

Examensarbete

Toleranskostnader vid diskret tillverkning

– Avseende ytor, dimensioner, form och egenskapskrav

Johan Rasmusson

*Avdelningen för Industriell Produktion •
Lunds Tekniska Högskola • Lunds Universitet • 2015*



LUNDS UNIVERSITET

**Toleranskostnader vid diskret tillverkning - Avseende ytor, dimensioner, form och
egenskapskrav**

Johan Rasmusson

*Avdelningen för Industriell Produktion •
Lunds Tekniska Högskola • Lunds universitet • 2015*

Avdelningen för Industriell Produktion,
Lunds Tekniska Högskola, Lunds universitet
Box 118
221 00 LUND

CODEN:LUTMDN/(TMMV-5269)/1-95/2015

Förord

Examensarbetet utfördes under perioden november 2014 t.o.m. juni 2015. Arbetet genomfördes för avdelningen Industriell Produktion LTH vid Lunds Universitet i samarbete med två tillverkningsföretag.

Examensarbete utgör en förstudie till ett större forskningsprojekt, som skall behandla tillverkningskostnader knutna till toleranser avseende ytor, dimensioner och form samt egenskapskrav.

I många industriella fall är kostnaden, för att uppnå förutbestämda toleranser av stor betydelse för produktens slutkostnad och påverkar på så sätt företagets konkurrensmöjlighet. Genom företagssamarbete skall projektet resultera i en beskrivning av företagets syn på problemområdet kring bearbetning. Detta för att nå de mål som är uppsatta kring toleranser och ytkrav.

Jag skulle vilja tacka de anställda på företagen för samarbetet, samt **Jan-Eric Ståhl**, professor vid Lunds universitet för möjligheten att utföra examensarbetet för avdelningen för Industriell Produktion. Vill även tacka **Fredrik Schultheiss**, Bitr. universitetslektor vid avdelningen för Industriell Produktion LTH vid Lunds universitet, för vägledning och hjälp genom examensarbetet.

Lund, Juni 2015

Johan Rasmusson

Abstract

The area of concern is an up to date subject within the manufacturing industry, were it is well known that high tolerance requirements contributes to increased costs and scraps. Improved knowledge regarding the area of concern may be an asset within the market of competition, and will also reduce the costs.

The purpose of the master thesis was to describe the area of concern regarding tolerances and surface requirements. The main concern was to identify the factors related to the process, that the industry consider as being problems during manufacturing. The aim was also to analyse the costs and the costs element specifically related to the tolerances, and finally how the company are working with standard measures.

The result from the study is a general description of the industries concerns regarding tolerances. The description also outlines the many factors that affect the tolerances, and that case studies will be necessary to settle how much a separate factor will affect the tolerance.

It has also shown that the companies lack knowledge about their actual production costs, production elements and that enhanced knowledge regarding the subject will contribute to savings.

The analyse also displayed that the companies use a traditional way of thinking when setting the standard of tolerances. This contributes to unnecessary high demands on the process and also leads to the lack of awareness regarding the expenses for different tolerance intervals.

Keywords:

Industry, Tolerance, Surface requirements, Cost and Manufacturing

Sammanfattning

Toleransproblematiken är ett omtalat ämne inom tillverkningsindustrin, där det är allmänt känt att snäva toleranser medför höga kassationer och kostnader. Konstruktörer och utvecklare använder sig av ett traditionsbaserat tänk vid toleranssättning, då kunskapen kring området är lågt och då kunskapen kring kostnader kopplat till olika toleransintervall saknas. Detta medför att onödigt hårda krav ställs på bearbetningen, och på så sätt ökade kassationer och kostnader för produktionen. Ökad kunskap kring problemområdet kan bidra till stora konkurrensfördelar och kostnadsbesparingar. Syftet med examensarbetet var att kartlägga problemområdet avseende toleranser och ytkrav. Fokus låg på att identifiera faktorer, kopplat till processen, som industrin ansåg sig ha problem med vid tillverkning av detaljerna. Samt även att analysera kostnaderna och kostnadsparametrarna kopplat till toleranser och slutligen hur toleranssättning sker i industrin.

Examensarbetet utfördes i samarbete med två tillverkningsföretag. Metoderna som använts, för att komma fram till resultatet är; intervjuer med konstruktörer, produktionsutvecklare/produktionschefer, kvalitetspersonal och operatörer, samt genom datainsamling. Det insamlade materialet analyserades genom granskning av materialet genom faktorgruppernas indelning och med hjälp av MathCad.

En del av resultatet från studien är en övergripande beskrivning av vad industrin anser att problemen inom toleransområdet är. Beskrivningen talar även om att det är många faktorer som påverkar toleranserna. Det krävs fallstudier med tester, för att avgöra hur stor en enskild faktor påverkar toleranserna.

Resultatet visar även att företagen har generellt dålig insikt i sina faktiska produktionskostnader, produktionsparametrar, och att ökade kunskaper kring detta kan leda till stora besparingar.

Det har även via de genomförda granskningarna visat sig att företagen använder ett traditionstänk vid toleranssättning. Detta medför att onödigt hårda krav ställs på bearbetningen, och att deras insikt i kostnaderna rörande de olika toleransintervallerna är vag.

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund och problembeskrivning.....	1
1.2 Mål.....	1
1.3 Metodik.....	1
2 Teori	4
2.1 Toleranser	4
2.2 Ytor.....	6
2.3 Typer av toleranser	8
2.4 Ytjämnhet och mätning	8
2.4.1 Ytjämnhet	9
2.4.2 Måttkedjor	10
2.4.3 Mätning	10
2.4.4 Referenslängd.....	11
2.4.5 Mätfel	12
2.5 Fördelningskurvor	12
2.6 Bakgrund företag.....	12
2.7 Verktygsmaterial och arbetsmaterial.....	13
2.8 Kvalitetsarbete	14
2.9 Maskinduglighet	15
2.10 Faktorgrupper och kostnader	16
2.11 Problemområde och tolerans- och ytpåverkan	17
3 Material	21
3.1 Företag A	21
3.1.1 Allmän fakta	21
3.1.2 Data	23
3.1.3 Kostnad kopplade till faktorgrupper	23
3.1.4 Kassationsandel och ombearbetningsandel.....	24
3.2 Företag B	24
3.2.1 Allmän fakta	24
3.2.2 Data	27
3.2.3 Kostnader kopplat till faktorgrupper.....	28
3.2.4 Kassationsandel och ombearbetningsandel.....	28
4 Analys	35

4.1 Problemområden kopplat till faktorgrupper	35
4.2 Kostnader kopplat till faktorgrupper	36
4.2.1 Kostnadsanalys Företag A	36
4.2.2 Kostnadsanalys Företag B	46
4.3 Kassationer och stillestånd på grund av toleransproblem	50
4.4 Mätmaskinernas och maskinernas noggrannhet	51
4.5 Toleransbestämmelse	52
5 Resultat	53
5.1 Resultat kopplat till faktorgrupper	53
5.2 Kostnader kopplat till faktorgrupper	53
5.3 Kassationer och stillestånd på grund av toleransproblem	53
5.4 Mätmaskinernas och maskinernas noggrannhet	54
5.5 Toleransbestämmelse	54
6 Diskussion	55
7 Reflektion	57
Referenslista	59
Bilaga A : Fördjupning	61
AA.1 Typer av toleranser	61
AA.2 Ytjämnhet	61
AA.3 Måttkedjor	61
AA.4 Mätning	62
AA.5 Fördelningskurvor	64
A.8 Maskinduglighet	64
Bilaga B : Intervjumall	67
Bilaga C : Sammanställning kostnadsanalys	73
Bilaga D : Företag B datamaterial	77
Bilaga E :Tidsplan	95
Bilaga F : Självvärdering	97

1 Inledning

I kapitel 1 behandlas bakgrund och problembeskrivning, mål och metodiken.

1.1 Bakgrund och problembeskrivning

Föreliggande examensarbete skall utgöra en förstudie till ett större forskningsprojekt, som skall behandla tillverkningskostnader knutna till toleranser avseende ytor, dimensioner och form samt egenskapskrav. I många industriella fall är kostnaden, för att uppnå satta toleranser av stor betydelse för produktens slutkostnad och för företagets konkurrensmöjligheter. Toleranser ansätts ofta baserat på tidigare erfarenheter eller snarare görs valet på samma sätt, som man gjort i tidigare konstruktioner. Detta kan medföra att onödigt hårda krav ställs på bearbetningen, och på så sätt ökade kassationer och kostnader för produktionen. Valet av toleranser är en viktig samverkansfråga mellan konstruktion och produktion både före, under och efter tillverkning.

1.2 Mål

Kartläggning av problemområdet ”toleranskostnader” omfattning och svårighetsgrad baserat på industriella fallstudier.

Arbetet avgränsas till att omfatta:

1. Maskinbearbetade komponenter.
2. Dimensionstoleranser knutna till hårdprocesser omfattas inte.
3. Maskinbearbetningen avgränsas primärt till att omfatta svarvning, fräsning, slipning och hålbearbetningsoperationerna arborning, borrar, upprymning och brotschning samt innerslipning.

Medverkande företag och organisationer ges stor möjlighet att påverka arbetets inriktning och dess prioriteringar.

1.3 Metodik

Delmoment enligt nedan kommer att ingå i arbetet:

1. Successiv framtagning av ett frågeformulär, som kan ligga till grund för sammanställning av generell information om toleranser och toleranskostnader.
2. Identifiering av 1-2 komponenter med svåra toleranskrav per företag.
3. Analys av orsaken till att komponenten är svårbearbetad med avseende på dess toleranser.
4. Analys av sambanden mellan yt- och dimensionstoleranser samt komponentens fysiska storlek och/eller materialtyp.
5. Sammanställning av yt- och dimensionstoleranser med särskilda svårigheter.
6. En inledande koppling och redovisning görs mellan tillverkningsmetod (maskintimkostnad) och möjligt toleranskrav.

Målet med val av komponenter är att få en heltäckande bild över problemområdet avseende små och stora detaljer samt avseende på invändiga och utvändiga mått samt om möjligt materialtypens inflytande.

2 Teori

Teorikapitlet har som syfte att ge läsaren kunskaper om begreppen toleranser och ytor och problemområdet kring detta samt en inblick i företagen och deras problem och arbetssätt.

