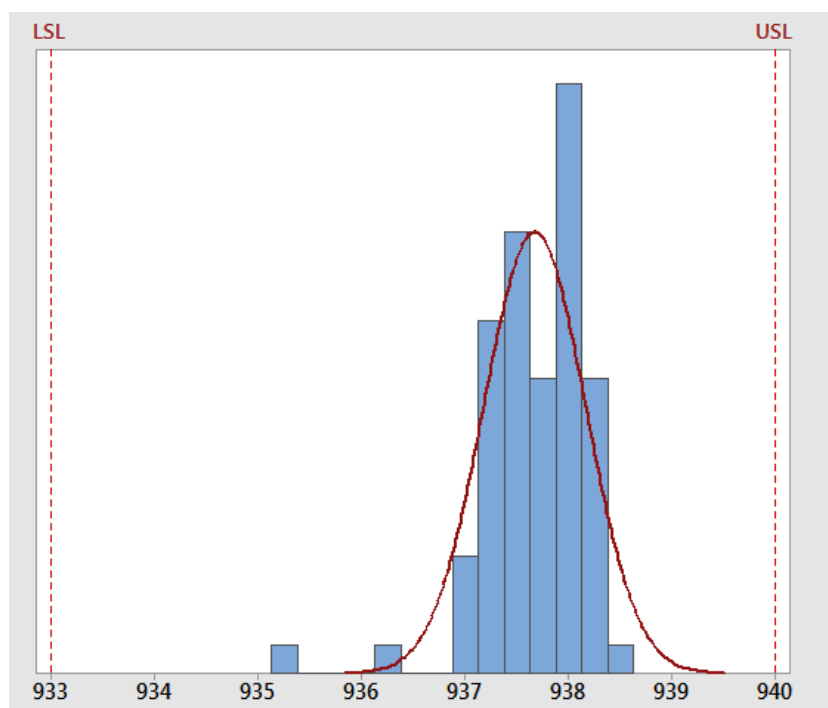
- **Den första åtgärden** är att se över mätningstekniken för mätning av detaljen. Framst bör användandet av rätskivan ses över för att se om en bättre metodik kan nyttjas, till exempel en arbetsmetod där operatören istället mäter direkt på detaljen.

Detta bör göras eftersom rätskivan är en risk för variation i mätningen och kan medföra att en mätningprocess behöver göras om.

- **Den andra åtgärden** som företaget måste göra är att uppdatera arbetsinstruktionerna eftersom arbetsmetoden kommer att ändras. Arbetsinstruktionerna bör även ha tydliga direktiv kring vilka mätpunkter operatörerna ska välja för att få en så rättvisande bild av detaljen som möjligt.
- **Den tredje åtgärden** blir att se till så att alla operatörer har den utbildning som krävs för att utföra kvalificerade mätningar och om någon operatör inte är utbildad bör denne bli det.

5.2 SPS

Vid SPS-studien undersöks medelradien på detaljen till att börja med. Ett flertal mätresultat från perioden 2016–2019 tas fram och undersöks i mjukvaruprogrammet Minitab vilket resulterar i en normalfördelning av mätetalen enligt figur 5.7.



