



2002:30M

**HÖGSKOLAN**  
TROLLHÄTTAN · UDDEVALLA  
INSTITUTIONEN FÖR TEKNIK

# EXAMENSARBETE

---

## **Kontrollreducering av mätmaskinsoperation**

**TEC Assy PW2000**

**Volvo Aero Corporation, avd. 9856**

**Measurement reduction in Co-ordinate Measuring Machine**

**Tec Assy PW2000**

**Volvo Aero Corporation, dept. 9856**

**Cecilia Gladh**

**Petra Torstensson**

**2002-04-23**

---

**Högskolan Trollhättan/Uddevalla**  
**Institutionen för Teknik**  
Box 957, 461 29 Trollhättan  
Tel: 0520-47 50 00 Fax: 0520-47 50 99  
E-post: teknik@htu.se

# EXAMENSARBETE

## Kontrollreducering av Mätmaskinsoperation

### Sammanfattning

Examensarbetet har genomförts på avdelning 9856, division Civilt flyg, på Volvo Aero Corporation, VAC, i Trollhättan.

Kontrollen av en flygdetalj är omfattande och tidskrävande. VAC önskar minska kontrolltiden för mätmaskinsoperationen, som är en slutkontroll, genom att reducera bort rakhets- & profilmätning av 15 ledskenor på detalj TEC Assy PW2000.

Vid kontrollreducering måste regelgivande dokument, QPC, som är upprättade för Volvo Aero Corporation, följas. QPC baserar underlag för kontrollreducering på SPS-metoden. VAC's kvalitetssystem, KPS, som utför beräkningar och analyser enligt SPS, använder felaktiga formler vid uträkningarna. Det är inte bara i KPS som oklarheter finns, utan andra problem har upptäckts under arbetets gång.

I denna rapport har nya beräkningar och analyser utförts utifrån genomgången teori och i samråd med kvalitetskunniga personer.

Resultatmässigt, vad gäller rakhetskrav, går denna mätning att reducera bort. Processen behöver dock styras mer mot målvärdet noll och enligt kundens krav krävs en AOQL-beräkning vid reducering. Denna AOQL-beräkning är tekniskt komplicerad, tidskrävande och dyr, då beräkningen inte är avsedd för slutkontroll.

Profilmätningen går inte att reducera bort på grund av för dåligt resultat. Förslag har givits på åtgärder för att uppnå bättre resultat och underlätta framtida analyser.

**Nyckelord:** Kontrollreducering, KPS, SPS, Processduglighet

---

**Utgivare:** Högskolan Trollhättan/Uddevalla, Institutionen för Teknik  
Box 957, 461 29 Trollhättan  
Tel: 0520-47 50 00 Fax: 0520-47 50 99 E-post: teknik@htu.se

**Författare:** Cecilia Gladh, Petra Torstensson

**Examinator:** Oskar Jellbo

**Handledare:** Alf Ydenius, Volvo Aero Corporation

**Poäng:** 10 **Nivå:** C

**Huvudämne:** Maskinteknik **Inriktning:** Produktionsteknik

**Språk:** Svenska **Nummer:** 2002:30M **Datum:** 2002-04-23

# DISSERTATION

## Measurement reduction in Co-ordinate Measuring Machine Summary

This thesis work has been done at dept. 9856 Commercial Engines Production C at Volvo Aero Corporation (VAC), Trollhättan.

The inspection of any aeroplane engine components is extensive and time-consuming. VAC wishes therefore to reduce the inspection time for the component TEC Assy PW2000. The inspection time can be reduced most effectively by reduction of the final operation. This is done on a Co-ordinate Measuring Machine. The reductions can be obtained by optimising the straightness and profile measurements performed on the 15 struts on this component.

During the optimisation of measurements the procedures in the Quality Procedures Commercial Engines (QPC) document, used by VAC must be followed. QPC gives guidelines and methods for optimisation and reduction of measurement by use of Statistical Process Control (SPC). VAC's quality system, KPS, which performs calculations and analysis according to SPC methods, has used certain incorrect formulas and assumptions during the calculations specific to this component. There are certain other issues which have arisen during the project as the corrections to the KPS have been implemented.

In this report new calculations and analysis have been made based on examination of SPC theory and consultation with staff members who have experience with this project and type of component and its measurement.

Based on the results, the straightness measurement of the struts can be reduced. Although the process will need to be more tightly controlled more to achieve its reference dimensions and an AOQL-calculation is also needed. The AOQL-calculation is not intended for final inspections and is therefore technically complicated, time-consuming and expensive.

Based on the results the profile measuring cannot be reduced. Recommendations have been made on how to obtain better results and make analysis in the future easier.

**Keywords:** Measurement reduction, KPS, SPC, Cp

---

**Publisher:** University of Trollhättan/Uddevalla, Department of Technology  
Box 957, S-461 29 Trollhättan, SWEDEN  
Phone: + 46 520 47 50 00 Fax: + 46 520 47 50 99 E-mail: teknik@htu.se

**Author:** Cecilia Gladh, Petra Torstensson

**Examiner:** Oskar Jellbo

**Advisor:** Alf Ydenius, Volvo Aero Corporation

**Subject:** Mechanical Engineering, Production

**Language:** Swedish      **Number:** 2002:30M      **Date:** April 23, 2002

## **Förord**

Maskiningenjörutbildningen på 120 poäng, vid Högskolan Trollhättan/Uddevalla, avslutas med ett examensarbete på C-nivå omfattande 10 poäng.

Detta examensarbete har utförts på Volvo Aero Corporation, division Civilt Flyg, avdelning 9856.

Vi vill tacka all berörd personal på avdelningen samt Britta Bengtsson på CAM-utveckling som hjälpt oss med KPS. Ett stort tack även till Ingrid Tano, HTU. Till vår handledare, Alf Ydenius, vill vi rikta ett speciellt tack då han varit ett stort stöd för oss.

Trollhättan 2002-04-23

Cecilia Gladh

Petra Torstensson

## Innehållsförteckning

<b>Sammanfattning</b> .....	<b>i</b>
<b>Summary</b> .....	<b>ii</b>
<b>Förord</b> .....	<b>iii</b>
<b>Innehållsförteckning</b> .....	<b>iv</b>
<b>Symbolförteckning</b> .....	<b>vi</b>
<b>1 Inledning</b> .....	<b>1</b>
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Problemformulering.....	1
1.3 Mål.....	2
1.4 Avgränsningar .....	2
<b>2 Företagspresentation</b> .....	<b>3</b>
2.1 Avdelningspresentation.....	3
<b>3 Produktbeskrivning – TEC PW2000</b> .....	<b>3</b>
3.1 Tillverkning/Sammansättning av TEC Assy PW2000.....	4
<b>4 Mätning av ledskenor</b> .....	<b>4</b>
4.1 Rakhetskrav.....	5
4.1.1 Kontrollmätning av raketstolerans .....	6
4.2 ProfilkraV.....	6
4.2.1 Kontrollmätning av ytformstolerans .....	6
<b>5 KUM-program</b> .....	<b>8</b>
5.1 Analys med KUM-program.....	8
5.1.1 Minsta kvadratmetoden.....	9
<b>6 KPS</b> .....	<b>10</b>
<b>7 Teori</b> .....	<b>11</b>
7.1 Statistisk processtyrning – SPS.....	11
7.1.1 Normalfördelning.....	12
7.1.2 Kapabilitetsstudier .....	12
7.1.3 Styrdiagram.....	13
7.2 AOQL.....	13
<b>8 Tillvägagångssätt</b> .....	<b>13</b>
8.1 QPC .....	13
8.1.1 Regler för minsta kontrollomfattning .....	13
8.2 Fördelning .....	14
8.3 Övre- och undre toleransgräns.....	14
8.4 Stabil Process m.h.a. Övre Styrgräns .....	15
8.4.1 Varför rullande medelvärde? .....	15
8.5 Beräkning av duglighetsindex.....	16
<b>9 Resultat</b> .....	<b>17</b>
9.1 Rakhetskrav.....	17
9.2 ProfilkraV.....	17
<b>10 Analys av resultat</b> .....	<b>18</b>
10.1 Rakhetsanalys .....	18

10.2	Profilanalys.....	19
<b>11</b>	<b>Riskidentifiering.....</b>	<b>20</b>
11.1	Luftflödesriktning.....	20
11.2	Lastbärande funktion.....	20
<b>12</b>	<b>Rekommendationer till fortsatt arbete .....</b>	<b>21</b>
12.1	Vibrationer i mätprobe .....	21
12.2	Mätprogram - Holos .....	21
12.3	Användning av Pearsonkurva/fördelning .....	22
12.4	Bättre dokumentation av mätmaskinsprotokoll .....	22
12.5	Samma koordinatsystem .....	22
12.6	Extra mätoperationer.....	23
12.7	Svetspunkter.....	23
<b>13</b>	<b>Slutsats .....</b>	<b>24</b>
<b>14</b>	<b>Referensförteckning.....</b>	<b>25</b>
	<b>Bilagor.....</b>	<b>26</b>
	<i>Bilaga 1 Produkter tillverkade inom Civilt flyg, Volvo Aero Corporation .....</i>	<i>1</i>
	<i>Bilaga 2 Raket Konkav sida.....</i>	<i>2</i>
	<i>Bilaga 3 Styrdiagram konvex sida.....</i>	<i>3</i>
	<i>Bilaga 4 Rakhetsanalys Konkav sida.....</i>	<i>4</i>
	<i>Bilaga 5 Styrdiagram konkav sida.....</i>	<i>5</i>
	<i>Bilaga 6 Profilkravsanalys .....</i>	<i>6</i>
	<i>Bilaga 7 Styrdiagram Profilkrav .....</i>	<i>7</i>

## **Symbolförteckning**

A	Avmått (Avvikelse från nominellt mått)
A-verkstad	Verkstad där underhåll och service av motorer sker
C <sub>p</sub>	Processduglighetstal (Processens spridning i relation till toleransområdets bredd)
C <sub>pk</sub>	Korrigerat duglighetsindex (sammanvägning av spridning och centrerung av processen)
C <sub>pö</sub>	Övre korrigerat duglighetsindex (sammanvägning av spridning och centrerung av processen)
C-verkstad	Verkstad där detaljer till civilt flyg tillverkas
F	Fullständigt mått
GE	General Electric
KPS	Kvalitets- och Processtyrningssystem
Kravnr	Identitetsnummer av mått/krav på produkt/O-ritning
KUM	Kurvenmessung ( Mät- och Analysprogram)
MTU	Motoren und Turbinen Union
PR	Preliminary Review (Utvärdering av kvalitetsanmärkning för bedömning och åtgärd)
PWA	Pratt & Whitney (kund)
QPC	Quality Procedures Commercial Engines
SPS	Statistisk Processtyrning
Std	Standardavvikelse $\sigma$
TEC	Turbine Exhaust Case
Tö/Tu	Toleransgräns övre/undre
USG	Undre Styrgräns
VAC	Volvo Aero Corporation
ÖSG	Övre Styrgräns

# 1 Inledning

Denna rapport utgör resultatet av ett examensarbete vid Högskolan Trollhättan/Uddevalla utfört i samarbete med Volvo Aero Corporation, division Civilt Flyg, avdelning 9856, i Trollhättan. Rapporten riktar sig till en målgrupp med tekniskt kunnande inom kvalitetsstyrning eller statistik.