2.1 Toleranser

Måttsättning och mätning är gamla metoder. Metoderna har förändrats under åren. De har utvecklats ifrån grova måttsystem till att bli standardiserade. Detta har medfört utvecklade mättekniker och system.

Vid tillverkning av en detalj är det omöjligt att uppnå ett exakt mått, och vidare så är det sedan omöjligt att exakt mäta detaljens mått. Detta medför att man måste använda sig av ett system, som talar om måttet och inom vilka gränser som måttet måste befinna sig inom. Detta bidrog till att ett nytt måttsystem utvecklades under 1960 talet. Namnet på detta måttsystem är *Système International d'Unités* och blev en svensk standard 1964, det vill säga SI systemet. För toleransgränserna så har det utvecklats ett system som kallas ISO-toleranssystem, vilket förklaras nedan.^{1 2} För att förstå toleransbegreppet måste en del grundbegrepp till geometriska mått och toleranser förklaras, se tabell 2.1 och för illustration se figur 2.1 och 2.2.

Tabell 2.1 - Förklaring av begrepp.³

Begrepp	Förklaring
Mått	Numeriska värdet av viss längd.
Basmått	Mått till vilket avmått hänföres. Mått från vilket gränsmåtten beräknas.
Nollinje	Grafisk representation av basmåtten.
Verkligt mått	Mått erhållet vid mätning, korrigerat för kända systematiska fel.
Övre gränsmått	Största tillåtna måttet.
Undre gränsmått	Minsta tillåtna måttet.
Avmått	Algebraisk skillnad mellan ett mått och basmåtten (måtten tagna i nämnd ordning).
Övre gränsavmått	Avmått för övre gränsmått.
Undre gränsavmått	Avmått för undre gränsmått.
Toleransvidd	Skillnad mellan övre och undre gränsmått.
Lägesavmått	Avmått som bestäms av toleransläget.
Toleransläge	Toleransområdets läge i förhållande till basmåtten.
Toleransområde	Grafisk representation av toleransvidd och läge i förhållande till nollinjen.
Tolerans	Term som beskriver kombinationen av toleransläge och toleransgrad.
Grundtolerans(IT)	Varje toleransvidd som tillhör ISO-systemet.
Toleransgrad	Grupp av grundtoleranser t.ex. IT7 som representerar samma nogghetsnivå i förhållande till basmåtten.

Man kan ange toleranser i direkta tal, men på grund av att det är obekvämt anges det med en bokstav och en siffra istället. Bokstaven talar om toleransläget. Det vill säga om det är ett övermått eller undergått. Siffran talar om toleransgraden. Det vill säga toleransvidden.

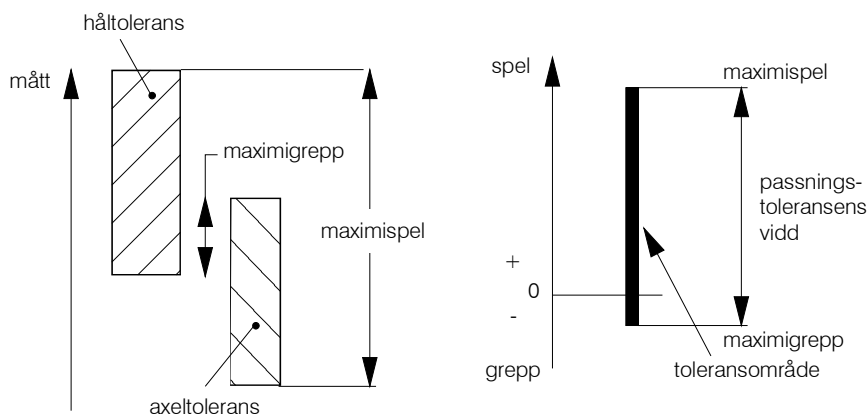
Vid måttsättning enligt ISO-toleranssystemet, används uppgifter om basmått, toleransläge och toleransgrad, t.ex. 25 H7, 25 – Basmått, H – Toleransläge och 7 – Toleransgrad.

¹ Ståhl, *Industriella Tillverkningsystem del 1 - Material och tillverkningsmetoder*, 2012, s. 41

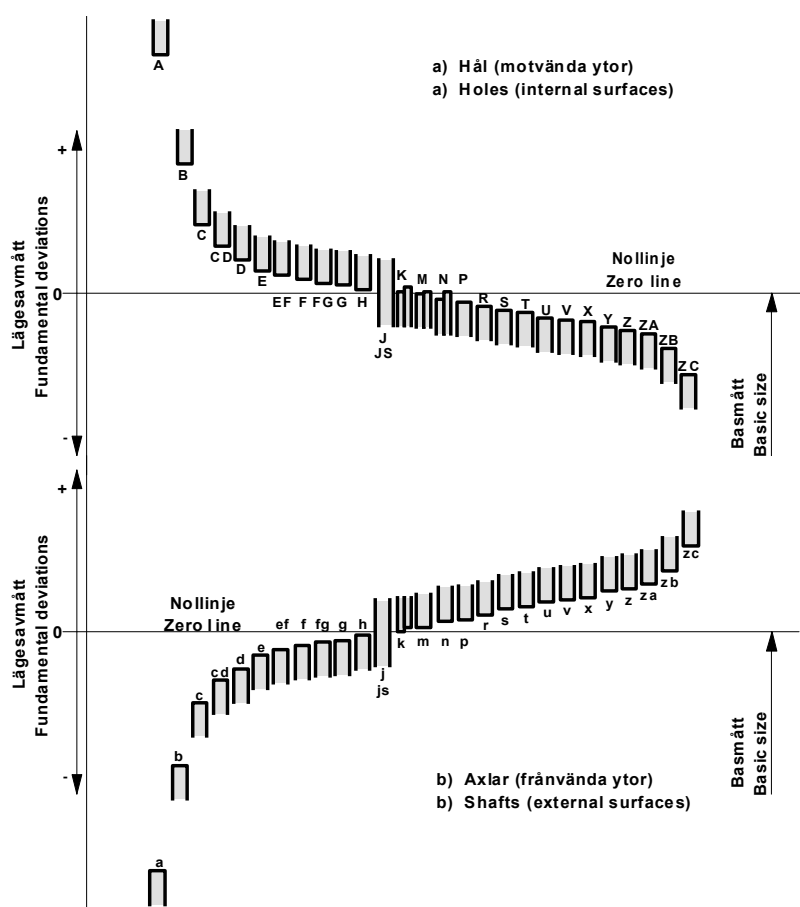
² Nilsson, *Kompendium i Mekanisk Teknologi LTH - Del 3*, 1966, s. 1

³ Ståhl, *Industriella Tillverkningsystem del 1 - Material och tillverkningsmetoder*, 2012, s. 42

Toleranslägets beteckning skiljer sig mellan axlar och hål. Vid beteckning av hål, så används stora bokstäver och för beteckning av axlar små bokstäver.^{4 5 6}



Figur 2.1 - Måttsättning hål och axel⁷



Figur 2.2 - Måttsättning för hål och axlar.⁸

⁴ Ståhl, *Industriella Tillverkningsystem del 1 - Material och tillverkningsmetoder*, 2012, s. 42

⁵ Nilsson, *Kompedium i Mekanisk Teknologi LTH - Del 3*, 1966, s. 1

⁶ Tydén, *Verkstadsteknisk mätteknik*, 70-tal, ss. 17-18

⁷ Ståhl, *Industriella Tillverkningsystem del 1 - Material och tillverkningsmetoder*, 2012, s. 44


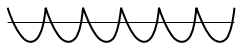
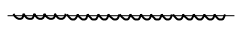
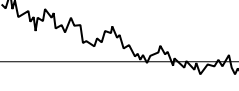
⁸ SIS, SS ISO 286-1

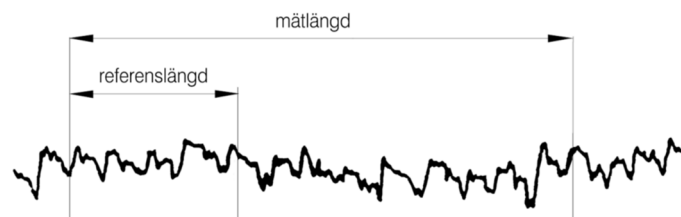
En viktig faktor att tänka på vid toleranssättning är att vid beteckning enligt ISO-systemet, så talar toleranssymbolen inte bara om toleransområdets storlek, utan infattar även de toleranser som mätendon bör ha för att kontrollera den satta toleransen. Vid måttsättningen enligt direkta tal tas inte mätdonets toleranser med.⁹

2.2 Ytor

Vid tal om formfel och ytavvikelser är det viktigt att skilja mellan makrogeometriska ytegenskaper och mikrogeometriska ytegenskaper, se figur 2.3. Makrogeometriska ytegenskaper behandlar avvikelser från rakhet, planhet, cylindricitet och parallellitet, vilket kan sammanfattas till formfel. De mikrogeometriska ytegenskaperna innefattar t.ex. repor och matningsränder. Detta kan sammanfattas som ytavvikelser.

För att skilja mellan felen släpas en mätspets med olika radier över ytan. För de makrogeometriska felen används en mätspets med radien 25 mm och för de mikrogeometriska felen används en mätspets med radien mindre 10 μm .^{10,11}

Avvikelsearten		Principbild	Exempel på avvikelseorsak
Makrogeometriska avvikelser (formavvikelser)	Avvikelse från rakhet, rundhet etc		Fel hos eller felaktig inställning av verktygsmaskin. Utböjning av maskin eller arbetsstycke
	Vågighet		Vibrationer hos verktyg eller maskin
Mikrogeometriska avvikelser (ytavvikelser)	Ytjämnhet		Bortslitning av material ur bearbetningsspår. Verktygets form och matning.
Sammanfattning			



Figur 2.3 - Makrogeometriska och mikrogeometriska fel.¹²

Olika bearbetningsmetoder kommer som förväntat medföra olika ytstrukturer, vilket illustreras i figur 2.4.