Figur 5.7 Normalfördelning av medelradie i förhållande till toleranserna

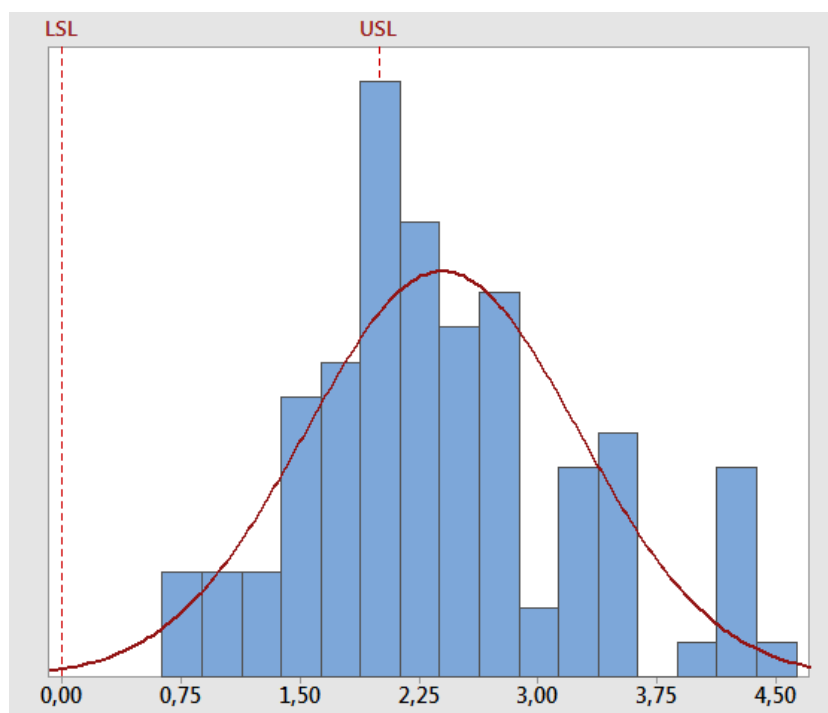
Detaljens toleransvidd sträcker sig mellan 933 och 940 millimeter. Figur 5.7 visar att alla uppmätta värden ger en normalfördelningskurva som hamnar inom dessa toleransgränser. Resultatet visar på att alla detaljer som produceras hamnar inom toleranskrav och visar därmed på en kapabel tillverkningsprocess. Eftersom detaljen har fler krav behöver även

dessa undersökas och tas hänsyn till. I figur 5.8 kan karaktärsdrag för normalfördelningskurvan av cirkelformen utläsas.

Process Characterization	
Mean	2,3915
Standard deviation (overall)	0,85993
Actual (overall) capability	
Z.Bench	-0,46
% Out of spec	67,83
PPM (DPMO)	678251

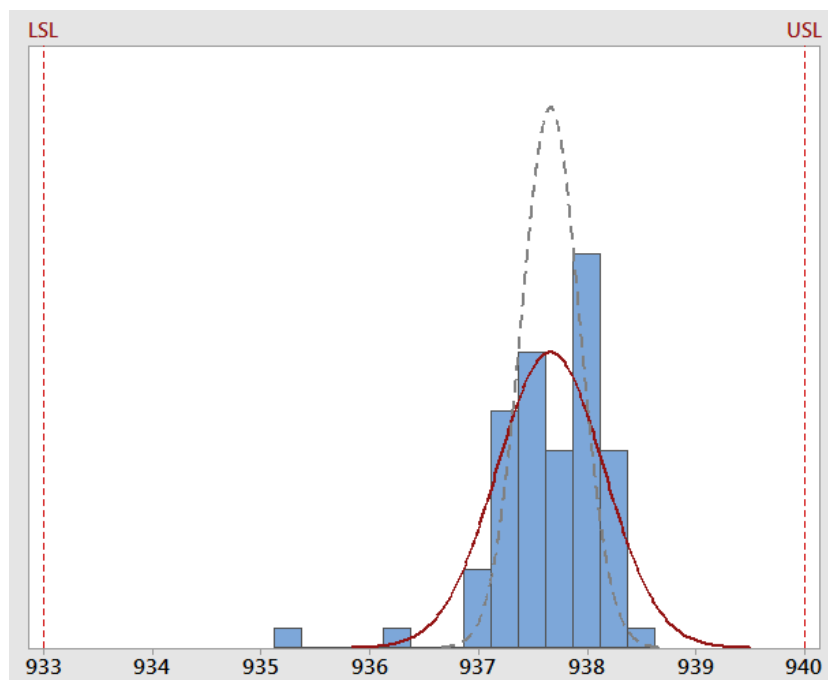
Figur 5.8 Karaktärsdrag för normalfördelningskurvan av cirkelformen

Figur 5.8 visar att cirkelformen på detaljerna har ett medelvärde på 2,39 vilket inte är inom tolerans och att processen innehar en standardavvikelse på cirka 0,86. Eftersom styrgränser vanligtvis tas fram som tre standardavvikelser från centrollinjen innebär det att spannet mellan styrgränserna blir 5,15 vilket är större än toleransgränsen för detaljen. Z.Bench är processkapabiliteten som är -0,46 där minsta värde bör vara 1,33 för att vara duglig. Detta visar på att det inte går att införa en statistisk processtyrning eftersom mätresultaten är för instabila. I figur 5.9 utläses normalfördelningskurvan för cirkelformen av detaljen.