## 1.1 Bakgrund

Kontroll av en flygdetalj är omfattande och tidskrävande. Mätmaskinsoperationen tar idag cirka 6 timmar för en detalj, TEC Assy PW2000. Då det finns fler detaljer i C-verkstaden som genomgår mätmaskinsoperation för kontroll uppstår kö, vilket i sin tur kan leda till att ledtiden för detaljen blir längre. Volvo Aero Corporation önskar minska kontrolltiden för mätmaskinsoperation genom att reducera bort rakhets- och ytformstoleransmätning (benämns även profilmätning) av 15 ledskenor på detaljen.

## 1.2 Problemformulering

Volvo Aero Corporation har ett kvalitetssystem, KPS, där statistisk analys utförs för att se om processen är stabil och har ett bra duglighetsmått. I dagsläget går det inte att lita på duglighetsindex som  $C_p$  och  $C_{pk}$ , vad gäller avmätt, som finns presenterade i KPS på grund av en del orsaker;

- **Övre- och undre toleransgräns**

Systemet förutsätter att rakhets- och profilkraven har en övre- och en undre toleransgräns med ett målvärde i mitten av toleransområdet.

- **Normalfördelning med sex sigma**

Vid uträkning av processduglighetsindex,  $C_p$ , använder kvalitetssystemet sex sigma, vilket är avsett för mått som har en övre- och en undre toleransgräns.

- **Övre- och Undre Styrgräns**

En normalfördelning med sex sigma resulterar i att övre- och undre styrgräns blir felpresenterade i kvalitetssystemet. I KPS har undre styrgräns beräknats och båda kravens undre styrgräns visar negativa värden.

- **Rullande medelvärde**

I KPS används ett rullande medelvärde på en, tre eller fem senast inrapporterade värden vid uträkning av duglighetsindex.

Inom CAM-utveckling på Volvo Aero Corporation är de väl medvetna om ovanstående problem men inga resurser finns tillgängliga för att åtgärda felaktigheterna.



Det är inte bara i Volvo Aero Corporations kvalitetssystem, KPS, oklarheter uppstår utan även i mätmaskin finns en del problem;

- **Justering vid omkontroll**

Inrapportering till KPS, som utförs av mätmaskinsoperatörerna, är tveksam på grund av att mätvärden som blir omkontrollerade inte justeras i kvalitetssystemet. Detta gör det omöjligt att analysera i KPS på grund av att de värden som finns presenterade inte är sanna.

- **Svetspunkter**

En del avvikande punkter kan bero på att mätproben släpat över en svetskant och registrerat detta värde.

- **Minsta kvadratmetoden**

När profilmåttet analyseras använder mätprogrammet en kombination av minsta kvadratmetoden och best fit-metoden vid beräkning.

### **1.3 Mål**

Målsättningen med examensarbetet är att undersöka om kontrolltiden, avseende rakhets- och ytformstoleransmätning, går att reducera bort i mätmaskin för TEC Assy PW2000. Arbetet skall innehålla vilka mätvärden och analyser som finns som underlag. En riskidentifiering skall upprättas och regler för kontrollomfattning, både interna som externa, för PW2000 skall genomgå.

### **1.4 Avgränsningar**

Projektet omfattar endast mätproceduren av ledskenor. De detaljer som analysen omfattar är robotsvetsade och inte som förut manuellt svetsade.

## **2 Företagspresentation**

Volvo Aero Corporation bedriver verksamhet på ett flertal ställen; Trollhättan, där huvudkontoret ligger, Stockholm, Malmö, Kongsberg i Norge, Boca Raton, Florida, Seattle och Washington. Volvo Aero har fem affärsområden;

- Aerospace Components Utvecklar och tillverkar komponenter till civila- och militära flygmotorer samt raketmotorer.
- Engine Services Utvecklar underhållsprogram tillsammans med kunden för att nå hög tillförlitlighet till en låg kostnad per flygtimme.
- Aviation Support Services Erbjuder tjänster, förutom underhållsprogram och reparationer av motorer, som reservdelar och komponenter, utbytesmotorer, flygplanskomponenter, finansiering och leasing på kort och lång sikt.
- Military Engines Omfattar både utveckling, tillverkning, provning, underhåll och produktstöd.
- Land&Marine Gas Turbines Utvecklar, tillverkar och säljer industriella gasturbiner samt underhåll för gasturbiner.

### **2.1 Avdelningspresentation**

TEC-flödet består av tre avdelningar som tillverkar två detaljer, TEC V2500 samt TEC PW2000. Avdelning 9856, där slutbearbetning, montering av utrustning och leverans av komplett detalj sker, ingår i detta flöde. Kunderna är Pratt&Whitney (PWA) och Motoren und Turbinen Union (MTU).

## **3 Produktbeskrivning – TEC PW2000**

Detaljen, som detta projekt berört och vars mätprocedur av ledskenor analyserats, benämns TEC Assy PW2000 (Se figur 3.1). Den är placerad längst bak i turbinmotorn (Se bilaga 1) och har ett flertal funktioner såsom bakre lagerhållare, motorfäste samt fäste för diverse instrument.



Figur 3.1 PW2000 TEC Källa: VAC

### **3.1 Tillverkning/Sammansättning av TEC Assy PW2000**

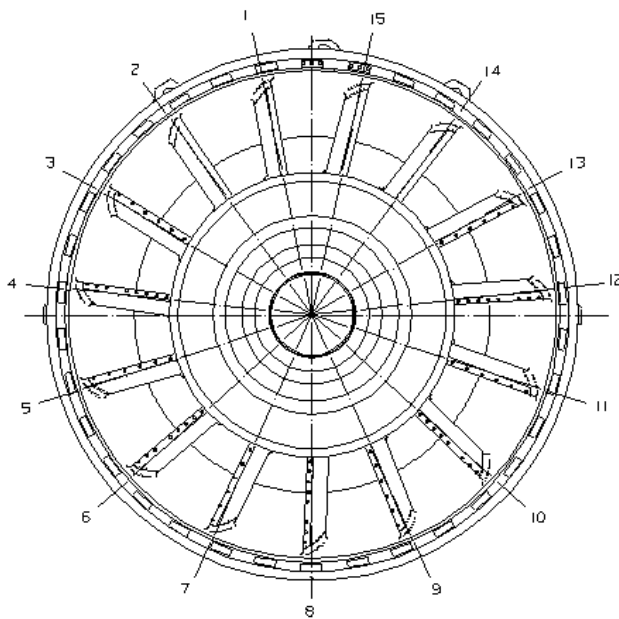
TEC Assy PW2000 består av ett antal ingående komponenter som bearbetas och svetsas ihop. De ingående komponenterna består av smide och tillverkas på olika avdelningar, inom TEC-flödet på Volvo Aero Corporation. De 15 ledskenor som berörs av projektet köps in från Birken, ett företag i USA. De komponenter som bearbetas på företaget är:

- Yttering Den del av detaljen som bildar den yttre konturen.
- Innerring Sitter samman med Yttringen med hjälp av 15 stycken ledskenor.
- Housing Hopsvetsad av utstansade plåtar. Svetsas ihop med den bearbetade Innerringen.
- Deflektor Svetsas fast på Yttringen.

Efter det att Innerring och Housing svetsats, monteras de tillsammans med Yttringen i en fixtur, för att med hjälp av 15 ledskenor bli en komplett detalj. Ledskenorna punktsvetsas fast manuellt för att därefter robotsvetsas fast. När detaljen har svetsats transporteras den vidare till härdning och sedan till slutbearbetning där detaljen får sina färdigmått.

## **4 Mätning av ledskenor**

Mätmaskinsoperation 800, som analyseras i detta projekt, sker efter det att detaljen har bearbetats färdigt och då ingen efterföljande process har någon påverkan på detaljens mått. TEC Assy PW2000 har 15 fastsvetsade ledskenor. Dessa finns i tre olika utföranden och har skilda uppgifter; tryck- och temperaturmätning samt en stödfunktion för att hålla ihop Yttering med Innerring (se figur 4.1).



Skena 1,2,14,15 Stödfunktion

Skena 3,5,7,9,11,13 Temperatur

Skena 4,6,8,10,12 Tryck

Figur 4.1 Tec sedd framifrån Källa: VAC

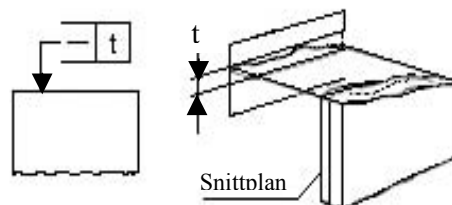
Rakhets- och Ytformstolerans mäts på ledskenorna, efter bearbetning, i mätmaskin. Enligt Jonny Sandersson, mätoperatör VAC, tar det 1,5-2,0 timmar att kontrollmäta ledskenorna.