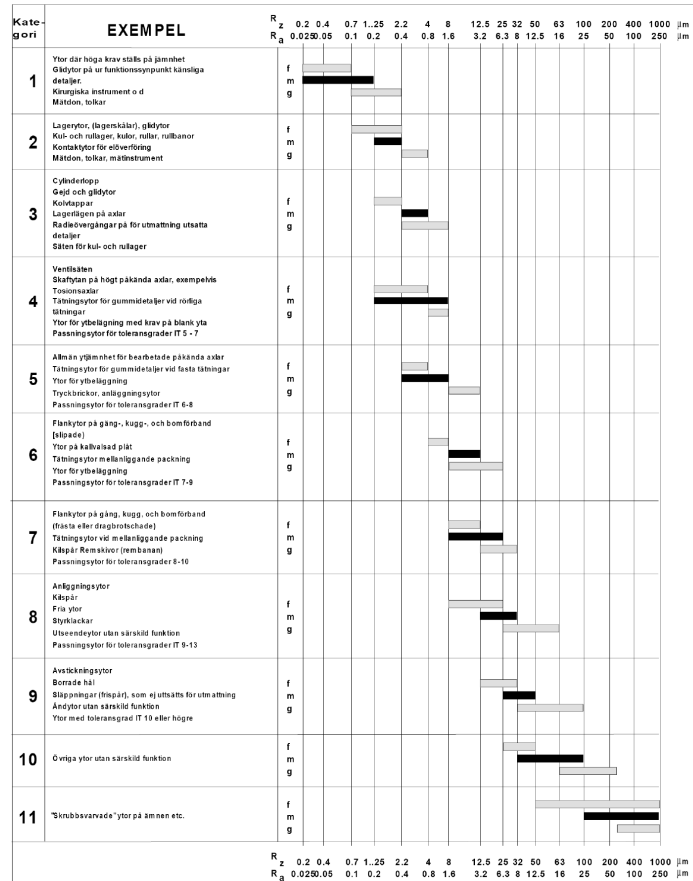
⁹ Nilsson, *Kompendium i Mekanisk Teknologi LTH - Del 3*, 1966, s. 14

¹⁰ Nilsson, *Kompendium i Mekanisk Teknologi LTH - Del 3*, 1966, s. 16

¹¹ Ståhl, *Industriella Tillverkningsystem del 1 - Material och tillverkningsmetoder*, 2012, ss. 54-58

¹² SIS

Process	Ytjämnhetsvärde μm															
	R_z	0.1	0.2	0.4	0.7	1.25	2.2	4	8	12.5	25	50	100	200		
	R_a	0.012	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	25	50		
Läppning																
Hening																
Polering																
Tryckpolering																
Elpolering (elektropolering)																
Trumling (skäggnig)																
Elektrokemisk bearbetning																
Gnistbearbetning																
Slipning																
Elslipning (elektroslipning)																
Driftning																
Brotschnig																
Diamantsvarvning																
svarvning																
Arborming med diamant																
Arborming																
Fräsning																
Börning																
Klippning																
Hylvning																
Sågning																
Strängpressning																
Dragning																
Kalvalsning																
Varmvalsning																
Smidning																
Pressgjutning																
Precisionsgjutning																
Permanent formgjutning																
Sandgjutning																



Figur 2.4 - Ytstruktur för olika bearbetningsmetoder.¹³

¹³SIS SMS 674.

Sedan ovanstående experiment utfördes har utvecklingen gått framåt, vilket kan resultera i att samma bearbetningsmetod kan bidra med en annan ytjämnhet i dagsläget.

2.3 Typer av toleranser

Det finns många olika typer av toleranser, som kan vara aktuella vid bearbetning av en detalj. Toleranser är nödvändiga att uppnå, för att detaljen ska uppnå de egenskaper som önskas från den. I figur 2.5 illustreras en lista över en del toleransbestämda egenskaper.^{14 15}

Element och toleranser		Toleransbestämd egenskap	Symboler
Enskilda element		Rakhet	—
		Planhet	
		Rundhet	
		Cylindricitet	
Enskilda eller samverkande element		Profilform	
		Ytform	
Samverkande element	Riktnings-toleranser	Parallellitet	//
		Vinkelräthet	
		Vinkelriktighet	
	Läges-toleranser	Läges	
		Koncentricitet och koaxialitet	
		Symmetri	
	Kast-toleranser	(Cirkulärt) kast	
		Totalkast	

Figur 2.5 - Olika typer av toleranser.

En övergripande förklaring finns i bilaga A.

2.4 Ytjämnhet och mätning

En detaljs yta påverkar detaljens egenskaper bland annat genom:¹⁶

- Friktion och nötning i kontakt med verktyg.
- Friktion och nötning i samband med smörjning.
- Utseende (estetiska värdet).
- Lämplighet för svetsning, lödning och målning.
- Termisk och elektrisk konduktivitet.

Det är viktigt att skilja mellan detaljens egenskaper vid ytan och dess centrum. Detta då egenskaperna i centrum skiljer sig från ytegenskaperna. Ytkaraktern beror bland annat på materialets sammansättning, bearbetningsmetod och ytbehandling.

Ytkaraktern kan beskrivas genom följande analys av ytan:¹⁷

- Topografi – ytans avvikelser från ett tänkt idealt plan.

¹⁴ Ståhl, *Industriella Tillverkningsystem del 1 - Material och tillverkningsmetoder*, 2012, s. 51

¹⁵ Tydén, *Verkstadsteknisk mätteknik*, 70-tal, s. 16

¹⁶ Ståhl, *Industriella Tillverkningsystem del 1 - Material och tillverkningsmetoder*, 2012, ss. 51-52

¹⁷ Ståhl, *Industriella Tillverkningsystem del 1 - Material och tillverkningsmetoder*, 2012, ss. 51-52

- Kemisk analys – vilka kemiska beståndsdelar som ingår i ytan.
- Struktur – ytans metallografiska karaktär.
- Spänningstillstånd – vilka spänningar som existerar i ytan.

Topografi används, för att beskriva formen på ytan. I teorin borde utvärderingen baseras på en 3D bild, då det är en yta som berörs, men i praktiken så används oftast 2D bilder.

Kemisk analys talar om de kemiska beståndsdelarna i ytan och bero på olika beståndsdelar som t.ex. föroreningar, blandningar och fristående element. De kemiska egenskaperna är beroende av faktorer som t.ex. tid, temperatur och media.

Struktur beskriver hur ytan är uppbyggd av olika lager. Detta beror på kristallernas sammansättning, storlek, form och lagring. Valet av bearbetningsmetod påverkar också strukturen i ytan.

Spänningstillståndet i ytan påverkas av vilken bearbetningsmetod som används. Andra faktorer vid bearbetning, som påverkar spänningstillståndet är bland annat, om skärvätska används eller ej. Hög processtemperatur och deformationer medför oönskade spänningar i ytan efter bearbetning. Spänningstillståndet har betydelse för ytkaraktären och den slutliga detaljens funktion och prestanda.

2.4.1 Ytjämnhet

Vid mätning av ytjämnhet, så är det som tidigare nämnt viktigt att skilja mellan makrogeometriska avvikelser och mikrogeometriska avvikelser.

De vanligaste mätmetoderna för att avgöra ytjämnheten är:^{18 19 20}

- R_a -värdet
- R_z -värdet
- R_{max} -värdet
- Relativa bärigheten K_b

Se bilaga A för ingående beskrivning kring mätmetoderna.

Olika bearbetningsmetoder medför olika ytjämnhet. I tabell 2.2 illustreras R_a -värdet för olika bearbetningsmetoder. Viktigt att tänka på är att det är hämtat från en gammal källa, och att dagens maskiner troligtvis kan producera finare ytor.

Tabell 2.2 - R_a värde för olika bearbetningsmetoder.²¹

Metod	R_a (μm)
Pressgjutning	5 – 50
Sänksmidning	5 – 100
Kallvalsning	0.5 – 5
Grovsvarvning	5 – 16
Finsvarvning	1 – 5
Borrning	5 – 25
Grovslipning	5 – 16
Finslipning	1 – 2
Hening (fin)	0.08 – 0.6

¹⁸ Ståhl, *Industriella Tillverkningsssystem del 1 - Material och tillverkningsmetoder*, 2012, ss. 51-57

¹⁹ Nilsson, *Kompendium i Mekanisk Teknologi LTH - Del 3*, 1966, ss. 20-25

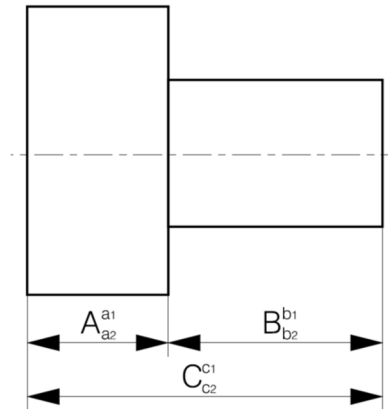
²⁰ Tydén, *Verkstadsteknisk mätteknik*, 70-tal, ss. 39-45

²¹ Tydén, *Verkstadsteknisk mätteknik*, 70-tal, s. 45

2.4.2 Måttkedjor

När en detalj tillverkas eller när flera detaljer sammanfogas, samverkar flera mått och toleranssättningar, se figur 2.6. Måtten och toleranserna blir en lång toleranskedja, vilket måste tas hänsyn till vid produktion, då montering och anpassning av detaljen till den slutliga produkten måste passa. Varje delmått i en och samma riktning kommer påverka toleranserna för övriga mått längs kedjan i samma riktning.^{22,23}

I bilaga A redovisas reglerna rörande beräkning angående måttkedjor.



Figur 2.6 – Måttkedjor.²⁴

2.4.3 Mätning

Vid måttsättning av toleranser och ytavvikelser är det viktigt, att man efter produktionsprocesserna följer upp måttsättningen, så att de uppnåts. För att kunna utföra kontrollerna, används olika mätutrustningar. Några av mätutrustningarna nämns nedan.

Nedanstående är exempel för måttoleranser:^{25 26 27}

- Passbitar
- Toleranstolkar
- Mallar
- Skjutmått
- Mikrometer
- Längdindikatorer
- Mätmaskiner
- Sinuslinjal, vinkelmätare, vattenpass, kollimatorer och vinkelmätmikroskop
- Kontolk
- Teoretisk beräkning

Ovanstående mätmetoder beskrivs i bilaga A.