Figur 5.9 Normalfördelning av cirkelform i förhållande till toleranserna

Figur 5.9 säger att normalfördelningskurvans bias differentierar från processens målvärde. Detta innebär att detaljens tillverkning bör styras mot ett lägre värde för att ställa in normalfördelningskurvan inom toleransgränserna. Cirkelformen är ett mått på differensen mellan största och minsta radiemått. Eftersom radiemåttet har ett toleransspann mellan 933 och 940 betyder det att formtoleransen kan hamna på 7 som störst och är det enda som inte blir godkänt. I figur 5.10 visas den potentiella normalfördelningen för medelradien på detaljen.



Figur 5.10 Potentiell normalfördelning

Enligt figur 5.10 har detaljen potential till att ha ett toleransspann på 936,7 till 938,7 för medelradien. Om toleransspannet minskar till detta kommer cirkelformen automatiskt att hamna inom toleransspannet 0 och 2. Det är även sannolikt att cirkelformen skulle kunna ha ett toleranskrav på 0–3 millimeter eftersom detaljernas cirkelform ibland kan godkännas upp till 4 millimeter. Detta eftersom de är mjuka och formbara och inte kräver omarbetning för att inpassas i motgående detalj. Om detaljerna tillverkas inom ett toleransspann på $\pm 1,5$ millimeter för medelradien och cirkelformskravet ändras till 0–3 millimeter så kan det resultera i möjligheten att införa en SPS.

6 Diskussion

I diskussionskapitlet diskuteras studiens alla delar och tillvägagångssättet för studien beskrivs. Valet av undersökningsdesignerna fallstudie och aktionsforskning undersöks. Delar av mätsystemet: mätobjekt, mätinstrument, operatör, mätmiljö och mätmetod ifrågasätts.

6.1 Projektplanering

Under planeringsfasen upprättades ett Gantt-schema, se bilaga B, som tidsplan för projektarbetet. Detta schema var övergripande, när mer information fanns att tillgå gjordes en mer detaljerad arbetsplan, se figur 2.3. Tidsplanen har förändrats ett flertal gånger under studiens gång på grund av bland annat operatörsbrist och prioritering av andra detaljer i ordinarie produktion. Eftersom den totala tid en mätning tar var undervärderad så har även detta lett till förskjutning av tidsplanen.Handledningstillfällen med både Högskolan Väst och SIT har även lett till att tidsplanen förändrats på grund av att andra mätningmoment har lagts till. Som tidigare nämnts i rapporten bestämdes det på grund av förseningar i tidsplaneringen att tre detaljer skulle utvärderas istället för fyra, som var planerat från början. Bestämmelsen om att tre operatörer skulle mäta varje detalj två gånger vardera kvarstod.

6.2 Metod

Arbetet började med att bestämma vilken undersökningsdesign som skulle användas som metod vid studien. För mätsystemanalysen var det ett relativt enkelt val eftersom studien omfattar observationer samt att det är ett specifikt fall som ska lösas vilket beskriver en fallstudie. Däremot var det en svårare uppgift att bestämma undersökningsdesignen för den statistiska processtyrningen. Detta eftersom det från början var tydligt att SPS inte skulle införas på företaget utan endast en undersökning om det går att införa. Valet slutade på aktionsforskning eftersom metodiken är utformad som en PDCA-cykel där en förbättring införs. Då endast möjligheten att införa SPS undersöktes så var det planeringsfasen i PDCA-cykeln som utfördes, därav hamnade valet på aktionsforskning. Aktionsforskning kan sägas vara en partisk metod då undersökaren utformar förbättringen. Vid en partisk undersökning är det lätt hänt att bättre eller mer relevanta förbättringar förbises eftersom det inte är den förändring som undersökaren önskar. Studien har inte lett till ett förbättringsförslag och är därmed inte partisk.