#### 4.1 Rakhetskrav

Definition på raketstolerans enligt VAC's ritningsstandard [4] lyder:

”Toleransområdets projektion i ett plan är begränsat av två parallella linjer på inbördes avstånd  $t$ ”

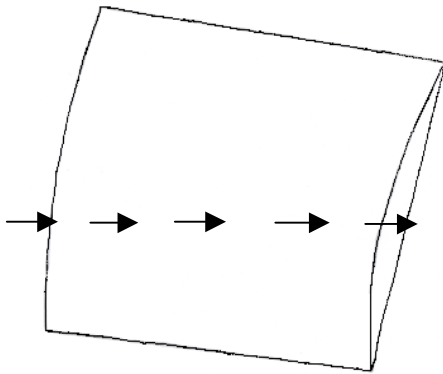
”Ytan skall i varje snitt ligga mellan två parallella linjer på inbördes avstånd  $t$ . Linjerna skall i sin tur vara parallella med den projektion i vilken toleransen angivits.” (Se figur 4.2)



Figur 4.2 Raketstolerans

#### 4.1.1 Kontrollmätning av raketstolerans

Utmed ytan på ledskenorna sker punktmätning där sju respektive nio punkter registreras beroende på om sidan är konkav eller konvex. På ledskenorna utförs punktmätningen på ett bestämt avstånd i förhållande till ett plan på detaljen. Detta plan svarvas i en annan operation och har en bearbetningstolerans. Avståndet från plan till skena där punktmätning utförs skiljer sig åt från detalj till detalj på grund av planets bearbetningstolerans.



Figur 4.3 Rakhetsmätning på ledskena

## 4.2 ProfilkraV

Definitionen på ytförmstolerans enligt VAC's ritningsstandard [4] lyder:

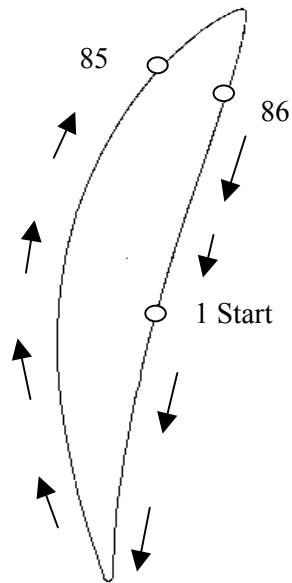
”Den toleranssatta ytan skall ligga mellan två ytor bestämda av sfärer med diametern  $t$ , vilkas centrum är belägna på en yta som har geometriskt riktig förm”.

#### 4.2.1 Kontrollmätning av ytförmstolerans

Utmed profilen i ett bestämt snitt på ledskenorna scannas ytan och registrerar 98 eller 120 punkter. Antalet punkter som registreras beror på utseendet av skenan. Mätproben börjar scanna mitt på den konkava sidan av ledskenan och fortsätter nedåt. Se figur 4.4 där skenans profil visas.

- **98 punkter**

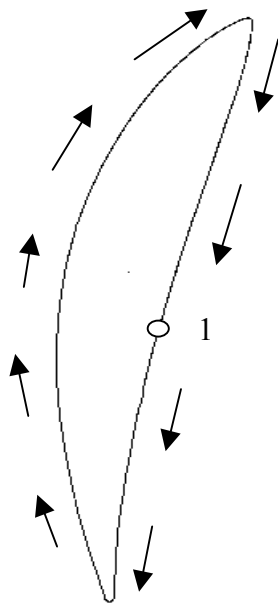
På de ledskenor som har till uppgift att mäta temperatur sker ingen kantmätning, det vill säga radien högst upp på ledskenan. Ledskenan kan inte mätas runt om på grund av att luftintagen för temperaturutrustningen sitter i vägen för mätproben. Profilmätningen startar på den konkava sidan, fortsätter på den konvexa sidan fram till punkt 85. Vid punkt 85 avslutas mätningen för att återupptas vid punkt 86 (se figur 4.4).



Figur 4.4 Profilmätning – 98 punkter

- *120 punkter*

Vid mätning av ledskenor för tryckmätning och de ledskenor som har en stödfunktion, mäts profilen hela vägen runt om (se figur 4.5).



Figur 4.5 Profilmätning – 120 punkter

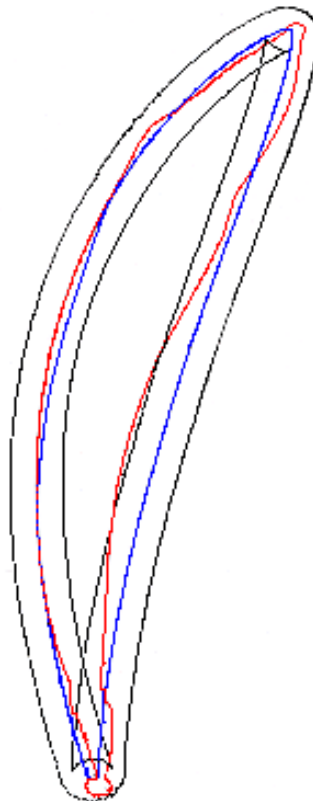
## 5 KUM-program

Mätmaskin använder ett speciellt mät- och analysprogram vid profilmätning av ledskenor. Detta benämns KUM-program, Kurvenmessung-program. Programmet kan mäta och analysera två- och tredimensionella kurvor.

### 5.1 Analys med KUM-program

Mätproben scannar 500 till 700 punkter utmed ytan på ledskenan. Av dessa plockas 98 respektive 120 punkter ut, beroende på vilken typ av ledskena det är som mäts. KUM-programmet beräknar fram en splinekurva som går genom de utplockade punkterna. Se den rödmarkerade kurvan i figur 5.1. Den uppmätta kurvan justeras in mot den nominella kurvan som är blåmarkerad i figur 5.1. Tyngdpunkterna för de båda kurvorna sammanförs och en inpassing sker enligt best fit-metoden<sup>1</sup> för att få fram minsta avvikelse, med avseende på minsta kvadratmetoden (se avsnitt 5.1.1).

Utifrån den inpassade kurvan beräknas mätresultatet fram. De största avvikelserna åt båda håll registreras och differensen beräknas. I figuren nedan visas den nominella kurvan blåmarkerad, den verkliga rödmarkerad och toleransvidden i svart[Sven Olof Karlsson, mättekniker, MYLAB].



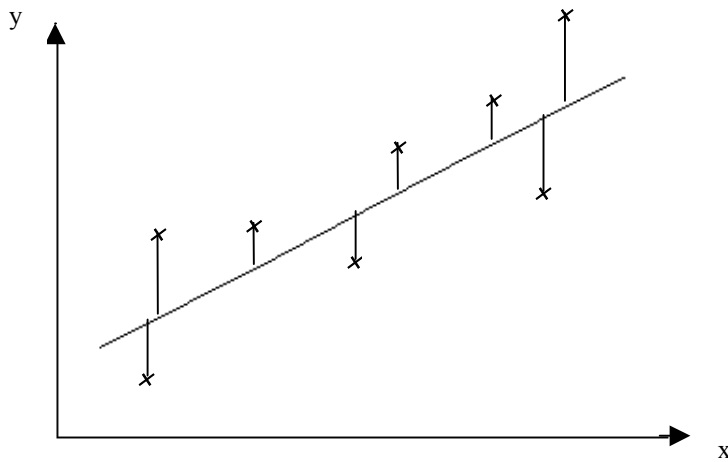
Figur 5.1 Kurvanalys i KUM-programmet

---

<sup>1</sup> Best fit-metoden innebär att uppmätt kurva passas in mot nominell så minsta avvikelse uppnås.

### 5.1.1 Minsta kvadratmetoden

Rakhets- och Ytformstoleransen analyseras på liknande sätt. Vid minsta kvadratmetoden prickas uppmätta värden in i ett punktdiagram och en rät linje läggs in så att summan av kvadraterna på de lodräta avvikelserna mellan punkterna och linjen blir den minsta möjliga [1]. Se Figur 5.1 där sådana avvikelser markerats. Vid rakhetsanalys är det toleransvidden som registreras i KPS, det vill säga de mest avvikande måtten mot den rätta linjen.