Nedanstående är exempel för ytavvikelse:²⁸

²² Ståhl, *Industriella Tillverkningsystem del 1 - Material och tillverkningsmetoder*, 2012, ss. 46-48

²³ Tydén, *Verkstadsteknisk mätteknik*, 70-tal, ss. 27-28

²⁴ Ståhl, *Industriella Tillverkningsystem del 1 - Material och tillverkningsmetoder*, 2012, s. 47

²⁵ Ståhl, *Industriella Tillverkningsystem del 1 - Material och tillverkningsmetoder*, 2012, s. 50

²⁶ Tydén, *Verkstadsteknisk mätteknik*, 70-tal, ss. 83-85

²⁷ Taavola, *Ritsteknik 2000 faktabok*, 2009, ss. 111-112

²⁸ Ståhl, *Industriella Tillverkningsystem del 1 - Material och tillverkningsmetoder*, 2012, s. 58

- Människan
- Släpnål
- Optisk mätning
- 3D-bilder

Ovanstående mätmetoder beskrivs i bilaga A.

2.4.4 Referenslängd

Vid kontroll av ytjämnhet mäter kontrollanten över en viss sträcka, för att få ut sitt resultat. Denna sträcka kallas referenslängd eller utvärderingslängd beroende på vad som är inkluderat i sträckan.

- Referenslängd – Är den sträcka som används för att fastställa de olika parametrarnas värden. Sträckan ligger i x-axelns riktning i ytprofilen.
- Utvärderingslängd – Är referenslängden exklusive mätspetsens start- och stoppsträcka. Denna sträcka är ca 5 gånger längre än referenssträckan.

Detta används till att skilja mellan mikro- och makrofel. Sträckan beror på vilken bearbetningsmetod som valts samt vilken ytans slutliga funktion är. Om ingen angivelse på ritningen finns angående referenslängden, så gäller mätsträckan 0.8 mm.^{29 30} I figur 2.7 visas referenslängden för olika bearbetningsmetoder.

Bearbetningsmetod	Beteckning	Referenslängd eller gränsvåglängd (cut-off)					
		0.08	0.25	0.4	2.5	8	25
Läppning	lä	★	★	★			
Hening, bryning	he, bry	★	★	★			
Slippolering	posl	★	★	★			
Tryckpolering	potr			★	★		
Elektropolering	poel			★	★		
Gnistbearbetning	gni		★	★			
Slipning	sl		★	★	★		
Driftning	dri			★	★		
Brotschning	br			★	★		
Diamantsvarvning	s		★	★			
Svarvning				★	★		
Arbormning med diamant			★	★			
Arbormning	a			★	★	★	
Fräsning	f			★	★	★	
Klippning	ki			★	★	★	
Hyvling	h				★	★	★
Strängpressning	prstr			★	★		
Dragning	dr			★	★		
Kallvalsning	vka		★	★			
Varmvalsning	vv			★	★		

Figur 2.7 - Referenslängder för olika bearbetningsmetoder.³¹

²⁹ Ståhl, *Industriella Tillverkningsystem del 1 - Material och tillverkningsmetoder*, 2012, ss. 56-57

³⁰ Taavola, *Ritsteknik 2000 faktabok*, 2009, s. 147

³¹ Ståhl, *Industriella Tillverkningsystem del 1 - Material och tillverkningsmetoder*, 2012, s. 57

2.4.5 Mätfel

Vid kontroll av den bearbetade ytans toleranser och ytfinhet, så är det viktigt att hänsyn tas till de andra faktorer som påverkar mätningen. Om ingen hänsyn tas blir mätresultatet fel. En del av de faktorerna är:

- Mätdonets tillverkningstolerans
- Förslitningen
- Elastisk deformation hos mätdonet.
- Temperaturfel

Det finns olika typer av fel, så kallade, systematiska och slumpartade fel. De systematiska felen kan oftast korrigeras, men de slumpartade felen går inte att förebygga. T.ex. genom att kalibrera verktyget rätt och helst mäta vid den standardiserade temperaturen 20 grader Celsius.^{32 33 34}

2.5 Fördelningskurvor

Vid bearbetning påverkar ett antal olika faktorer det slutliga uppmätta värdet för detaljens mått. Faktorerna kan t.ex. vara uppstart, produktion t.ex. uppspanning, hantering, slitage, verktygsbyte m.m., nedstängning, samt hur man mäter. Detta medför att detaljens mått kommer variera och inte förhålla sig till ett värde. Genom insamling av data kan materialet analyseras genom statistiska fördelningar. Fördelningarna kan vara diskreta- eller kontinuerliga system. Datamaterialet som analyseras i detta arbete innefattar fördelningar, som berör kontinuerliga system. Data kan då anta fria värden inom ett visst intervall. Medan data endast kan anta vissa värden inom diskreta system. Fördelningen eller fördelningarna som anpassas till datamaterialet används sedan, för att bland annat processtyrning, då man vet sina styrgränser. Kontinuerliga system kan beskrivas med sannolikhetsfunktion(frekvensfunktion) och fördelningsfunktion. Sannolikhetsfunktionen och fördelningsfunktionen är beroende av varandra på så sätt att fördelningsfunktionen är lika med summan av sannolikhetsfunktionen.

Sannolikhetsfunktionen beskriver sannolikheten, för att ett visst utfall ska hända, och fördelningsfunktionen används för att utläsa hur stor sannolikheten är för ett utfall för ett visst värde.³⁵ De mest vanligaste fördelningarna är:

- Exponentialfördelning
- Weibullfördelning
- Gammafördelning
- Normalfördelning.

Se bilaga A för beskrivning av fördelningskurvorna.

2.6 Bakgrund företag

Examensarbetet har utförts i samarbete med två tillverkande företag. I rapporten kommer företagen benämnas Företag A och Företag B.

Företagen som är berörda i arbetet är två internationella tillverkande företag. Företagen skiljer sig åt genom, att det ena företaget är ett högvolum tillverkande företag med standard produkter, och det andra är ett lågvolum med mer specifika produkter.

³² Ståhl, *Industriella Tillverkningssystem del 1 - Material och tillverkningsmetoder*, 2012, s. 49

³³ Tydén, *Verkstadsteknisk mätteknik*, 70-tal, s. 63

³⁴ Nilsson, *Kompendium i Mekanisk Teknologi LTH - Del 3*, 1966, s. 7

³⁵ Ståhl, *Industriella tillverkningssystem Del 2 - Länken mellan teknik och ekonomi*, 2012, s. 213

Företag A har huvudkontor i Stockholm. De har en omsättning på 87 miljarder SEK och det totala antalet anställda i koncernen uppgår till 47 000.³⁶

Den del av Företag B:s koncern, som berörs har en omsättning på 105 MSEK och 15 460 anställda.³⁷

2.7 Verktygsmaterial och arbetsmaterial

Det vanligaste arbetsmaterialet hos Företag A är manganstål, vilket bidrar med bra produkttegenskaper, men kan medför besvärligheter i produktionen. Manganstål är ett stål, som är legerat med mangan och kol. Legeringsämnen ligger vanligtvis kring 12-14 % för mangan och för kol ca 1 %. Manganstålets egenskaper är hög hårdhet, duktilt, segt och har högt motstånd mot nötning och förslitning. Detta medför att det är ett bra material till en produkt, där arbetsvillkoren inte är så gynnsamma, utan är nötande och där materialet får utstå hårda slag och tryck. Manganstålet blir deformationshärdat vid bearbetning och slag. Detta är en egenskap som har för- och nackdelar.³⁸

Denna egenskap medför att produkten får en hård yta, men med en mjukare kärna. Hårdheten i ytan är en fördel vid användning i t.ex. krossning, där detaljerna verkar i tuffa förhållanden. Nackdelen med deformationshärdningen är att vid bearbetning har ytan härdnat efter första bearbetningen. Detta medför att man vill bearbeta materialet så få gånger som möjligt. För att klara av att bearbeta manganstålet, så krävs det hårda verktygsskär, som inte bryts ner eller deformeras under bearbetningen. Företag A använder CBN-skär vid tillverkning.

cBN (cubic Born Nitride) verktygsskär är ett av de hårdaste materialen. Det behåller sin hårdhet vid ökade temperaturer, och har bra motstånd mot reaktion med järn. Detta medför att verktygsmaterialet lämpar sig för hårda och nötande material som t.ex. manganstål. Verktygsskären tillverkas genom en sintringprocess vid hög temperatur och tryck, och det finns inte i någon form i naturen. En annan typ av cBN skär är PcBN skär, som står för polycrystalline cubic born nitride. Det tillverkas även genom en syntesprocess vid höga temperaturer och tryck. PcBNs karakteriseras av att det är ett hårt material med högt motstånd mot plastisk deformation och nötning. Materialet har bra värmeledningsförmåga. Vissa typer av PcBN skär har utvecklats, för att inte reagera med ferritiska metaller.³⁹

Det material som Volvo använder vid tillverkning av vevaxlarna är låglegerat stål. Detta innebär att kolhalten ligger mellan 0.3-0.5 % kol. Materialsammansättningen för vevaxeln består till huvudsak av kol, kisel, mangan, svavel, krom och kväve. Det kan även förekomma fosfor, vanadin, nickel, molybden, aluminium, titan och koppar. Materialet är härdat och har en perlit-ferritisk struktur. Materialstrukturen innebär att materialet har en förbättrad bearbetningsbarhet jämfört med enfasigt material. Anledningen till detta är att det blir bättre spånbrytning. I låglegerat stål är det kolhalten, som avgör materialets bearbetningsbarhet. Kolhalten påverkar processen genom att balansera den vidhäftande förmågan med den nötande förmågan.

Det som Företag B använder för att bearbeta sina vevaxlar är till största del hårdmetallverktyg och till viss del snabbstål. Hårdmetall består av wolframkarbid, som är sammanbundet med kobolt eller nickel. Blandningen för verktygssammansättningen är ca 80-90 volym procent hårda partiklar och resten bindemedel. För att öka hårdheten och nötbeständigheten kan kubiska karbider blandas i. Hårdmetall karakteriseras av att det har högt slitmotstånd, hög hårdhet och styrka. Hårdmetall brukar tillverkas genom en sintringprocess.