Valet att en fallstudie ska utföras är inte mycket att diskutera men hur fallstudien byggdes upp kan ifrågasättas. En möjlig infallsvinkel på studien hade kunnat vara att istället för

utförande av samma mätning som den som görs i produktion kunde färre punkter ha mätts. Detta skulle resulterat i fler mättningsresultat och ett mer statistiskt riktigt resultat men det skulle ha gjort att viktiga orsaker till variation i produktionens mättningsmetod inte skulle ha uppdagats vilket är det viktigaste med studien.

Under studien har undersökningen främst riktat in sig mot att undersöka variationen som bildas av mätinstrument, metodik och operatör. Mätningarna som ligger till grund för de diagram som analyserats har baserats på hur mätningarna utförs och ser ut i verkligheten. Detta tyder på att en god inre och yttre validitet har uppnåtts. Det som skulle kunna sänka reliabiliteten på studien är att antalet mätobjekt som har undersökts vid MSA-studien är för få. Enligt mjukvaruprogrammet Minitab bör minst tio objekt mätas för att ge ett statistiskt riktigt resultat. Vid undersökningen av möjlighet till införande av SPS har 100 mätobjekt analyserats. Denna analys har visat på liknande resultat som MSA-studien. Detta visar på en god reliabilitet, som kan sägas ha uppnåtts för både MSA- och SPS-studien, då undersökningspopulationen är en stor mängd och från ett tillräckligt brett tidsspänn. En annan synpunkt på studiens reliabilitet är att studieutförarna saknar tidigare erfarenheter av liknande arbete. Detta kan ha lett till att olika moment har missats i utförandet av studien.

6.3 Mätosäkerhet

Mätpunkterna som valdes för studien kändes relevanta för att få en verklighetstrogen bild. Det ledde dock till att få mätningar utfördes eftersom varje mätning tog lång tid och i produktion är tid en bristvara. Ytterligare en anledning till att få mätningar utfördes var frånvaro bland operatörerna. Hade detta inte varit fallet hade fler mätningar förmodligen utförts vilket skulle gett ett mer statistiskt riktigt resultat. Att fler mätningar borde ha utförts upptäcktes eftersom programmet Minitab visade att estimeringen av mättningsvariation inte når upp till det vanliga kravet, vilket innebär att minst tio detaljer bör mätas. Detta kan ha lett till att delar av resultatet inte är statistiskt riktigt. Hänsyn måste därför tas till att studiens resultat inte är exakt, resultatet är snarare en indikation. Mätningarna som utfördes på passbiten visade på en väldigt liten variation mellan mätningarna vilket indikerar att resultatet förmodligen inte förändras något nämnvärt vid mätning av en större population.

6.3.1 Mätmiljö och mätinstrument

När det kommer till variation för mätsystemet finns risk att mätmiljön påverkar märkbart men detta har inte undersökts. Vid undersökningen har antagits att FARO-armens sensorer fungerar. Det har under studiens gång framkommit att vissa detaljer, ibland, förvaras på lager utomhus. Detta kan ha påverkat variationen i mätresultaten. Lösningar för att få kontroll på denna variation är att operatörerna mäter temperaturen på detaljerna eller ser till så att detaljer står inomhus tillräckligt länge innan mätningen utförs. I dagsläget mäts detaljerna ute i produktion men det mest fördelaktiga hade varit om mätningen utfördes i ett avskilt rum där temperatur och vibrationer kan kontrolleras.

6.3.2 Mätmetod

När det kommer till mätmetoden uppfattades det som att operatörerna inte följer arbetsinstruktionerna, utan endast följer vad som står i dataprogrammet. Detta anser vi kan leda till ett minskat intresse för operatörerna att uppdatera och förbättra arbetsinstruktionerna. Operatörerna har till exempel påpekat problematiken med rätskivan för oss, rätskivan är ostadig och kan förstöra vid mätningen, men frågan är om de har lyft problemet till sin chef. Metoden för mätning som skett med rätskiva behöver omarbetas och analyseras på nytt eftersom rätskivan är en risk för variation i mätningen och kan medföra att en mätningsprocess behöver göras om. En arbetsmetod där operatören mäter direkt på detaljen kan med fördel istället nyttjas. Efter omarbetning av arbetsmetoden bör arbetsinstruktionerna uppdateras.