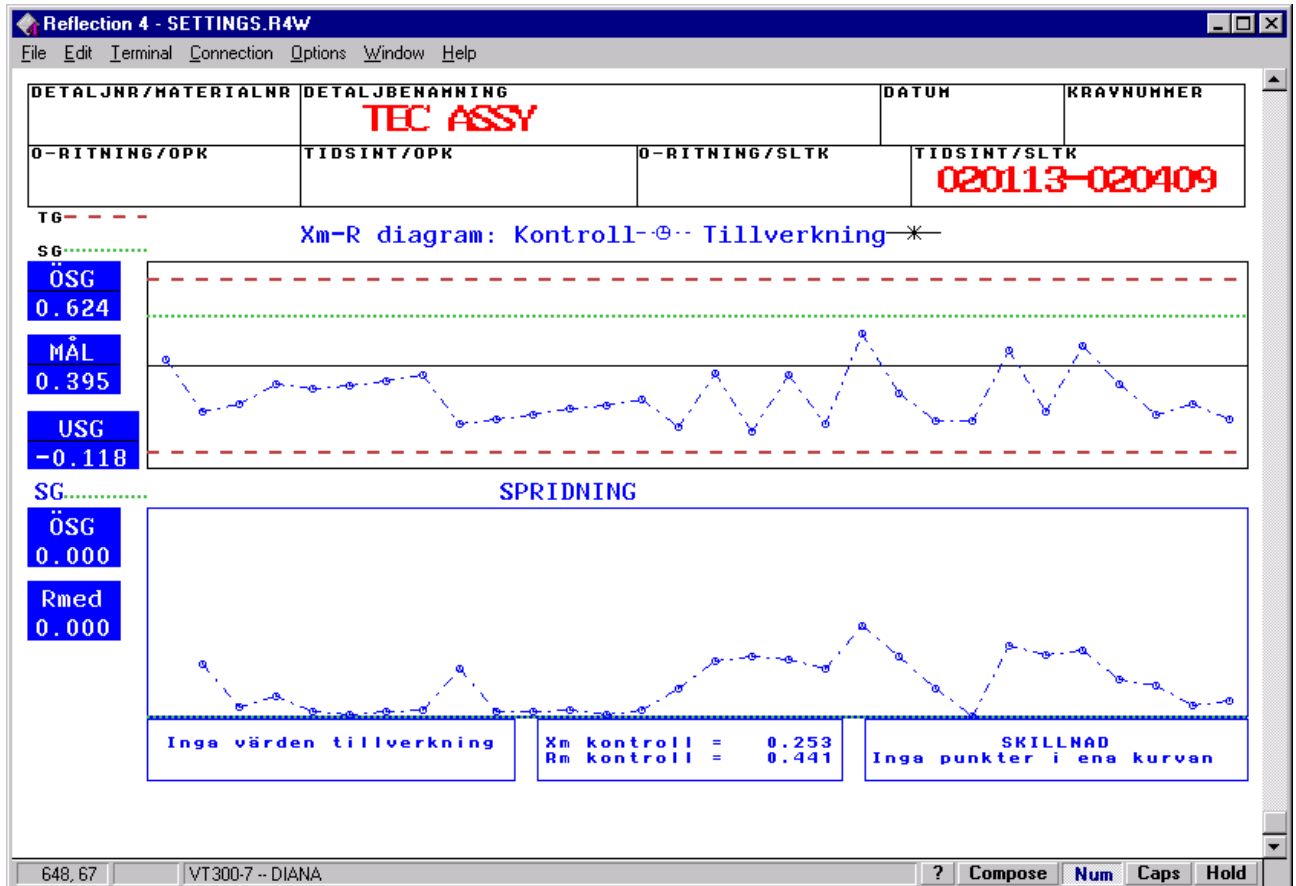


Figur 5.1 Punktdiagram där minsta kvadratmetoden använts



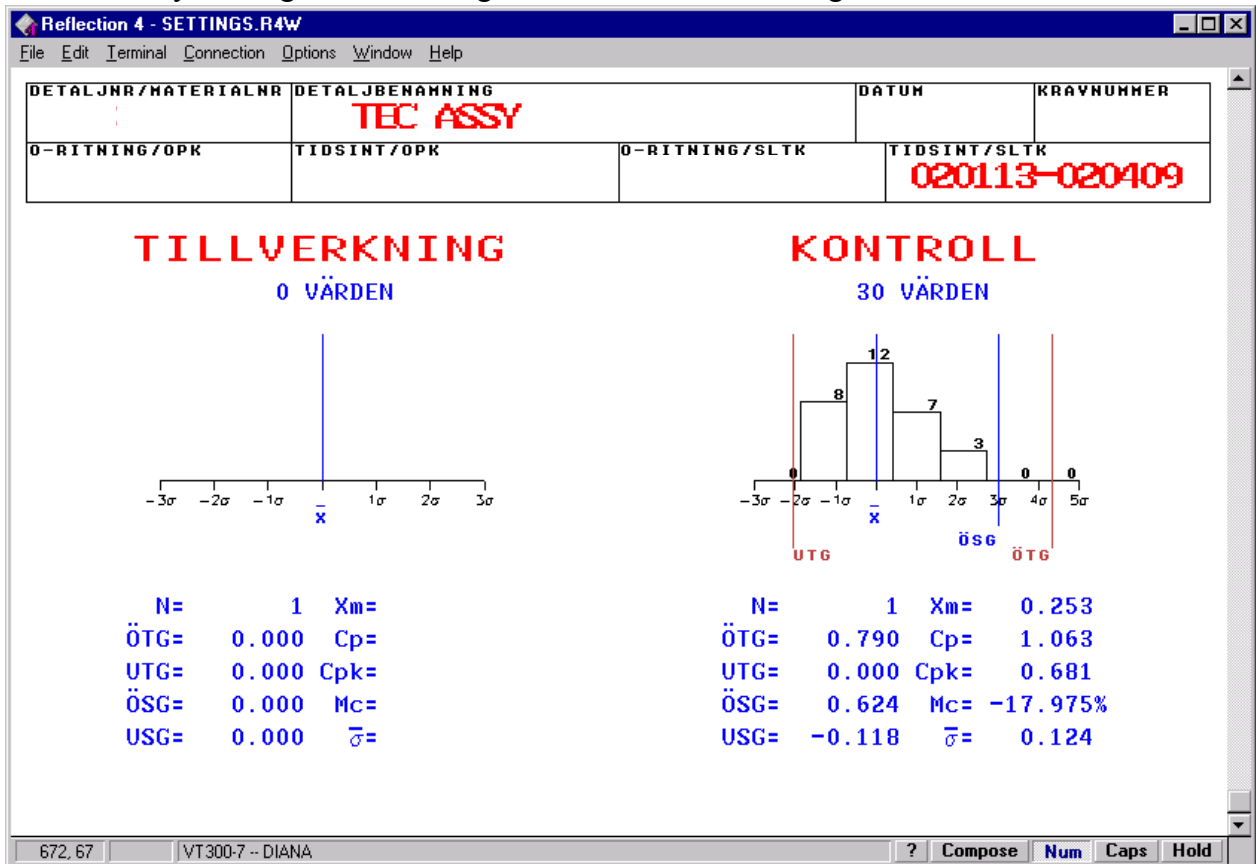
## 6 KPS

KPS är Volvo Aero Corporations datoriserade Kvalitets- och ProcesstyrningsSystem. Systemet hanterar och bearbetar rapporterade mätdata från tillverknings- och kontrolloperationer samt redovisar resultatet statistiskt, grafiskt och alfanumeriskt [5]. Nedan visas en figur på styrdiagram där toleransgräns, målvärde samt övre- och undre styrgräns är presenterade i KPS.



Figur 6.1 Styrdiagram i KPS

Information om processduglighet, korrigerat duglighetsindex och variationsbredd erhålls i kvalitetssystemet genom ett histogram. Detta visas nedan i figuren.



Figur 6.2 Histogram i KPS

## 7 Teori

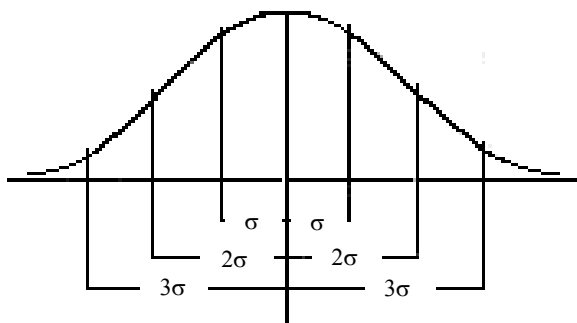
Om det skall finnas möjlighet till kontrollreducering måste processen analyseras genom ett antal beräkningar som styrgränser, processduglighet och centring. För att utföra dessa beräkningar används en del metoder och teorin bakom dessa beskrivs i detta kapitel.

### 7.1 Statistisk processtyrning – SPS

SPS, Statistisk processtyrning, är en metod som används då kunskap om processens spridning önskas. Metoden kan tillämpas för all typ av serietillverkning men är effektivast vid långa serier [2]. SPS hjälper oss att få en bild av hur bra tillverkningsprocessen arbetar i förhållande till målvärdet. Det finns förutom målvärdesstyrning även toleransstyrning. Den senare tar endast fasta på att måtten hamnar innanför toleransgränserna till skillnad mot målvärdesstyrning som använder sig av styrgränser.

### 7.1.1 Normalfördelning

Det finns systematiska- och slumpmässiga variabler varav de systematiska har en speciell orsak som ofta kan fastställas och elimineras. En process är i statistisk jämvikt då endast slumpmässiga variabler förekommer över en längre tidsperiod [2]. Om det som mäts endast varierar slumpmässigt kring ett medelvärde, fördelar sig mätvärdena enligt en normalfördelning (se figur 7.1).



Figur 7.1 Normalfördelningskurva med sex sigma

### 7.1.2 Kapabilitetsstudier

Det finns olika typer av kapabilitetsstudier; Maskin- och Processkapabilitetsstudier. Det senare, som detta projekt utgår från, är en studie som pågår över en längre tid och som ger ett mått på hur bra en process tillverkar i förhållande till toleransgränserna förutsatt att processen är under statistisk kontroll. Vid analys av en process finns riktvärden som anger processens status [7]. Se tabell 7.1.

Cp	Cpk	Anmärkning Processen.....
< 1	< 1	är olämplig. Spridningen måste minskas. Uppfyller ej minimikravet Cpk=1
1 – 1,33	< 1	kan bli godtagbar efter centrerings. Uppfyller ej minimikrav.
1 – 1,33	1 – 1,33	är godtagbar men spridningen bör minskas.
> 1,33	< 1	bör centreras. Uppfyller ej minimikrav.
> 1,33	1 – 1,33	är godtagbar men kan förbättras.
> 1,33	> 1,33	är bra men kan förbättras ytterligare.

Tabell 7.1 Processens status

### **7.1.3 Styrdiagram**

Ett styrdiagram används som hjälpmedel för att bedöma om en process är stabil, det vill säga endast varierar slumpmässigt.[8] I styrdiagrammet finns styrgränser inlagda och så länge de uppmätta värdena hamnar innanför dessa är processen under statistisk kontroll.

Det finns olika indelningar av styrdiagram efter vilken typ av storhet som övervakas;

- Väntevärdesdiagram Genomsnittsvärdet övervakas.
- Spridningsdiagram Spridningen mellan måtten på olika producerade enheter övervakas.

## **7.2 AOQL**

AOQL är en förkortning av engelskans Average Outgoing Quality Limit. Det är ett standardsystem för acceptansk kontroll genom att gränsen för den genomsnittliga utgående kvaliteten beräknas. Provtagningsplaner kan tillämpas för att avgöra om en sats kan godkännas eller inte utan att kontrollera samtliga detaljer. Säkerheten i provtagningsplanerna beskrivs genom AOQL-nivån. Vid användning av provtagningsplanen definierar AOQL-nivån den högsta möjliga felfrekvensen på utgående kvalitet. AOQL skall användas vid reducere ring av kontroll enligt Volvo Aero Corporations regelsystem, QPC [6].