³⁶ Retriver, Business, 2015

³⁷ Retriver, Business, 2015

³⁸ Manganal, *Manganese Steel Frequency Asked Questions (FAQ)*, u.å

³⁹ Seco & Ståhl, *Metal Cutting Theories and models*, 2012, ss. 494-496

Egenskaperna hos hårdmetall kan ändras genom sammansättningen av bulk materialet och kornstorleken.⁴⁰

- Ökning av bindemedel (Co/Ni) medför mer seghet.
- Hårdhet och nötbeständighet kan ökas genom att öka andelen hårda partiklar.
- Ökning av kornstorlek medför sänkt macro hårdheten, samtidigt ökar segheten.
- Ökning av kubiska nitrider t.ex. titaniumkarbid, TiC resulterar i ökad hårdhet och nötbeständighet, men minskar den termiska ledningsförmågan.
- Tillverknings sättet påverkar också egenskaperna.

Snabbstål består av hårda karbidpartiklar i en martensitisk struktur. Karbidpartiklarna ger snabbstålets dess slitstyrka och matrisen dess seghet, hårdhet och varmhårdhet. Snabbstålets största begränsning är att de inte klarar temperaturer högre än 550 grader Celsius. Högre temperaturer än detta bidrar till att verktyget blir mjukt och kan leda till verktygsbrott.

Egenskaperna hos snabbstål kan ändras genom sammansättningen av bulk material

- En hög kolhalt medför hög värme hårdhet, men en minskad seghet.
- En inblandning av vanadin karbider VC medför ökad slitstyrka, utan att sänka segheten.
- Kobolt kan användas för att öka värme hårdheten.

Snabbstålet kan tillverkas genom olika bearbetningsprocesser Dessa kan vara genom gjutning eller genom pulvversteknik.⁴¹

Företag B använder beläggningar på sina skär. Exempel på beläggningar kan vara titankarbid, TiC eller aluminiumoxid, Al₂O₃. Beläggningar används för att öka nötningsbeständigheten för skäreggar. De vanligaste beläggningarna består av keramer, men beläggningar av diamant och diamantliknande substanser förekommer också. Keramerna som används, innehåller oxider, nitrider och karbider. Typiska karaktärsdrag för keramer är att de är stabila vid höga temperaturer, kemiskt inerta (icke reaktiva), extremt hårda och spröda. Beläggningen är 1-20 µm beroende på applikation. Det finns olika metoder för beläggning av skär. Den ena är PVD-teknik (Physical Vapor Deposition) och används för tunn beläggning, 1-5 µm. Den andra tekniken är CVD-teknik (Chemical Vapor Deposition) och används för tjockare beläggningar, 4-20 µm. En beläggning byggs oftast upp av flera lager av material, som skiljer sig i karakteristik. En typisk CVD beläggning har ett lägre lager av Ti(C, N) täckt av ett lager Al₂O₃. Detta möjliggör att Ti(C, N):s höga nötningsbeständighet kan kombineras med Al₂O₃:s positiva hög-temperatur tålighet. PVD-tekniken ger en större möjlighet att variera kompositionen av beläggningsmaterial. De mest vanliga: Ti, Al, Cr, Si, N, O och C. Vid CVD är Ti(C, N), TiN och Al₂O₃ vanligast.⁴²

2.8 Kvalitetsarbete

För att företagen ska uppnå de uppsatta toleranserna för de slutliga detaljerna krävs det att företaget ständigt jobbar med sitt kvalitetstänk. Detta kan även kallas kvalitetssäkring och syftar till att genom kontinuerligt arbete skapa förutsättningar, så att produkten uppnår de satta kvalitetskraven. Kvalitet är ett begrepp som innefattar ett brett område, vilket medför att de är ett komplext begrepp. Kvalitet kan t.ex. omfatta funktionalitet, utseende, pålitlighet, hållbarhet, service och underhåll och kontakt.⁴³

Kvalitet är ett område, som berör många delar av företaget och kräver därmed, för att uppnå de uppsatta målen, att det finns ett gemensamt engagemang hos de anställda i företaget, och att varje enskild anställd känner ett personligt ansvar för kvaliteten. Vilket läsaren kan förstå krävs det olika sorters kvalitetsarbete för de olika områdena inom kvalitetsbegreppet. Det kvalitetsarbetet, som berörs här är

⁴⁰ Seco & Ståhl, *Metal Cutting Theories and models*, 2012, ss. 483-491

⁴¹ Seco & Ståhl, *Metal Cutting Theories and models*, 2012, ss. 479-482

⁴² Seco & Ståhl, *Metal Cutting Theories and models*, 2012, ss. 497-501

⁴³ Slack, Chambers, & Johnston, (2007) se Bodecker, *Kvalitetssäkring i produktion*, 2011, ss. 26-27

det som berör produktens kvalitet. Att rätt kvalitet för varje detalj uppnås är inte bara viktig, för att den slutliga produkten ska fungera på rätt sätt, utan även för att uppnå hög kundnöjdhet. Detta kan leda till ökad lönsamhet, konkurrenskraft och produktivitet.⁴⁴

Vid mätning av kvalitetsdimensionerna i detta fall toleranserna på produkten, så krävs det att kontrollanten har en kvalitetsstandard att mäta mot. Detta kan vara ISO-toleranssystemet eller ett R_a -värde och krävs för att avgöra om kvaliteten uppfylls. En viktig del i denna kvalitetsprocess är när och hur ofta kontrollanten ska kontrollera detaljerna. Mätningarna kan ske innan, under eller efter processen. Om mätningen sker under processen bör företaget även tänka på om mätningen ska ske innan en kostsam process, efter en process som bidrar med stort felutfall eller innan en serie av processer, där det medför svårigheter att kontrollera kvaliteten. Företagens val av mätposition i tillverkningslinjen kan påverka felutfallet och kassationskostnaderna, vilket medför att det är ett viktig strategiskt område.⁴⁵

Företag A och Företag B är bland annat certifierade enligt ISO 9001 och ISO 14001.^{46 47 48}

2.9 Maskinduglighet

För att kontrollera att företagets maskiner klarar av att producera detaljer, som ligger innanför toleransgränserna används två index maskinduglighet, C_m och korrigerad maskinduglighet, C_{mk} . Denna mätning används för att styra processen, vilket kallas SPS, Statistisk Process Styrning och bygger på att företagen reglerar processen efter vissa styrgränser. Styrgränserna brukar befinna sig med ett avstånd på tre sigma från den aktuella processens värde. Processen antas vara normalfördelad.⁴⁹ Maskindugligheten beskriver hur många gånger maskinens spridning får plats innanför toleransgränserna. Maskindugligheten talar inte om hur den förhåller sig till toleransgränserna. Korrigerad maskinduglighet beskriver hur bra maskindugligheten är placerad i förhållande till toleransgränserna. Figur 2.8 illustrerar betydelsen av maskinduglighet, C_m och korrigerad maskinduglighet, C_{mk} .⁵⁰

Ett exempel för att tydliggöra begreppen. Ett större C_m är önskvärt, detta innebär att det är en bättre maskin d.v.s. att man får plats med fler av maskinens spridningar innanför gränsvärdena. En maskin med maskinduglighet 3 är bättre än en med 1.5, i fallet med C_m lika med 3 så får maskinens spridning plats 3 gånger inom toleransvidden, medan i fallet C_m lika med 1.5 så får maskinens spridning endast plats 1.5 gånger. När det gäller C_{mk} , ska detta värdet vara stort, vilket innebär att maskinens spridning är väl centrerad och har liten spridning i förhållande till gränserna. Om C_m är lika stort som C_{mk} , så är maskinen väl centrerad vilket betyder att den producerar detaljer där toleranserna ligger i mitten av toleransvidden.

⁴⁴ Bodecker, *Kvalitetssäkring i produktion*, 2011, ss. 17-18

⁴⁵ Bodecker, *Kvalitetssäkring i produktion*, 2011, ss. 26-27

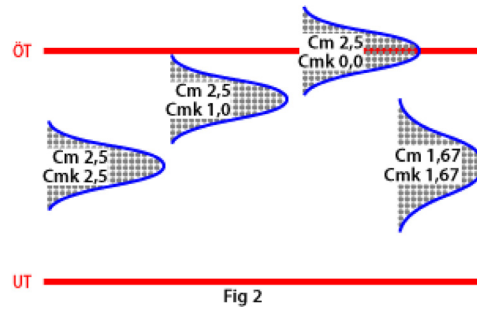
⁴⁶ Sandvik, 2011

⁴⁷ Volvo, 2014

⁴⁸ SIS, 2013

⁴⁹ Gustafsson et al., *Statistisk Processtyrning - Analys och styrning av SPS*, 2004

⁵⁰ Rektron, 2014



Figur 2.8 – Maskinduglighet.⁵¹

C_m och C_{mk} är mätvärden, som talar om hur bra maskinen är under inkörning av en ny maskin. Vid uppmätning av data krävs det att följande inte ändras; matningar, byter verktyg eller material, byter maskinoperatör, mätmetod eller gör avbrott m.m.⁵² Vid denna typ av test använder Företag B ett riktvärde på 1.67 för C_{mk} . Under verklig tillverkning, då ovanstående faktorer varierar och då uppmätningarna sker under längre tidsperioder och över större serier av detaljer gäller istället processduglighet, C_p och korrigerad processduglighet, C_{pk} . För övrigt har begreppen samma betydelse som de för maskinduglighet. Vid denna typ av test, använder Företag B ett riktvärde på 1.33 för C_{pk} .

För beräkning av C_p och C_{pka} se bilaga A.

2.10 Faktorgrupper och kostnader

Som det nämnts ovan krävs det att de uppsatta toleranserna uppnås, för att uppnå rätt kvalitet. Det finns ett antal faktorer som påverkar toleranserna, vilket kommer beröras i projektet. Dessa faktorer kan t.ex. vara uppspänningar, verktyg, hantering, ämnesegenskaper m.m. Den gemensamma faktorn hos faktorerna är att de påverkar produktionen genom tillverkningsmetodernas produktionssäkerhet och resultatparametrar d.v.s. kvalitet, stillestånd, takt/produktionshastighet och miljö och kretslopp och kan delas in i olika så kallade faktorgrupper. Faktorgrupperna kan delas in i sju grupper, vilket berör alla delar av produktionen och på så sätt de faktorer som påverkar de tillverkade detaljernas toleranser. Faktorgrupperna är:⁵³

- Verktyg
- Arbetsmaterial och ämne
- Förädlingsprocessen
- Personal och organisation
- Slitage och underhåll
- Speciella processbeteenden
- Kringutrustning.