En annan problematik som uppfattats är vilka mätpunkter operatörerna väljer att mäta. Det finns 24 uppmärkta punkter som operatörerna ska mäta vid men en operatör skulle kunna mäta mitt i en svetsskarv medan en annan mäter precis bredvid vilket kan ge stora skillnader i mätresultatet. Detta bör ses över eftersom det kan vara en stor anledning till att det skapas variationer mellan mätresultaten. Det kan också antas att det ser ut så här på flertalet artiklar vilket innebär att processerna för uppdatering av arbetsinstruktioner bör ses över. Arbetsinstruktionerna bör ha tydliga direktiv kring vilka mätpunkter operatörerna ska välja för att få en så rättvisande bild av detaljen som möjligt.

6.3.3 Mätobjekt

SIT:s tillverkningsprocess av detaljen kan vara instabil vilket leder till en variation mellan detaljernas mått. Detta kan bero på det stora toleransspannet som är tillåtet för detaljen. Frågan är om det är möjligt för SIT att tillverka inom en snävare tolerans. Enligt oss är det inte ett problem att höja toleranskravet men ingen analys av tillverkningsflödet för detaljen har utförts. Den största anledningen till att företaget inte skulle kunna minska toleransspannet bör vara eftersom det ger en ökad tillverkningskostnad då mer tid behövs för tillverkningen av varje detalj. En jämförelse på kostnader vid minskat toleransspann bör analyseras i en studie.

6.3.4 Operatörer

Operatörernas variationer påverkas troligen till störst del av mätmetoden. Om mätmetoden ändras skulle ett stabilare resultat mellan operatörerna kunna erhållas. Däremot är Görans inbördes mätningar oregelbundna vilket tyder på att det inte endast är mätmetoden som ligger till grund för variationerna. För att operatörerna ska kunna bli ännu stabilare mellan mätningarna bör erfarenhet delas och lärdom tas ifrån varandra, speciellt hur Josefine mäter bör efterliknas eftersom hon i princip inte har någon variation mellan mätningarna. Däremot har Philip och Göran en väldigt bra reproducerbarhet vilket tyder på att Josefine mäter i andra mätpunkter än Philip och Göran. Alla operatörer bör få den utbildning som krävs för att utföra kvalificerade mätningar. Det lämpligaste hade varit om operatörerna internutbildades och tillsammans lärt sig hur mätningen av detaljerna ska utföras. Detta

leder dock till en kostnad för företaget. Den bör jämföras med vinsten av ett minskat antal ommätningar.

6.4 Omvärlden

Om åtgärderna som diskuterats ovan genomförs kommer fokus på hållbar utveckling förbättras. Åtgärderna leder till en förbättrad social hållbarhet eftersom färre ommätningar på detaljerna kommer att utföras på grund av att cirkelform och medelradie kommer vara inom tolerans. Det innebär en minskad belastning på operatörerna vilket leder till att tid kan läggas på annat som till exempel förbättringar av arbetsmetoder eller arbetsmiljö. Vid mätningar där rätskivan används är det en stor risk att operatörerna behöver mäta om eftersom rätskivan är ostadig och kan förstöra vid mätningen. Detta kan skapa stress hos operatörerna. Om arbetsmetoderna blir bättre skapar även detta en förbättring av den sociala hållbarheten.

Även den ekonomiska hållbarheten påverkas av ommätningarna eftersom extraarbete kostar pengar för företaget. Utbildningar av operatörer är en kostnad som kan vara krävande för ett företag på kort sikt, men med ett längre perspektiv är det något som kan spara in pengar eftersom det blir färre fel och ommätningar. Även stress kan bli kostsamt för företaget eftersom det kan leda till sjukfrånvaro och uppsägningar om personalen inte mår bra. Detta leder till mer arbete för en mindre arbetsstyrka och kunskap som försvinner från företaget.

Den ekologiska hållbarheten kan också påverkas positivt. Om en stabilare tillverkning uppnås leder det till att färre kassationer och färre naturresurser behöver utnyttjas. Generellt sett bör alla företag se över sina mätprocesser och utföra en MSA. Det är en kostnadseffektiv metod för att utvärdera mätsystem som alla företag bör ha förutsättningar till att utföra. För att ha en god kvalitet på sina produkter är det A och O att förstå sina mätprocesser.