## **8 Tillvägagångssätt**

En förutsättning för att kunna analysera en process är att få förståelse för processen som studeras. Hur sker mätningen i mätmaskin och vad innebär kravnumret på ritningen? Dessa frågor ingår i förståelsen för mätprocessen som sådan.

### **8.1 QPC**

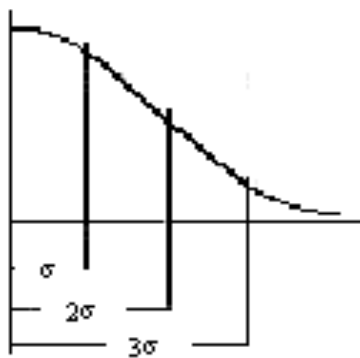
QPC, Quality Procedures Commercial Engines, är Volvo Aero Corporations regelsystem för division Civilt flyg. Vid en eventuell kontrollreducering måste regelgivande dokument, som är upprättade för Volvo Aero Corporation, genomgås.

#### **8.1.1 Regler för minsta kontrollomfattning**

Enligt Volvo Aero Corporations regelgivande dokument finns ett generellt krav som säger att ”kontrollomfattning skall vara sådan att utlevererad kvalitet garanteras”. [6] När detaljen genomgått alla operationer skall alla egenskaper verifierats till 100% i ett stadie då ingen efterföljande process påverkar egenskapen.

## 8.2 Fördelning

I KPS används en normalfördelning med sex sigma vid analysen, vilken är till för mått med övre- och undre toleransgräns (se avsnitt 1.2). I detta projekt har måtten som studerats endast en övre toleransgräns, då de är avmått. Det finns ett antal olika fördelningar att välja mellan och för att undersöka vilken som är mest lämpad i detta projekt har ett dataprogram, STAT FIT, använts. Med hjälp av detta program och samtal med universitetsadjunkt Ingrid Tano, HTU, och Britta Bengtsson, CAM-utveckling VAC, föll beslutet på en normalfördelning med enkelsidig distribution (se figur 8.1). Jämför med avsnitt 7.1 där en normalfördelningskurva visas.



Figur 8.1 Enkelsidig distribution med tre sigmagränser

## 8.3 Övre- och undre toleransgräns

I enlighet med problemformuleringen (avsnitt 1.2) använder kvalitetssystemet en övre- och undre toleransgräns. Detta gäller endast i de fall en normalfördelning med sex sigma används. Vid detta projektets analys används endast övre toleransgräns då det minsta värdet som kan uppnås är noll. Enligt kravnumren på ritningen gäller följande toleransgränser;

Mått	Övre Toleransgräns
Rakhet – konvex sida	0,79
Rakhet – konkav sida	1,5
Profilkrav – runt om	2,0

Tabell 8.1 Övre Toleransgräns

## 8.4 Stabil Process m.h.a. Övre Styrgräns

För det första måste processen undersökas om den är stabil eller inte. En process är i statistisk jämvikt om de uppmätta värdena faller innanför den uträknade styrgränsen (se avsnitt 7.1.3). För att kunna räkna ut styrgränser måste standardavvikelsen, fördelningens spridning, först räknas ut. I KPS beräknas både övre- och undre styrgräns vilket inte är rätt då endast övre styrgräns skall användas på grund av enkelsidig distribution. Standardavvikelsen beräknas enligt formel 8.1 [3].

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{is} - M)^2}{(n_y - 1)}} \quad (8.1)$$

y är datavärdet, M är medelvärdet och n är antalet värden

I Kvalitetssystemet används ett rullande medelvärde på en, tre eller fem detaljer. I detta projekt beräknas övre styrgräns enligt formel 8.2 med ett rullande medelvärde på de tre senaste detaljerna [8].

$$\text{ÖSG} = \mu + 3 \cdot \sigma \quad (8.2)$$

$\mu$  är rullande medelvärde

### 8.4.1 Varför rullande medelvärde?

Ett rullande medelvärde är bra att använda vid en tillverkning som skall övervakas och styras mot ett målvärde. I denna analys används rullande medelvärde på grund av att det erhålls ett jämnare värde än standardmedelvärdet. Vid beräkning av övre styrgräns har det räknats dels med standardmedelvärde och dels med rullande medelvärde. Uträkning med rullande medelvärde innebär att styrgränsen blir striktare och lägre än om standardmedelvärde används.

### 8.5 Beräkning av duglighetsindex

När processens stabilitet undersökts läggs fokus på processens förmåga att producera inom de utsatta toleransgränserna. Detta duglighetsindex,  $C_p$ , anger förhållandet mellan toleransområdet och processens variation. I Kvalitetssystemet beräknas  $C_p$  utifrån sex sigma och med en undre toleransgräns vilket inte detta projekt använder. Duglighetsindex beräknas enligt formel 8.3 [8].

$$C_p = \text{ÖT} / 3 \cdot \sigma \quad (8.3)$$

En rekommendation är att  $C_p$  uppfyller  $C_p \geq 4/3$ . Ett stort värde på duglighetsindex innebär att processen har liten spridning [7].

En sammanvägning av spridning och centrering av processen görs med hjälp av övre korrigerat duglighetsindex  $C_{pö}$  som bör ha ett värde  $C_{pö} > 1.0$ . Detta duglighetsindex används istället för  $C_{pk}$  och beräknas enligt formel 8.4 [8].

$$C_{pö} = (\text{ÖT} - \mu) / 3 \cdot \sigma \quad (8.4)$$

$\mu$  är standardmedelvärde

## **9 Resultat**

Resultaten som presenteras i bilagorna 2 och 3 skiljer sig mot kvalitetssystemets resultat. I KPS används fel uträkningsätt därför har nya beräkningar gjorts utifrån genomgången teori och i samråd med kvalitetskunniga personer. De nya uträkningarna ger både bättre och sämre resultat beroende på om det är raket- eller profilmätning som analyseras.

### **9.1 Rakhetskrav**

Kvalitetssystemets beräkningar och de nya uträkningarna som utförts i detta projekt skiljer sig åt vad gäller processduglighet,  $C_p$  och korrigerat duglighetsindex,  $C_{p\ddot{o}}$ . De nya beräkningarnas resultat visar ett högre värde än kvalitetssystemets. Även övre styrgräns blir högre med de nya uträkningarna. Resultatet av rakhetsanalysen presenteras i bilaga 3.

### **9.2 Profilkra**

KPS-värden och nya beräkningsvärden jämförs med varandra för att påvisa skillnader. I de nya uträkningarna har alla mätresultat undersökts och de mätvärden som är omkontrollerade men inte justerade i KPS har korrigerats. Övre Styrgräns skiljer sig inte märkbart jämfört med KPS och inte heller det korrigerade duglighetsindexet,  $C_{p\ddot{o}}$ . Däremot visar processdugligheten,  $C_p$ , ett högre värde med de nya beräkningarna. Resultatet av profilanalysen presenteras i bilaga 4.



## 10 Analys av resultat

En av anledningarna till att de nya beräkningarna skiljer sig mot kvalitetssystemets både vad gäller rakhets- och profilmätning är annan beräkningsmetod. KPS har använt R-metoden som beräknar variationsbredden vilket är skillnaden mellan största och minsta mätvärdet. Metoden ger enligt [8] något lättare beräkningar och i slutändan osäkrare resultat än S-metoden som detta projekt utgått från. S-metoden utgår från standardavvikelsen istället för variationsbredden. Förklaringen till osäkrare resultat är att variationen mellan olika uppskattningar med R-metoden är större än om uppskattningarna är gjorda med S-metoden [8]. Ett spridningsdiagram används vid båda metoderna. I samråd med Ingrid Tano, universitetsadjunkt i kvalitet, HTU, är skillnaden obetydligt resultatmässigt och båda metoderna kan användas.

- **Formler**

I KPS härrör formlerna från General Electric och tio år tillbaka i tiden. Formler som används i denna analys är tagna ur dagens kvalitetsundervisning. För att vara på den säkra sidan vid eventuell kontrollreducering ger dessa formler ett snävare resultat än vad det hade blivit med KPS-formlerna.

- **Rullande medelvärde**

Rullande medelvärde används i kvalitetssystemet både vid uträkning av duglighet på processen och övre styrgräns. Ett rullande medelvärde förskönar processdugligheten och skall därför inte användas vid uträkning av  $C_p$  och  $C_{p\bar{o}}$ . Vid uträkning av övre styrgräns skall det däremot användas på grund av att det ger en lägre styrgräns.

- **Minsta kvadratmetoden**

En nackdel med minsta kvadratmetoden är att den inte ger den bästa inpassningen som enbart best fit-metoden hade gjort. Det finns ledskenor som hamnat utanför toleransgränsen med dagens inpassningsmetod men hade varit innanför om enbart best fit-metoden använts.

### 10.1 Rakhetsanalys

Resultatet av rakhetsanalysen visar att den konkava sidan är bättre än den konvexa sidan. Detta beror på att toleransen är högre på den konkava sidan.

Övre Styrgräns blir högre med nya beräkningsmetoden men innebär ingen fara då styrgränsen inte överskrider toleransgränsen.

Dugligheten på processen är mycket bra och även centreringen vilket innebär att rakhetsmätningen kan reduceras bort enligt de regler som Volvo Aero Corporation har.

## **10.2 Profilanalys**

De beräkningar som utförts under analysen syftar till att kontrollera om processen är stabil samt mätvärdenas spridning. Beroende på vilken typ av ledskena som kontrollmäts uppnås olika resultat. Vid de tillfällen där 98 punkter registreras uppnås bättre resultat. Detta sker på grund av att det är kantmätningen på ledskenorna som oftast ger det mest avvikande måttet.