Denna typ av indelning kommer rapporten baseras på, för att få struktur kring toleransproblemen. Faktorgrupperna kan även användas för att få struktur i kostnadsanalysen för produktionen, se figur 2.9. Detaljkostnadsmodell har tagits fram av Jan-Eric Ståhl, professor vid Lunds Universitet. Kostnaderna för toleransproblem är delvis indirekt inräknat genom bland annat kassation, stillestånd, ställtider, men täcks inte till sin helhet in i modellen, vilket ska analyseras noggrannare. Problemet vid tillverkning av detaljer kopplade till toleransproblem är att det bidrar till högre detaljkostnad. Detta är ett känt fenomen att snävare toleransintervall bidrar med högre kostnad.

⁵¹ Statistiskprocessstyrning, 2014

⁵² Statistiskprocessstyrning, 2014


⁵³ Ståhl, *Industriella tillverkningsystem Del 2 - Länken mellan teknik och ekonomi*, 2012, ss. 162-189

$$\begin{aligned}
k_i = & \frac{k_A}{N_0} \left[\frac{1}{n_{pA}} \right]_a + \frac{k_B}{N_0} \left[\frac{N_0}{1 - q_{Qi}} \right]_b + \frac{\kappa_C k_{CP}}{60 N_0} \left[\frac{x_{pi} t_{0i} N_0}{1 - q_{Qi}} \right]_{c1} + \\
& \frac{\kappa_C k_{CS}}{60 N_0} \left[\frac{x_{pi} t_{0i} N_0}{(1 - q_{Qi})} \cdot \frac{q_{Si}}{(1 - q_{Si})} + x_{sui} T_{sui} + \frac{1 - U_{RB}}{U_{RB}} T_{Pb} \right]_{c2} + \\
& \frac{k_D}{60 N_0} \left[\frac{x_{pi} t_{0i} N_0}{(1 - q_{Qi})} \cdot \left[1 + \frac{q_{Si}}{(1 - q_{Si})} \right] + x_{sui} T_{sui} + \frac{1 - U_{RB}}{U_{RB}} T_{Pb} \right]_d + \\
& \frac{1}{N_0} [K_{AUH} + K_{CUH} + K_{GUH}]_e + \frac{1}{N_0} [K_{HL}]_g
\end{aligned}$$

Verktøyskostnad, a
Materialkostnad, b
Produktionskostnad, c1

Stilleståndskostnader, c2
Lönekostnader, d

Underhållskostnader, e
Hantering och lagerkostnader, g



Figur 2.9 – Detaljkostnadsekvation.⁵⁴

2.11 Problemområde och tolerans- och ytpåverkan

Problemet som uppstår vid tillverkning av en detalj är att detaljen aldrig uppnår den måttsättning som är förutbestämd enligt ritningen. Det är detta som medför att toleranssättning krävs, för att tala om inom vilka gränser detaljens mått får variera. Genom en analys ska problemet med variationer i detaljernas mått samt hur måttsättning sker klargöras. Toleranssättningen och tillverkningen är två kostsamma processer och genom ökade kunskaper kring området kan företagen optimera sin tillverkning och dra ner på kostnaderna. Det finns många faktorer som påverkar detaljernas toleranser. Genom att följa faktorgruppernas indelning, kan problemområdet överskådligt beskrivas.

Verktyg

En tolkning visar att verktygsslitage påverkar toleranserna och på så sätt antalet kasserade detaljer.⁵⁵ Det har även framkommit att ytfiuheten minskar då verktygsförslitningen ökar, och då skärhastigheten ökar.⁵⁶

En studie har resulterat i en slutsats att noggrannheten på skärverktygets nosprofilgeometri påverkar ytfiuheten på den slutliga detaljen.⁵⁷

Genom en studie har det kommit fram att verktygets nosradie innehar toleranser, vilket påverkar ytfiuheten på detaljen.⁵⁸

En undersökning visar att verktygets nosprofiltoleranser påverkar ytfiuheten på så sätt att ytfiuheten kan variera 41.8 % för R_t , 29.3 % för R_a , och 24.2 % för R_q .⁵⁹

⁵⁴ Ståhl, *Industriella tillverkningsystem Del 2 - Länken mellan teknik och ekonomi*, 2012, s. 213

⁵⁵ Fraticelli & Lehtihet, *Tool-wear effect compensation under sequential tolerance control*, 1999, ss. 649

⁵⁶ Kılıçkap E, et al. (2005) se Sung & Ratnam, *Effect of tool nose profile tolerance on surface roughness in finish turning*, 2014, s.2085

⁵⁷ Astakhov VP, Davim JP (2008) och Shahabi HH, Ratnam MM (2009) se Sung & Ratnam, *Effect of tool nose profile tolerance on surface roughness in finish turning*, 2014, s.2083

⁵⁸ Chian GJ, Ratnam MM (2011) se Sung & Ratnam, *Effect of tool nose profile tolerance on surface roughness in finish turning*, 2014, s.2084

⁵⁹ Sung & Ratnam, *Effect of tool nose profile tolerance on surface roughness in finish turning*, 2014, s.2097

Ytterligare en undersökning har kommit fram till att verktygsgeometrin påverkar ytfinheten. De geometrier som innefattades i studien var spånvinkel, eggvinkel och nosradie. Resultatet från studien är att nosradien påverkar ytfinheten mest. Större nosradie medför grövre ytor.⁶⁰

En studie har utförts kring hur matning, skärhastighet, spånvinkel och nosradien påverkar ytfinheten. Resultatet från studien blev att matningen är den faktor som påverkar ytfinheten mest följt av nosradien, skärhastighet och sist spånvinkeln.⁶¹

Det har utförts en undersökning kring hur matning, skärhastighet, arbetsmaterialets hårdhet och skärverktygets kantgeometri påverkar ytfinheten. Resultatet blev att ytfinheten blev bättre när arbetsmaterialets hårdhet minskade, samt när skärverktyget hade finslipade kanter.⁶²

Arbetsmaterial och ämne

Val av arbetsmaterial har stor påverkan på bearbetningsförmågan i processen och på så vis slutresultatet d.v.s. toleranserna och ytfinheten på detaljen. Materialegenskaper som kan påverka bearbetningen kan vara arbetsmaterialets förmågan att deformationshärdas, kleta, leda värme och variationer i hårdhet, skärmotstånd, porer, variationer i materialstrukturen och fördelning och storleken av olika faser i materialet.⁶³

Process

Vibrationer kan vara ett problem vid bearbetning och kan påverka ytfinheten och medföra ökat verktygsslitage. Vibrationerna beror på att skärprocessen kommer i resonans med omgivningen d.v.s. arbetsmaterialet, verktygshållare och verktyget.^{64 65}

En tolkning visar att fixturernas styvhet har en påverkan på toleranserna och bearbetningens noggrannhet.⁶⁶

Resultatet från en studie visar att styvheten i varje del i maskinen samt styvheten mellan komponenterna har en stor påverkan på den totala styvheten för hela systemet.⁶⁷

En låg styvhet medför en bearbetning, där utfallet av detaljer har låg kvalitet. Låg kvalitet innebär i detta fall deformerade detaljer, detaljer med låg passform och dålig geometrisk form.⁶⁸

Smörjning och kylning i samband med bearbetning kan vara ett problem, som kan påverka flera faktorer. Problemen kan bland annat vara, att vid dålig kylning ökad processtemperatur, vilket bidrar

⁶⁰ Chian GJ, Ratnam MM (2011) se Sung & Ratnam, *Effect of tool nose profile tolerance on surface roughness in finish turning*, 2014, s.2084

⁶¹ Singh D, Rao PV (2007) se Sung & Ratnam, *Effect of tool nose profile tolerance on surface roughness in finish turning*, 2014, s.2084

⁶² Ozel T, Hsu TK, Zeren E (2005) se Sung & Ratnam, *Effect of tool nose profile tolerance on surface roughness in finish turning*, 2014, s.2084

⁶³ Seco & Ståhl, *Metal Cutting Theories and models*, 2012, ss. 389-445

⁶⁴ Seco & Ståhl, *Metal Cutting Theories and models*, 2012, ss. 320-321

⁶⁵ Österlind, *An Analysis of Machining System Capability and Its Link with Machined Component Quality*, 2013 ss.47-48

⁶⁶ Bansal, Malik, & Reddy, *Modular fixture planning for minimum three-dimensional tolerances using a neutral part data exchange format*, 2005, ss. 1455-1456

⁶⁷ E. I. Rivin (1999) se Österlind, *An Analysis of Machining System Capability and Its Link with Machined Component Quality*, 2013 s. 11

⁶⁸ Österlind, *An Analysis of Machining System Capability and Its Link with Machined Component Quality*, 2013 s. 11

till ökat verktygsslitage. Tidigare definierat som ett problem. Smörjning och kylning kan även innebära problem för den slutliga ytkvalitén.⁶⁹

Smörjning påverkar inte bara toleranserna och ytkvalitén, utan påverkar även maskintimkostnaderna, vilket i sin tur bidrar till högre detaljkostnaderna.⁷⁰

Personal och organisation

Den mänskliga faktorn påverkar processen på så sätt att operatörerna vid dagens system kan bli passiva och på så sätt inte reagera på fel eller så kan de ta fel beslut och på så sätt störa processen.⁷¹

Speciella processbeteenden

Löseggsbildning kan vara ett stort problem vid bearbetning, då det kan kleta fast sig på arbetsmaterialet och på så vis försämra ytfinheten.⁷²

Kringutrustning

Val av mätmaskin för mätning av toleranser och ytor kan också påverka mätresultatet. Kvalitetsprocessen är en process, där det kan uppstå oväntade kostnader. Det är kostsamt att kassera detaljer, och det finns risk att godkända detaljer kasseras. Valet av mätmaskinernas noggrannhet och därmed antalet felkasserade detaljer är kopplat till maskinernas kostnader. En dyrare maskin har högre precision än en som kostar mindre. En annan faktor som påverkar mätnoggrannheten är hur flexibla mätmaskinerna är avseende mätning av olika typer av geometrier och ytor. Flexiblare maskiner innebär lägre mätnoggrannhet.⁷³

Slutsatsen från ovanstående är det finns många faktorer, som påverkar detaljernas slutliga mått, och på så vis kostnaderna. En djupare undersökning kring hur kunskapen om toleranssättning och tillverkning är hos företagen kommer utföras, för att få förståelse kring dagens problemområde inom industrin.