7 Slutsats

I följande kapitel kommer slutsatsen att beskrivas och jämföras med studiens syfte och mål. Diskussion sker kring om studiens syfte och mål uppnåtts eller inte och i så fall varför.

Syftet med studien är att undersöka om kvalificerade mätningar kan utföras med SIT:s mätinstrument. Syftet är även att undersöka om det går att införa förbättringsmöjligheter för en detalj. Målet med studien är att genom en mätsystemanalys uppskatta ett mätsystems repeterbarhet och reproducerbarhet av mätning. Målet är även att undersöka om det finns förutsättningar för att implementera statistisk processtyrning, och i så fall ta fram underlag för användandet av det och anvisa personal hur metoden ska användas.

I resultatet beskrevs uppdelningen av mätsystemets variationer där studien har visat på att den totala Gage R&R står för 26,67 procent. I och med att den inte bör överstiga tio procent innebär det att SIT:s mätsystem är instabilt och bör förbättras för att klassas som en kvalificerad mätmetod. Eftersom mätsystemet inte klarar av att utföra kvalificerade mätningar av befintliga produkter är det ett måste att förbättra processen innan ett nytt mätmetodsupplägg skapas för kommande produkter. Företaget behöver därför föra in förbättringar som minskar variationen mellan mätningar. Förbättringsförslag som kan sänka variationsandelen för total Gage R&R vilka har framkommit under studien gällande mätinstrument, mätmiljö, mätmetod och operatör är:

- Detaljerna placeras inomhus tillräckligt länge innan de mäts.
- Företaget inför ett eget, enskilt, anpassat rum för att mäta detaljerna.
- Företaget ser över arbetsmetodiken för mätningarna.
- Företaget uppdaterar arbetsinstruktioner för mätningar.
- Företaget inför mätutbildning för operatörerna.

Efter mätsystemanalysen utfördes undersökningen om SPS kan införas för samma detalj. Från undersökningen har framkommit att SIT måste förbättra sin mätprocess och förmodligen även tillverkningsprocessen för att kunna införa ett snävare toleransspann för detaljen. Det som inte har gått att utföra är ett införande av SPS, och att ta fram ta fram underlag för användandet av SPS. Detta har inte genomförts eftersom mätprocessen är för ostabil vilket leder till att en SPS inte skulle fungera och bör därmed inte införas utan att mätmetodiken först förbättras.

8 Framtida arbete

I följande kapitel kommer förslag till framtida arbeten att beskrivas. Förslagen handlar om att: utveckla mätningstekniken för detaljen, skapa en stabilare tillverkningsprocess och införa gemensam mjukvara till samtliga mätarmar.

I resultatet beskrevs flera förbättringsförslag för mätmetoden. Därmed kan ett framtida arbete vara att utföra en granskning av mätningstekniken för detaljen. Den metodik som främst bör granskas är användandet av rätskivan för att undersöka om någon lämpligare metod kan nyttjas. En möjlig arbetsmetod som bör prövas är att operatören istället mäter direkt på ovansidan av detaljen. Användandet av rätskivan bör granskas eftersom den utgör en risk för variation mellan mätningarna och kan medföra att en påbörjad mätningprocess behöver göras om. Eftersom mätmetoden bör utvecklas behöver därmed även arbetsinstruktionerna förnyas och riktlinjer angående hur mätpunkterna väljs bör läggas till.

När en förbättring av mätmetodiken skett bör, vid behov, möjlighet att skapa en stabilare tillverkningsprocess undersökas. Det växlande utfallet på cirkelform kan bero på att radiemåttets toleransspann som är tillåtet för mätpunkterna är för stort. Om SIT klarar av att tillverka inom ett mindre toleransspann för dessa detaljer är något som behöver undersökas. En undersökning som jämför kostnadsskillnader mellan hur nuläget ser ut och läget med ett högre toleranskrav. Om en stabil tillverkningsprocess uppnås kan även ett framtida arbete gällande införandet av SPS utföras.