I resultatet av de nya beräkningarna samt i kvalitetssystemets framkommer det att övre styrgräns i de flesta fall hamnar över toleransgränsen. Detta innebär att processen har större spridning än vad Volvo Aero Corporation tillåter. Processen är under statistisk kontroll på grund av att värdena är innanför styrgränserna. För att hamna innanför VAC's ramar krävs att processen görs stabilare.

Den största skillnaden mellan de nya beräkningarna och kvalitetssystemets är resultatet på processdugligheten. Detta beror på skillnader i fördelningarna som använts. I KPS används en normalfördelning med sex sigma och ett rullande medelvärde. De nya beräkningarna baseras på en enkelsidig normalfördelning och ett standardmedelvärde. Vid den nya beräkningen framgår det att processen är mer duglig än vad KPS anger att den är. Värdena ligger fortfarande över halva toleransen på spridningsdiagrammet vilket medför ett dåligt värde på Cpö.

## **11 Riskidentifiering**

Enligt målsättningen med projektet krävs en riskidentifiering vid eventuell kontrollreducering. De ledskenor som studerats och analyserats har, förutom tryck-, temperaturmätning och stödfunktion, två huvudfunktioner. Det är på dessa huvudfunktioner som riskidentifieringen gjorts i samråd med Mats Leijon, projektledare FP5 VAC.

### **11.1 Luftflödesriktning**

Ledskenorna riktar om det luftflöde som kommer från motorn. De konsekvenser som uppstår när rakhets- och profilkravstoleransen överskrids är;

- Motorns prestanda avtar
- Vibrationer uppstår i turbinbladen

Dessa konsekvenser medför dock ingen personfara.

### **11.2 Lastbärande funktion**

Detaljen fungerar som motorfäste i turbinmotorn vilket medför stora påfrestningar på konstruktionen. Rakhets- och ytformstoleranskraven påverkar inte den lastbärande funktionen och medför därför inte några stora konsekvenser.

Förödande konsekvenser uppstår om materialtjockleken som krävs på ledskenorna underskrids eller om det inträffat en böjning/knäckning av ledskenorna. Om hållfastegenskaperna påverkas enligt två ovan nämnda faktorer kan det innebära motorhaveri.

## 12 Rekommendationer till fortsatt arbete

Då detta examensarbete omfattar 10 poäng har en del avgränsningar gjorts för att anpassa mängden arbete till poäng. Nedan anges förslag eller rekommendationer till ett fortsatt arbete för att underlätta framtida analyser av processen samt, i viss mån, uppnå bättre resultat.

### 12.1 *Vibrationer i mätprobe*

Ett problem mätoperatörerna upplever är vibrationer i mätproben. Nedan följer förslag till att undvika eller reducera dessa vibrationer för att uppnå bättre mätresultat.

- Punktmätning

När mätproben scannar utmed profilen på ledskenorna kan det uppstå vibrationer i mätproben. Efter samtal med Björn Blom, A-verkstaden VAC, går det att undvika dessa vibrationer om det införs punktmätning. Detta gör att mätresultaten blir bättre och stabilare.

En nackdel med punktmätning är att det tar längre tid än nuvarande mätmetod. Antalet mätpunkter kan dock reduceras vilket kommer medföra en sänkning av kontrolltiden.

- Omkonstruktion mätprobe

De vibrationer som uppstår vid mätning av ledskenornas profil kan reduceras om en kraftigare mätprobe med högre styvhet används. Enligt mätoperatörerna används redan den kraftigaste mätproben i dagsläget. Det bör undersökas om möjlighet finns att beställa eller tillverka en bättre variant av mätprobe.

### 12.2 *Mätprogram - Holos*

Mätmaskin använder ett KUM-program vid utförandet av beräkningar på ledskenornas profil (se kapitel 5). KUM-programmet använder minsta kvadratmetoden med en viss best fit inpassning vid beräkning. Detta är inte den bästa lösningen vid analys och beräkning enligt Björn Blom, A-verkstaden, VAC och Sven Olof Karlsson, MYLAB. Den mest optimala inpassningen av kurvberäkning är om best fit-metoden används fullt ut. Det mätmaskinsprogram som idag används klarar inte av att utföra detta.

Mät- och analysprogrammet Holos som finns på marknaden klarar att utföra inpassning fullt ut enligt best fit-metoden. Vid användning av best fit-metoden kommer bättre resultat uppnås och därmed stabilare process. I dagsläget finns detaljer som ligger utanför toleransgränsen men om best fit-metoden använts inte gjort det.

### ***12.3 Användning av Pearsonkurva/fördelning***

De beräkningar som utförts antas vara normalfördelade med enkelsidig distribution. För att uppnå bättre resultat skall mätvärdena fördelas utmed en pearsonkurva. Orsaken till att denna metod inte använts i detta projekt är för få mätvärden. Det bör vara 100-200 mätvärden för att analysen skall kunna ske enligt pearsonfördelning. När antalet detaljer uppnått 100-200 stycken är det en bra idé att omvärdera uträkningarna och övergå till användandet av pearsonkurva. Detta kommer medföra bättre resultat med avseende på  $C_p$  och  $C_{p\bar{o}}$ .

### ***12.4 Bättre dokumentation av mätmaskinsprotokoll***

Vid kontrollmätning av raketstolerans på ledskenorna är dokumentationen bristfällig. I mätprotokollet anges för tillfället:

- Standardavvikelsen
- Minsta avvikelsepunkt från nominell kurva
- Största avvikelsepunkt från nominell kurva
- Variationsbredd
- Toleranskrav

Det går inte att utifrån mätprotokollet tyda om de registrerade punkterna avviker negativt eller positivt mot nominell linje. Detta bör läggas till i mätdokumentationen för att erhålla större förståelse för mätresultatet.

### ***12.5 Samma koordinatsystem***

För tillfället används två olika koordinatsystem, ett som mätmaskinen använder sig av samt ett som används på operationsritningarna. Detta medför problem i tolkningen av mätvärdena i mätmaskinsdokumentationen. Ett förslag är att de resultat som mätmaskinen kommer fram till omvandlas till det koordinatsystem som finns på operationsritningarna.

## ***12.6 Extra mätoperationer***

Robotsvetsning och härdning är två processer som påverkar ledskenornas utseende. För att kunna kontrollera och få förståelse för hur dessa förändringar sker bör extra mätoperationer införas. Underlag som krävs för mätoperationerna finns färdiga. På grund av tidspress att leverera detaljer kunde inte extra mätoperationer införas vid det tillfälle när underlagen skrevs.

- Före robotsvetsning

Den extra mätoperationen skall införas efter inhäftning av ledskenor och innan detaljen robotsvetsas. Detta för att kontrollera att ledskenorna levererade från Birken håller de satta toleranserna. Denna extra kontrollmätning skall även ge svar på hur ledskenornas profil och rakhet är innan de robotsvetsas.

- Före härdning

Den extra mätoperationen som skall ske före härdning har flera syften. Dels skall mätningen ge svar på hur ledskenorna förändras när de robotsvetsas och dels för dokumentation av rakhets- och profilmåtten innan härdning.

## ***12.7 Svetspunkter***

Vid kontrollmätning av ledskenornas profil och rakhet sker mätningen på olika avstånd från detalj till detalj. (Se kapitel 4.1.1). En orsak är att ledskenorna inte hamnar på exakt samma ställe vid den manuella inhäftningen. Detta innebär att de svetsskarvar som finns på ledskenorna inte alltid mäts i mätmaskinen. Efter undersökning av mätresultat framkommer det att vid de tillfällen som svetsskarvar mäts påverkas variationsbredden vilket medför ojämnt mätresultat.

Det kan införas ytterligare mätpunkter vid svetsskarvarna, så att oberoende av hur ledskenan hamnar efter inhäftning mäts alltid svetsskarven. Ett annat förslag är att reducera bort mätpunkter vid svetsskarvarna. Detta för att få jämnare och stabilare process. De mätpunkter, orsakade av svetsskarvar, som registreras får inte plockas bort enligt kundens krav.

## **13 Slutsats**

Syftet med examensarbetet var att undersöka om möjlighet finns till kontrollreducering, med avseende på ledskenors rakhets- och profilmätning, för TEC Assy PW2000. Efter att nya beräkningar och analyser utförts har nedanstående slutsatser dragits:

Kontrollmätning av ledskenors raket kan reduceras bort om hänsyn endast tas till värden på  $C_p$  och  $C_{p\ddot{o}}$ . De förbättringsförslag som givits bör tas i beaktande och för att vara på den säkra sidan skall nya analyser göras när fler detaljer genomgått robotsvetsning. En rekommendation är att se över spridningen på processen samt snäva till den. Det bör även undersökas vilka orsaker som bidrar till att profilmåtten ligger närmare övre toleransgräns än målvärdet.

Kontrollmätning av ledskenornas profil kan inte reduceras bort då inga bra värden uppnås på  $C_p$  och  $C_{p\ddot{o}}$ . En förutsättning som skall uppfyllas när kontrollreducering skall ske är att  $C_{p\ddot{o}} > 1,0$  vilket inte erhålls i denna analys. Processen är under statistisk kontroll men inte innanför Volvo Aero Corporations satta toleransramar.

En AOQL-beräkning krävs enligt VAC's regelsystem, QPC. Då detta är en mätmaskinsoperation uppstår problem då AOQL skall utföras eftersom QPC baserar beslutet på bearbetningsoperationer. Det är möjligt att genomföra AOQL-beräkning i mätmaskin men det blir tekniskt komplicerat, tidskrävande och dyrt.

Oroväckande är att mätpunkter som justeras genom omkontroll inte ändras i kvalitetssystemet. Detta gör det omöjligt att analysera i KPS då mätvärdet inte går att lita på vilket är en förutsättning för kontrollreducering. Klara direktiv måste finnas om vem det är som ansvarar för att justering i kvalitetssystemet sker vid omkontroll.