⁶⁹ P. Leskover et al. (1986) och H. K. Honshoff et al. (1986) se Dhara & Kamruzzaman, *Effect of Minimum Quantity Lubrication (MQL) on Tool Wear, Surface Roughness and Dimensional Deviation in Turning AISI-4340 Steel*, 2007, s. 23

⁷⁰ F. Klocke et al. (1997) och G. Byrne et al. (1993) se Dhara & Kamruzzaman, *Effect of Minimum Quantity Lubrication (MQL) on Tool Wear, Surface Roughness and Dimensional Deviation in Turning AISI-4340 Steel*, 2007, s. 23

⁷¹ Barr S. H. och Sharda R. (1997) se Millot & Boy, *Human-machine cooperation: a solution for life-critical Systems?*, 2012, s. 4553

⁷² Seco & Ståhl, *Metal Cutting Theories and models*, 2012, ss. 257-261

⁷³ Kunzmann H, et al. (2005); ISO/IEC. ISO/IEC GUIDE 98-3 (2 008); ISO/IEC. ISO/IEC GUIDE 99:2007(E/F) och Wilhelm RG (2001) se Moroni & Petrò, *Optimal inspection strategy planning for geometric tolerance verification*, 2013, ss. 72-73

3 Material

I kapitel 3 redovisas det insamlade datamaterialet från de två företagen, vilket analysen och sedan resultatet baseras på. Först behandlas Företag A och sedan Företag B.

Datainsamlingen utfördes på så sätt att en intervjumall framställdes och intervjuer utfördes med de personer som ansågs beröra arbetet. De personer som intervjuades var från följande avdelningar: produktionsavdelningen, konstruktionsavdelningen, kvalitetsavdelningen och operatörsanställda. När intervjuerna var utförda sammanställdes materialet och områden för djupare analys bestämdes. Se bilaga B för att se intervjumall.

3.1 Företag A

Under intervjun med Företag A utfördes intervjun med samtliga berörda personer samtidigt. Sammanställningen av det datamaterial som blev insamlat under intervjun med Företag A resulterade i;

3.1.1 Allmän fakta

- De bearbetningsmetoder som främst används är fräsning, svarvning och borrar.
- Företag A:s maskinpark är relativt ny och består främst av fleroperationsmaskiner, karusellsvarvar och vertikal och horisontellsvarvar.
- Företag A använder olika variationer av manganstål och vanligt stål. Variationer i detta påverkar inte bearbetningen. Dock så påverkar hur dessa har värmebehandlats.
- Företag A:s produktutbud är lågvolyt standard detaljer med många varianter. Slitagedelar är högvolytprodukter.
- Företag A använder sig av olika typer av mätutrustningar som t.ex. mätklockor, maskinprober, olika typer av bågar och mätarmar och unimaster. Mätutrustningen kopplat till hylsorna har en mät noggrannhet på ca 2 µm.
- De tar hänsyn till mätutrustningarnas toleranser och temperaturer vid mätning.
- Mätning sker under och efter processen. De har förstabitskontroll på detaljerna.
- Enligt Företag A spelar det ingen roll med uppvärmning av nya maskiner för bearbetningen.
- Operatörskostnader och maskinkostnader har de slagit samman till en post maskintimkostnad, vilket inte är statisk utan varierar.
- Vid bearbetning används ibland skärvätskor för kylning och smörjning, men ibland inte då t.ex. cBN skär gillar värme.
- Underhållsarbetet utförs efter underhållsplaner från leverantörerna, vilket består av underhåll som sker vecko-, månad- och årsvis.
- En annan faktor som kan påverka toleranserna är icke planerat underhåll som t.ex. när en detalj krockar med en maskin. Detta kräver en geometrisk nollställning av maskinen.
- Vid programmering av programmen till maskinerna tar företaget hänsyn till problem som t.ex. spånhamring, spånklämning, löseggar och gradbildning, för att det inte ska uppstå. De kan ha problem med gradbildning vid bearbetning och spånklämning vid borrar av långa hål. Detta kan påverka toleranserna om de inte avlägsnas innan nästa operation. Det är inte ett väsentligt problem för Företag A.
- Företag A har problem med restspänningar från leverantörer, vilket medför problem vid grovbearbetning.
- Stapling av gjutgods påverkar toleranserna.
- Det finns alltid samband mellan dimension och yta och dimension och egenskaper. Dimensionen kan påverka hur lättbearbetad detaljen är d.v.s. hur lätt man kan uppnå toleranserna. Det är svårare att mäta vid de små detaljerna.
- De svåra toleranskraven är inte kopplade till specifika processer.

- De räddar de flesta detaljerna, då det är kostsamma produkter.
- Företag A arbetar inte med SPS, Statistisk Process Styrning i dagsläget.

Toleransbestämmelse

- Toleranskraven bestäms genom, funktion, både kund och företag och av tradition. Många toleranser följer med av tradition från gammal måttsättning av liknade produkter. Toleranssättningen sker även genom att Företag A måste följa vissa lagar m.m. De följer även handböcker vid toleranssättning. Metoderna för toleranssättning är under förändring, då det kommer fler nya mättekniker.
- Konstruktörerna har ett samarbete med produktion, där de använder sig av feedback från fältet och tester. De använder sig även av ett kostnadstänk och standarder och normer.
- Konstruktörerna och utvecklarna arbetar inte mycket med metoder kopplat till toleranserna, utan mer metoder kopplat till tidsåtgång. De har diskussioner med produktionstekniker.
- Under utvecklingsprocessen arbetar Företag A med tidsåtgången vid bearbetning, för att dra ner kostnaderna. De jobbar med att använda standardmått och lika dimensioner vid tillverkning. Företag A vill använda lika uppbyggda program (CNC) för tillverkning av detaljerna.
- Företag A budgeterar inte för fel vid tillverkning. De har inget värde på kassationsandelen inom produktion.
- Kostnaden för olika toleransintervall vid ytbearbetning spelar inte så stor roll, då det är lång bearbetningstid, ca 6 timmar. Kostnaden för olika toleransintervall för toleranser spelar större roll, då det kan kräva längre tid för uppspanning m.m.
- För att avgöra vad tillverkningen får kosta använder företaget en nedbruten budgeterad kostnad. De har ingen högsta kostnad för finbearbetning, utan ”breakdown” kostnaden avgör.

Problemområde

- Problemen som Företag A handskas med är att produkterna består av långa kedjetoleranser och parallellitetstoleranser samt snäva ytkrav.
- De kritiska detaljerna inom krossarna är hylsorna och excenteraxlarna. Dessa finns i olika varianter, men projektet har avgränsat sig till de varianter som det är flest tillverkade av. Hylsorna har problem med måttoleranser och excenteraxlarna har problem med ytkrav på lagerytorna. De har ett visst krav på ytan(R_a).

Toleranspåverkan

Fixturer

- Fixturerna enligt Företag A är ett problemområde, vilket kan leda till vibrationer vid bearbetning och kassationer av detaljer.
- De använder sig av olika typer av uppspanningsmetoder, t.ex. backar, speciella fixturer med spännidon.
- Uppspänningskrafterna är ett viktigt område, då för hårt spända detaljer medför förändringar hos detaljen, medan för lösa detaljer är en fara då de kan lossna.

Hantering

- Hantering kan skapa toleransproblem för detaljerna. Detta uppstår genom lyftdonen och kan skapa dimensionsfel och ytdefekter.
- Viktigt med rätt temperaturer.

Efterbearbetning

- Företag A använder sig av vissa efterbearbetningsmetoder (Inte justering). Efterbearbetningsmetoderna kan t.ex. vara svetsning, gradning och påkrympning.
- De anser att efterbearbetningsoperationerna kan påverka toleranserna.

Problem

- Kunskapen kring vad olika toleransintervall kostar saknas. Företaget känner bara till att det är dyrare vid snävare toleranser.
- Föregående operationssteg påverkar toleranserna i slutbearbetningen.
- Det tillkommer operationer vid lägre toleransintervall. T.ex. så använder de rullpolering då det är ett krav på en fin yta. Detta medför att ytfinheten (R_a) sänks från 1.6 till 0.8.
- Nya ”charger” inom ”batcherna” påverkar bearbetningen. T.ex. kan detaljen efter gjutning, vid uppspanning ha en tunnare och tjockare sida, trots att centrum ligger i mitten. Detta medför att dimensionstoleranserna påverkas.
- Det finns samband mellan ställtider och toleranser och genomloppstider och toleranser. Uppspänningen spelar stor roll för bearbetningen. Om detaljen hamnar fel tar det lång tid att plocka ner och flytta, vilket är en kostsam process.
- CNC programmet tar hänsyn till utböjningar av arbetsstycket och verktyget och även verktygslitagen.
- Operatörerna påverkar toleranserna genom mätningar eller när de utför kompenseringar. CNC programmet styr hela bearbetningen.
- Problemen uppstår vid inkörningar.

3.1.2 Data

Datamaterialet som berörs är data från bearbetning av hylsor och excenteraxlar.

3.1.3 Kostnad kopplade till faktorgrupper

Kostnaderna kopplat till toleranser är ett komplext område. Det är många poster som påverkas och många poster som påverkar toleranserna indirekt.

Utifrån det datamaterial som har tilldelats samt genom antaganden och uppskattningar har beräkningar och simuleringar kring produktionskostnaden och hur den påverkas av olika faktorer utförts i MathCad. (Se tabell 3.1) I bilaga C redovisas beräkningar och antaganden.

Tabell 3.1 – Kostnadsberäkning.