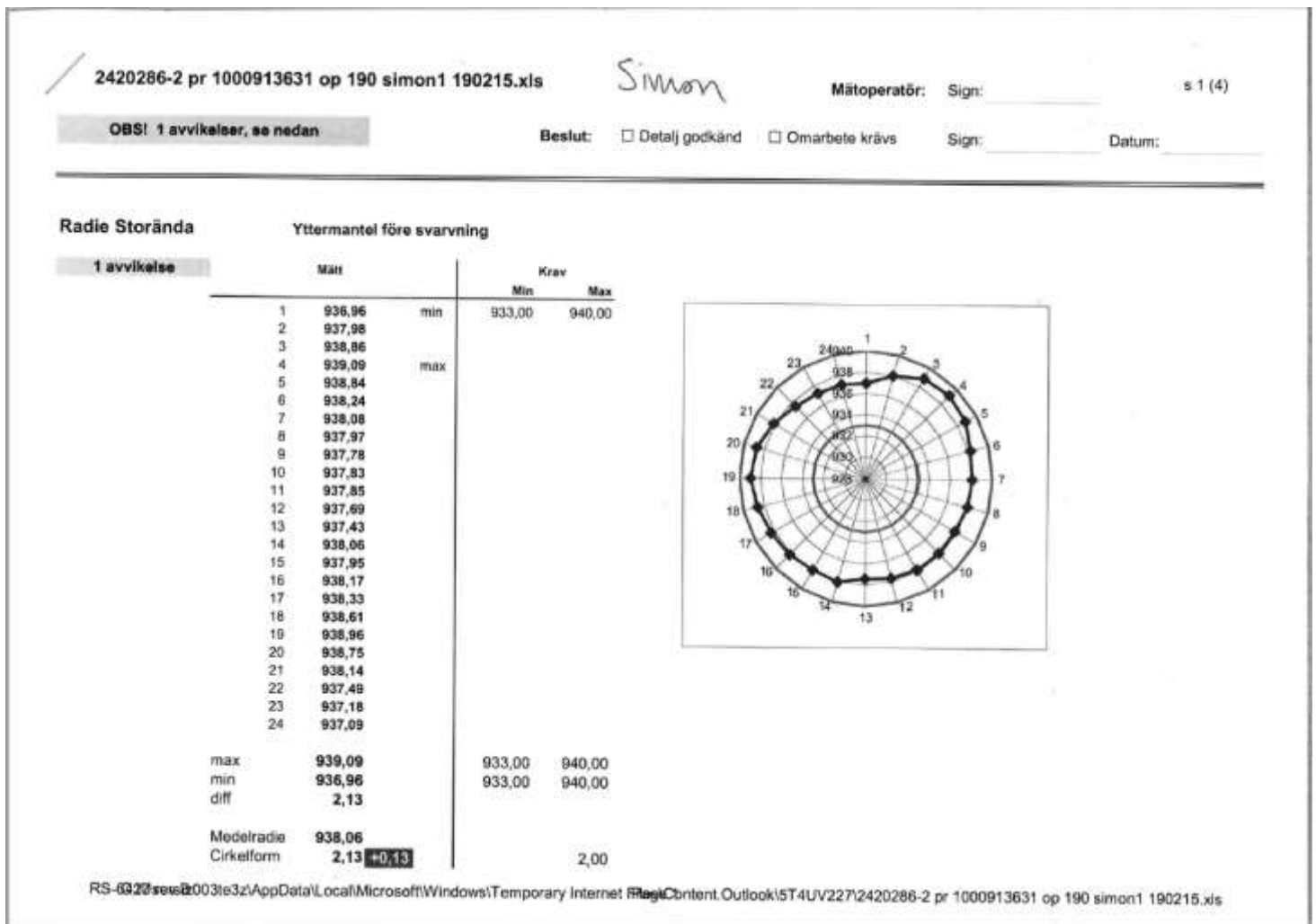
Innan studien startade hade SIT önskemål om att få hjälp med tre uppgifter. En av dessa uppgifter var att införa gemensam mjukvara till samtliga mätarmar. I dagsläget är det olika mjukvaror för mätarmarna. Under studiens gång konstaterades att det inte fanns tid att genomföra detta vilket medför att det bör vara ett arbete att utföra i framtiden.