## **14 Referensförteckning**

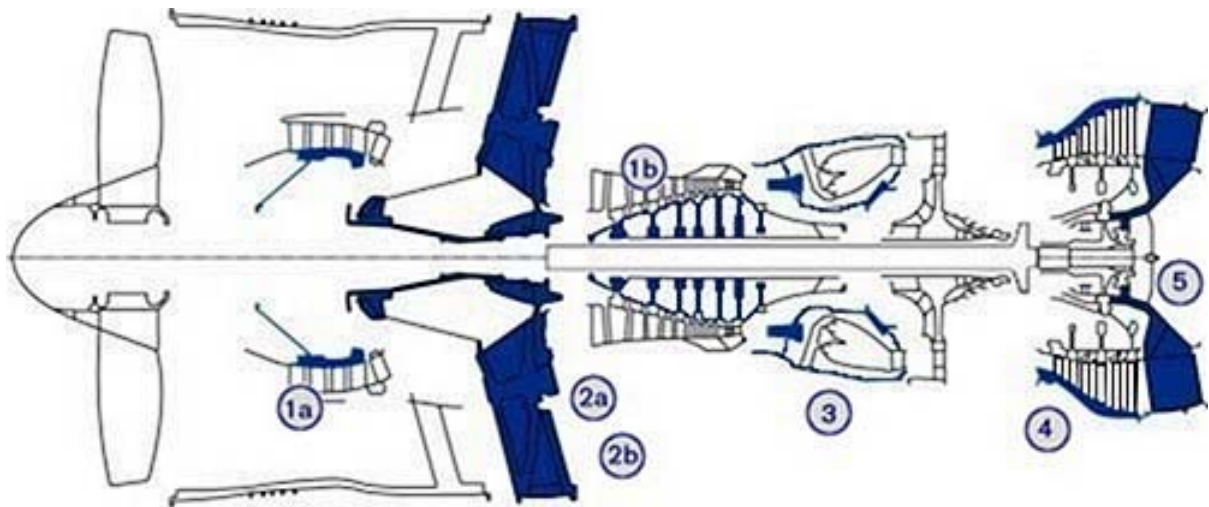
- 1 Blom Gunnar, 1984; Statistikteori med tillämpningar; Lund, studentlitteratur, ISBN; 91-44-05592-7
- 2 Bökmark Peter & Olausson Marie, 1990; Grunder för statistisk processtyrning; IVF-resultat 90616, ISBN 91-524-1075
- 3 Bergman Bo & Klefsjö Bengt, 1986; Statistisk kvalitetsstyrning; Lund, studentlitteratur, ISBN; 91-44-25541-1
- 4 Volvo Aero, 1999; Ritningsstandard, STD 5062,2
- 5 Volvo, Corporate Standard, STD 5034,2
- 6 Volvo Aero Corporation, 1999; Regelgivande dokument; QPC 12-25
- 7 HTU, 2001; Kvalitetskurs
- 8 Bergman Bo & Klefsjö Bengt, 1995; Kvalitet från behov till användning; Lund, studentlitteratur, ISBN; 91-44-33412-5



## **Bilagor**

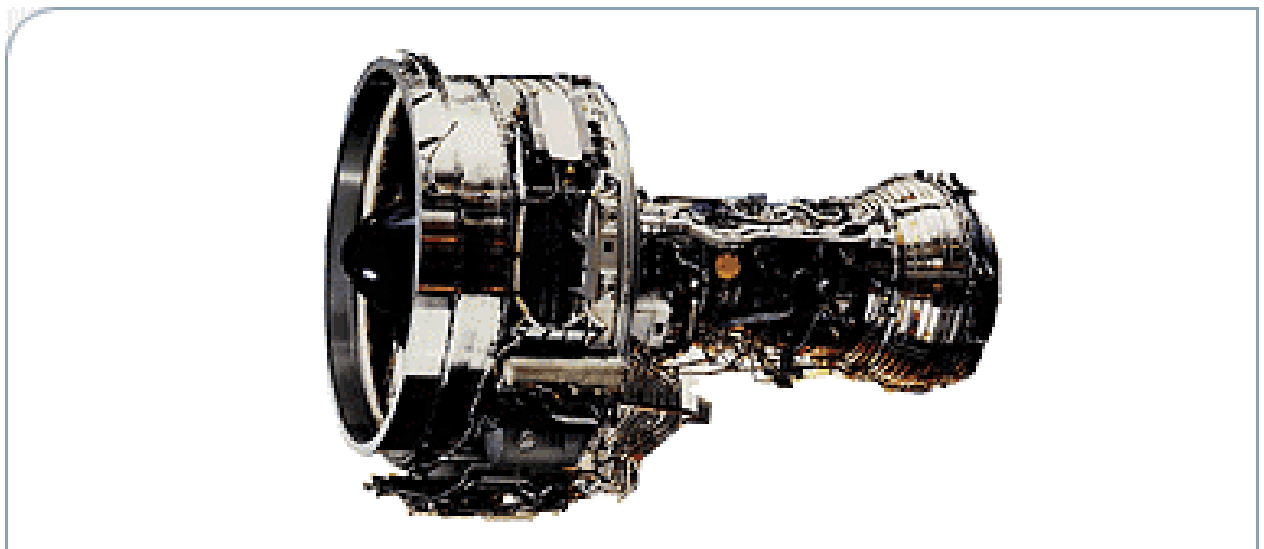
---

*Bilaga 1 Produkter tillverkade inom Civilt flyg, Volvo Aero Corporation*



**Källa: VAC Trollhättan**

- 1a. Fläkt spole
- 1b. Kompressor spole
- 2a. Mellanhus
- 2b. IMC
- 3 CRF och Diffusor Case
- 4. LPT
- 5. TEC

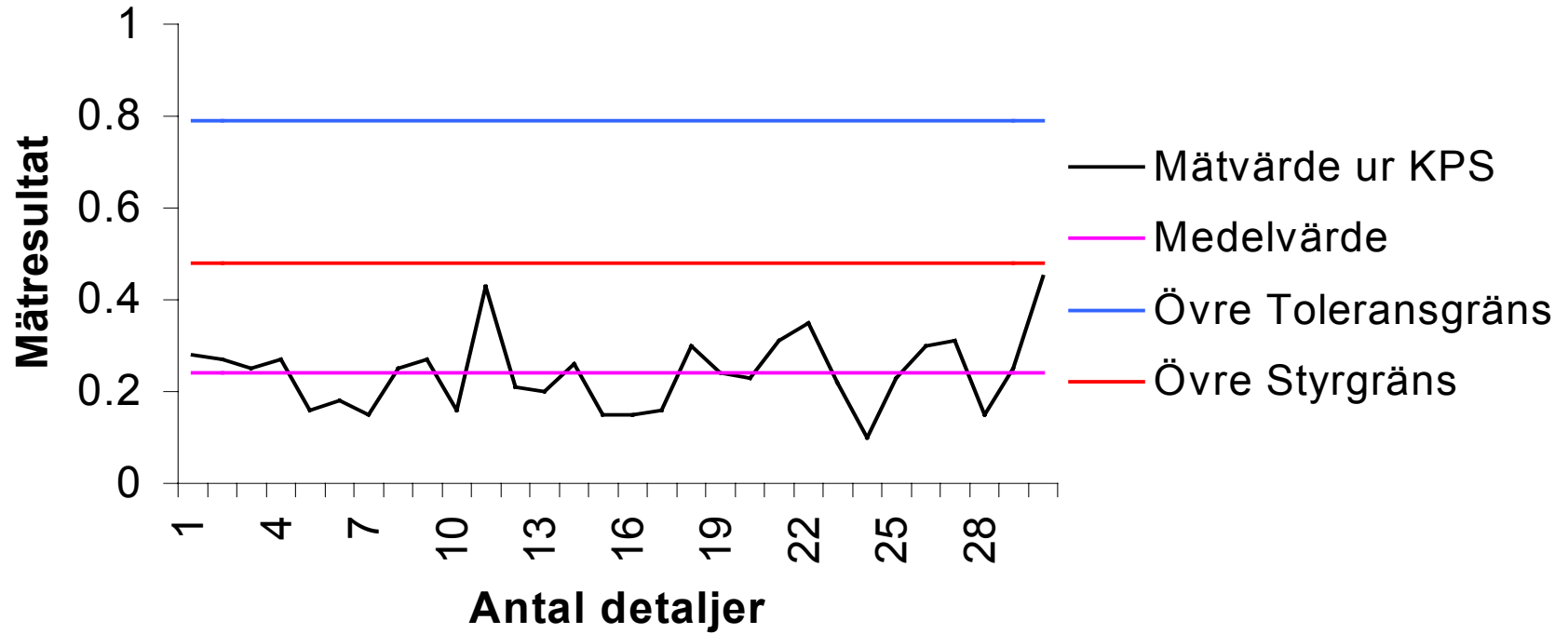


**Källa: MTU Aero Engines**

*Bilaga 2 Rakhet Konvex sida*

Krav Nr.	Mått Nom	Tolerans	Antal värden	KPS-Värden						Nya beräkningar					
				ÖSG	USG	Rullande medelv.	Std	Cp	Cpk	ÖSG	Standard medelv.	Rullande medelv.	Std	Cp	Cpö
4032A	0	0.79	30	0.459	0.024	0.241	0.072	1.817	1.109	0.479	0.241	0.235	0.081	3.235	2.247
4032B	0	0.79	30	0.581	-0.048	0.267	0.105	1.256	0.849	0.557	0.263	0.263	0.098	2.681	1.787
4032C	0	0.79	30	0.444	0.000	0.222	0.074	1.780	1.000	0.433	0.222	0.221	0.071	3.735	2.684
4032D	0	0.79	30	0.505	-0.010	0.248	0.086	1.533	0.962	0.535	0.248	0.243	0.097	2.705	1.587
4032E	0	0.79	30	0.478	-0.065	0.206	0.090	1.455	0.759	0.477	0.206	0.208	0.089	2.939	2.172
4032F	0	0.79	30	0.441	0.024	0.233	0.069	1.897	1.119	0.441	0.233	0.229	0.071	3.724	2.627
4032G	0	0.79	30	0.730	-0.193	0.269	0.154	0.856	0.583	0.742	0.269	0.264	0.159	1.654	1.091
4032H	0	0.79	30	0.661	-0.125	0.268	0.131	1.004	0.681	0.632	0.268	0.263	0.123	2.138	1.413
4032I	0	0.79	30	0.441	-0.010	0.215	0.075	1.751	0.953	0.478	0.222	0.222	0.086	3.076	2.212
4032J	0	0.79	30	0.543	-0.039	0.252	0.097	1.359	0.867	0.571	0.252	0.251	0.107	2.467	1.680
4032K	0	0.79	30	0.437	0.011	0.224	0.071	1.857	1.053	0.475	0.224	0.219	0.085	3.087	2.212
4032L	0	0.79	30	0.487	-0.035	0.226	0.087	1.511	0.865	0.521	0.226	0.229	0.097	2.708	1.933
4032M	0	0.79	30	0.400	0.029	0.215	0.062	2.132	1.161	0.438	0.214	0.214	0.075	3.524	2.568
4032N	0	0.79	30	0.712	-0.141	0.285	0.142	0.926	0.668	0.773	0.285	0.285	0.162	1.621	1.037
4032O	0	0.79	30	0.547	-0.029	0.259	0.096	1.372	0.899	0.585	0.260	0.265	0.107	2.467	1.654

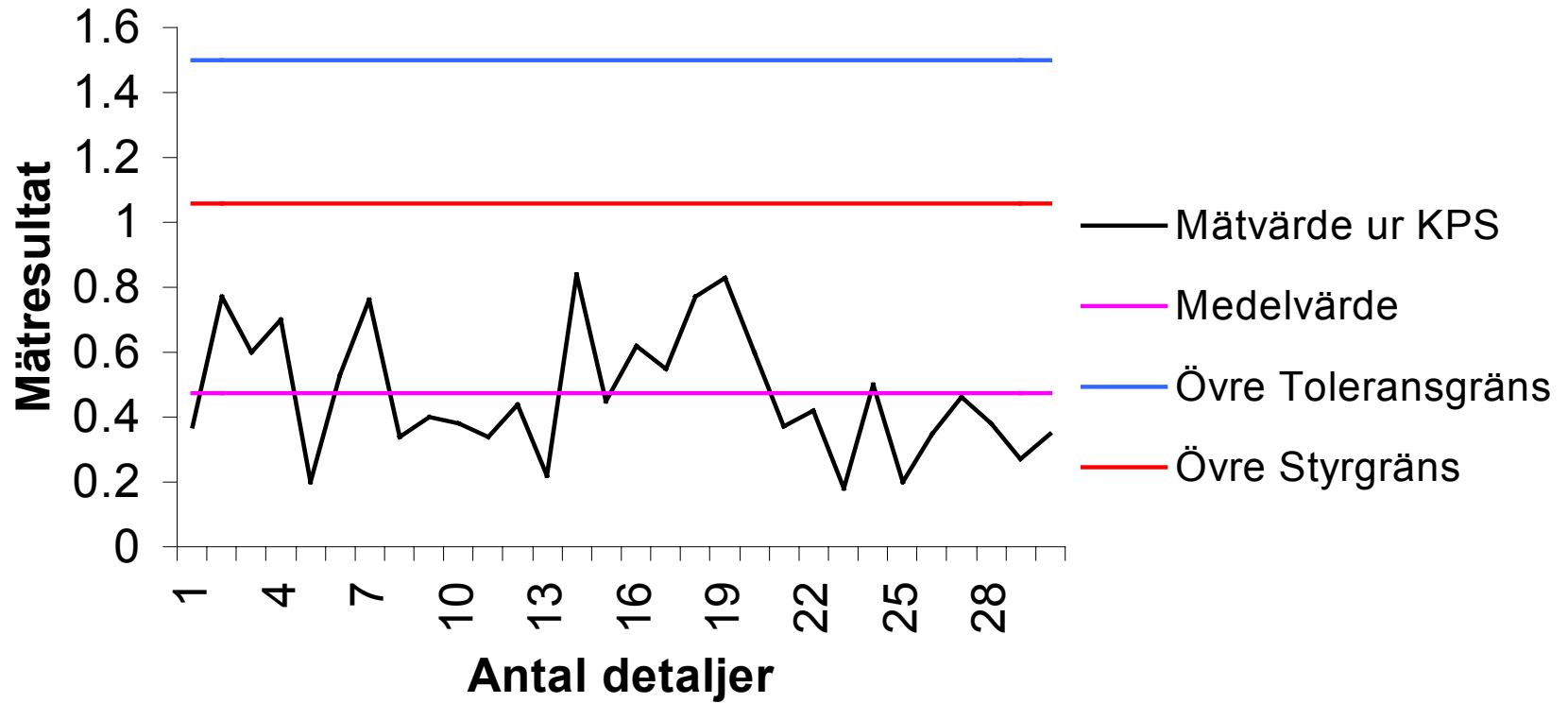
### Kravnr 4032A



*Bilaga 4 Rakhetsanalys Konkav sida*

Krav Nr.	Mått Nom	Tolerans	Antal värden	KPS-Värden						Nya beräkningar					
				ÖSG	USG	Rullande medelv.	Std	Cp	Cpk	ÖSG	Standard medelv.	Rullande medelv.	Std	Cp	Cpö
4033A	0	1.5	30	0.944	-0.010	0.467	0.159	1.573	0.979	1.059	0.464	0.454	0.184	2.717	1.877
4033B	0	1.5	30	0.836	0.062	0.449	0.129	1.938	1.160	0.932	0.449	0.452	0.160	3.122	2.187
4033C	0	1.5	30	0.946	0.148	0.547	0.133	1.880	1.371	0.967	0.547	0.543	0.141	3.539	2.248
4033D	0	1.5	30	1.000	0.117	0.559	0.147	1.700	1.267	1.116	0.557	0.555	0.187	2.676	1.682
4033E	0	1.5	30	0.995	0.173	0.584	0.137	1.825	1.421	1.037	0.584	0.587	0.150	3.330	2.034
4033F	0	1.5	30	0.959	0.214	0.586	0.124	2.014	1.574	0.971	0.599	0.598	0.124	5.364	3.757
4033G	0	1.5	30	1.120	0.142	0.631	0.163	1.534	1.291	1.127	0.615	0.608	0.173	3.854	2.669
4033H	0	1.5	30	1.000	0.080	0.540	0.153	1.632	1.175	0.977	0.526	0.525	0.151	4.427	3.262
4033I	0	1.5	30	0.966	0.156	0.561	0.135	1.850	1.384	0.945	0.548	0.545	0.133	4.996	3.627
4033J	0	1.5	30	0.995	0.127	0.561	0.145	1.729	1.293	0.949	0.559	0.559	0.130	5.119	3.688
4033K	0	1.5	30	0.920	0.230	0.575	0.100	2.509	1.923	0.897	0.575	0.576	0.107	6.224	4.436
4033L	0	1.5	30	0.994	0.155	0.575	0.140	1.789	1.372	0.913	0.523	0.521	0.131	5.095	3.763
4033M	0	1.5	30	1.054	0.140	0.597	0.152	1.642	1.307	1.161	0.594	0.598	0.188	3.552	2.497
4033N	0	1.5	30	1.284	0.168	0.726	0.186	1.345	1.302	1.340	0.726	0.724	0.205	2.436	1.257
4033O	0	1.5	30	1.124	0.106	0.615	0.170	1.474	1.208	1.242	0.618	0.614	0.210	2.385	1.403

### Kravnr 4033A



Bilaga 6 Profilkravsanalys

Krav Nr.	Mått Nom.	Tolerans	Antal värden	KPS-värden						Nya värden					
				ÖSG	USG	Rullande medelv.	Std	Cp	Cpk	ÖSG	Standard medelv.	Rullande medelv.	Std	Cp	Cpö
88002	0	2.00	30	2.170	0.403	1.287	0.294	1.132	0.807	2.123	1.287	1.284	0.280	2.383	0.850
88005	0	2.00	30	1.993	0.602	1.297	0.232	1.439	1.011	2.000	1.297	1.297	0.234	2.846	1.000
88008	0	2.00	30	1.869	0.710	1.290	0.193	1.725	1.225	1.953	1.290	1.280	0.224	2.971	1.055
88011	0	2.00	30	2.299	0.795	1.547	0.251	1.330	0.602	2.278	1.534	1.529	0.250	2.671	0.622
88014	0	2.00	30	2.191	0.740	1.465	0.242	1.379	0.738	2.153	1.465	1.459	0.231	2.883	0.771
88017	0	2.00	30	2.360	0.766	1.563	0.266	1.255	0.548	2.378	1.563	1.559	0.273	2.440	0.533
88020	0	2.00	30	2.282	0.730	1.501	0.259	1.289	0.637	2.302	1.506	1.504	0.266	2.508	0.620
88023	0	2.00	30	2.044	0.943	1.493	0.183	1.817	0.921	2.168	1.493	1.504	0.222	3.010	0.762
88026	0	2.00	30	2.287	0.339	1.313	0.325	1.028	0.705	2.080	1.295	1.297	0.261	2.552	0.900
88029	0	2.00	30	2.206	0.819	1.513	0.231	1.442	0.702	2.314	1.496	1.489	0.215	3.099	0.781
88032	0	2.00	30	1.959	0.763	1.361	0.199	1.672	1.069	1.894	1.338	1.340	0.185	3.610	1.194
88035	0	2.00	30	1.947	0.916	1.431	0.172	1.940	1.104	2.068	1.431	1.413	0.218	3.052	0.868
88038	0	2.00	30	2.227	0.574	1.401	0.275	1.210	0.725	2.340	1.401	1.395	0.315	2.116	0.634
88041	0	2.00	30	2.404	0.830	1.617	0.262	1.271	0.487	2.315	1.578	1.576	0.246	2.705	0.571
88044	0	2.00	30	2.192	0.874	1.533	0.220	1.517	0.708	2.226	1.515	1.505	0.240	2.775	0.673

### Kravnr 88002