Referenser

- [1] O. Mathiesen, *Om mått och mätande*, Kosmos, vol 55, ss. 31–52, 1978.
- [2] A. Jarfors *et al.*, *Tillverkningsteknologi*. Lund: Studentlitteratur, 2010.
- [3] Siemens Industrial Turbomachinery AB, “Siemens ång- och gasturbiner ger världen värme och ljus,” 2009. [Online]. Tillgänglig: “http://www.sit-ab.se/01_om_oss.html”, hämtad: 2019-01-25.
- [4] Siemens Industrial Turbomachinery AB, “Welcome to Finspång,” 2005. [Online]. Tillgänglig: <https://erlnsd02.wv007.siemens.net/index.html>, hämtad: 2019-01-25.
- [5] Siemens Industrial Turbomachinery AB, “Finns i Finspång: Världens energilösningar,” 2010. [Online]. Tillgänglig: http://www.sit-ab.se/03_produkter_losningar.html, hämtad: 2019-01-29.
- [6] M. Höst, B. Regnell och P. Runesson, *Att genomföra examensarbete*. Lund: Studentlitteratur, 2006.
- [7] B. Bergman, B. Klefsjö, *Kvalité från behov till användning*. Lund: Studentlitteratur, 2012.
- [8] M. Björklund, U. Paulsson, *Seminarieboken*. Lund: Studentlitteratur, 2012.
- [9] I. Holme, B Solvang, *Forskningsmetodik: Om kvalitativa och kvantitativa metoder*. Lund: Studentlitteratur, 1997.
- [10] Nationalencyklopedin, “Kvalitativ Metod”, 2019. [Online]. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/kvalitativ-metod>, hämtad: 2019-02-06.
- [11] Nationalencyklopedin, “Litteratur”, 2019. [Online]. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/litteratur>, hämtad: 2019-02-06.
- [12] L. Sandholm, *Kvalitetsstyrning med Totalkvalitet*. Lund: Studentlitteratur, 2001.
- [13] D. Penfield, “Steps in the DMAIC process, 2014. [Elektronsik bild]. Tillgänglig: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DMAICWebdingsII.png>, hämtad: 2019-02-07.
- [14] T. Svensson, *Nio tumregler och två kungsvägar för att behärska mätosäkerhet*. Borås: Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2011.
- [15] J. Lindskog, *Mätvärdesbehandling och rapportering av mätresultat*. Lund: Studentlitteratur, 2006.
- [16] L. Graham, H. Jubrink, A. Lauber, *Mordern elektirsk mätteknik 1997 del 2*. Lund: Studentlitteratur, 1997.
- [17] S. Senol, *Measurment System Analysis using designed experiment with minimum a-b risk and n*, Measurement, vol 36, nr 2, ss. 131–141, 2004.
- [18] M. Down, F. Czubak, G. Gruska, S. Stahley, D. Benham, *Measurement System Analysis (MSA): Reference Manual 4th edition*. Detroit, Michigan: Chrysler Corporation, 2010.
- [19] D. C. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control 6th edition*. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2008.

- [20] M. Deleryd, *Process Capability Studies in Theory and Practice*. Licentiatavhandling, Institutionen för företagsekonomi och samhällsvetenskap, Luleå Tekniska Universitet, Luleå, Sverige, 1996.
- [21] G. Škulj, R. Vrabič, P. Butala, A. Sluga, *Statistical Process Control as a Service: An Industrial Case Study*, *Procedia CIRP*, vol. 7, pp. 401-406, 2013.
- [22] FAROARM, “The Global Standard for Arm Technology”, 2019. [Online]. Tillgänglig: <https://www.faro.com/en-gb/products/3d-manufacturing/faroarm/>, hämtad: 2019-02-01.
- [23] FARO, “FaroArm Platinum,” *dirdim.com*, 2019. [Online]. Tillgänglig: <http://www.dirdim.com/pdfs/DDI FARO Platinum Arm.pdf>, hämtad: 2019-02-21.

A: Exceldokument av mätresultat



B: Gantt-schema