Variabel	Värde (Excenteraxel)	Värde(Hylsa)	Enhet	Förklaring
N_0	25	125	Stycken	Seriestorlek
t_0	735	90	Min	Cykeltid
q_s	0	0	%	Stilleståndsandel
q_q	16	7.2	%	Kassationsandel
q_p	0	0	%	Taktförlust
T_{su}	60	60	Min	Ställtid
T_{plan} (2 skift)	3680	3680	h/år	Planerad produktionstid
Maskiner	1	1	Stycken	
Operatörer	1	1	Stycken	
K_a	0	0	kr/skär	Verktygskostnad
K_b	38500	5000	kr/detalj	Material/ämneskostnad
K_{cp}	1600	1600	kr/h	Maskintimkostnad vid produktion
K_{cs}	1600	1600	kr/h	Maskintimkostnad vid stillestånd
K_d (2 skift)	102	102	kr/h	Lönekostnad
K_{uh}	0	0	kr/h	Underhållskostnad
K_{lager}	0	0	kr/h	Lagerkostnad
k_{OH}	0	0	kr/h	Overhead
K_{spill}	0	0	kr/h	Spillkostnad
K_{QC}	0	0	kr/h	Kvalitetskostnader

3.1.4 Kassationsandel och ombearbetningsandel

Kassationsandel för Företag A är okänd. Kostnaden för det totala antalet interna produktionsfelen är känt.

- Antalet kasserade detaljer för excenteraxlarna är 4 och antalet ombearbetade är 8 av 25 stycken tillverkade.
- Antalet kasserade detaljer för hylsorna är 9 och antalet ombearbetade är 3 av 125 stycken tillverkade.

För excenteraxeln är det av det totalt 4 som kasserades, 2 stycken kasserade på grund av fel i bearbetningen, 1 kasserad på grund av handhavande och 1 kasserad på grund av programfel. Av de 8 ombearbetade är det 5 stycken som beror på något fel i bearbetningen, 1 ombearbetad på grund av operatörsfel, 1 på grund av måttfel och 1 på grund av fel som är okänt.

För hylsorna är det av det totalt 9 kasserade, 4 stycken kasserade på grund av fel i bearbetningen, 3 kasserades på grund av måttfel och 2 på grund av handhavande. Av de 3 ombearbetade är det 2 stycken som krävde ombearbetning på grund av verktygsfel och 1 på grund av handhavande.

3.2 Företag B

Vevaxeln är en detalj, som tillverkas i många olika produktionssteg. Detta innebär att för att hinna med examensarbetet krävdes det en del avgränsningar. Examensarbetet fokuserar på bearbetningsoperationerna kring de kritiska områdena på detaljen d.v.s. ram- och vevaxellagren. De operationer som omfattas är grovfräsning och finsvarvning samt den näst sista operationen som är slipning. Mätprotokollen är från mätning av detaljerna efter en svarvningsoperation och från den slutgiltiga kontrollen som sker efter lappningen.

Sammanställningen av det datamaterial som blev insamlat under intervjuerna med Företag B resulterade i;

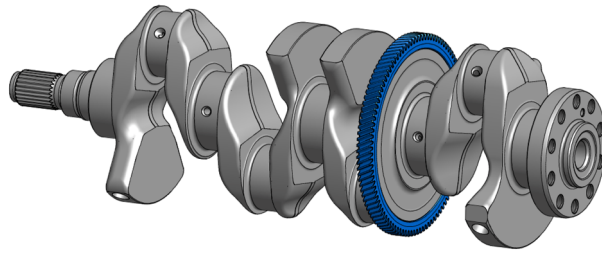
3.2.1 Allmän fakta

- De bearbetningsmetoder som Företag B använder sig av vid tillverkning av vevaxeln är – fräsning, svarvning, slipning, bormning, gängning, lappning, tryckrullning och induktionshårdning.

- De maskintyper som Företag B använder sig av är – Fleroperationsmaskiner, fräsar, svarvar och specialmaskiner för vissa operationer.
- De använder Wiperskär i vissa operationer d.v.s. skär för att få finare ytor.
- De använder förebyggande underhåll, där de följer underhållsplaner, som består av vecko-, månads- och årsunderhåll.
- Det vanligaste förekommande slitaget är verktyg, vilket är planerat slitage.
- Maskinparken är från 2006.
- Använder olika typer av mätmaskiner – t.ex. Optik, kontaktavkännande mätinstrument, tolkar för hål och diametrar
- Företag B tar hänsyn för toleranser i mätmaskinerna vid mätning.
- Företag B har förstabitskontroll efter t.ex. verktygsbyte m.m.
- Företag B använder skärvätska i vissa operationer för smörjning och kylning. De vätskor som används är olja, vatten eller emulsion. Skärvätskan används även till för att förbättra spånbrytningen i t.ex. finsvarvningen, där man har satt högt tryck på vätskan, så att spånorna bryts av. Vissa operationer t.ex. fräs bearbetar torrt eller med MQL (minimal skärvätska tillförsel), för att skären gynnas av förhållandena och det medför bättre spånbrytning och mindre risk för sprickbildning.
- Enligt produktion räddar företaget felgjorda detaljer t.ex. om de blivit förstora. Man tar hänsyn till ”added value” till detaljen, vilket vägs mot ”rework” kostnaden, detta avgör om detaljen ska ombearbetas. De har ingen egen avdelning för detta längre.
- Företag B räddar detaljer, om de har tillverkat många detaljer med samma fel, vilket motsvarar en hög kostnad. De tar även hänsyn till hur långt i processen detaljerna har kommit. Företag B tar även hänsyn till ifall de har kapacitetsbrist eller liknande vid avgörandet om detaljerna ska räddas.
- Enligt produktion sitter konstruktionsavdelningen med ritningar på den nya versionen av vevaxeln, medan produktionen jobbar med den gamla. Detta medför att det är problematiskt att ändra måttsättningen på den ritning som är i drift.
- Företag B använder olika bearbetningsmetoder för samma operationstyp t.ex. fasning.
- Företag B styr sin process genom SPS.
- Företag B tillverkar vevaxeln efter operationsritningarna, vilket innefattar snävare toleranssättning än slutritningarna. Detta medför att Företag B tillverkar detaljerna enligt snävare toleranser än nödvändigt.
- Företag B klassar ihop lager och vevaxellagerplats.
- Företag B kan uppnå de toleranssatta måtten, men inte de man vill ha, för att minska NVH – ljud, vibrationer och hårdhet. (Noise Vibration Harshness). Motorerna fungerar med grövre toleranssättningen än dagslägets, men NVH hade ökat.
- Operatörernas ansvar i produktionen är att de måste övervaka toleranserna bland annat genom mätning i produktion. Viktigt att reglera fel, och på så vis undvika stopp.
- Företag B använder mätmaskiner av märkena, Jenoptik och Marpos. De kräver en noggrannhet på deras mätningar som motsvarar;
 - Repetitionsnoggrannhet över 50 cykler beräknat som 4 standardavvikelser skall vara mindre än 10 % av toleransen.
 - Absolutnoggrannhet på medelvärdet över 5 mätningar jämfört med "rätt värde" skall vara mindre än 10 % av toleransen.
 - I bägge fallen gäller att om 10 % av toleransen är mindre än 1 µm så får man ändå använda 1 µm istället för 10 %.

Problemområde

- Den kritiska delen för Företag B är vevaxeln, figur 2.9. Vevaxeln är en detalj med många toleranser och ytor, som är kritiska för dess funktion. Vevaxeln finns i fyra olika varianter.



Figur 2.9 – Vevaxel.

Problemområdet med vevaxeln är lagerytorna, ram- och vevlager. Detta då det är ytor med snäva toleranser där form, dimension och ytor spelar stor roll. Detta bidrar till att ytorna måste bearbetas i flera operationssteg.

Toleransbestämelse

- Toleransgränserna sätts till största del genom tradition och är företagsbaserat samt funktionsbaserat.
- Då det krävs en ny måttsättning utförs laborationer, för att undersöka vilka toleranser som krävs. En diskussion mellan konstruktörerna och beredarna sker kring maskinernas duglighet och tillverkningskostnaden. Beredarna avgör om det är inom budget.
- Kvalitetsavdelningen tillägger att toleranssättningen även påverkas av leverantörerna och deras produkter, då de har vissa toleranskrav för att garantera funktion.
- Konstruktörerna vet inte när det tillkommer extraoperationer för finbearbetning.
- Ingen högsta kostnad för finbearbetning. De använder ingen ”breakdown” kostnad.
- Konstruktörerna och produktionsavdelningen anser att kostnaderna för snävare toleransintervall ökar när det tillkommer produktionssteg. Det vill säga maskiner samt tillverkningskostnader som konsumtion t.ex. el eller tryckluft samt kassationer m.m.
- Om konstruktörerna vill skärpa ett toleranskrav sker det en diskussion med beredningsavdelningen, där beredningen vet vad maskinerna klarar av och avdelningarna försöker hitta en balans mellan funktion och kostnad, för att undvika onödiga investeringar.
- Konstruktörerna vet inte till hur stor del de tar hänsyn till kostnaden vid toleranssättning.
- Konstruktörerna anser att samtliga toleranser är nödvändiga för funktionen. De har inte tid eller resurser att kontrollera alla toleranserna, vilket bidrar till traditionsbaserad toleranssättning.
- Vid utveckling av nya detaljer tar utvecklarna hänsyn till metoder kopplat till toleranserna. De försöker minska antalet operationer genom ständiga förbättringar. Företag B jobbar även med att utnyttja verktygen längre.

Toleranspåverkan

Fixturer

- Företag B använder olika fixturer beroende på bearbetningsmetod. Företag B anser att uppspänningarna i fixturerna inte påverkar, då de är medvetna om var de kan spänna och med vilka krafter.
- Operatörerna anser att fixturerna inte påverkar till största del. De anser att kunskapen finns angående vilka ytor man kan spänna på, men det kan förekomma tryckmärken. Företag B har ökat toleranserna på vissa ytor, för att kunna bearbeta bort tryckmärkena som kan uppstå.
- Kvalitetsavdelningen anser att fixturerna kan medföra klämmärken.

Hantering

- Företag B anser att deras hantering inte påverkar toleranserna till större del, men att ytorna kan påverkas. Hanteringen sker både manuellt och med automation. Problemen som kan uppstå:
 - Vid manuell hantering kan detaljer komma att kasseras på grund av slagmärken.
 - Vid automatisk hantering kan det uppstå klämmärken på grund av spånor som fastnat, men det uppstår inga uppspänningsdeformationer.
- Företag B använder olika material i hanteringsverktygen för hantering av detaljen beroende på var detaljen befinner sig i produktionen. Mjukare material vid hantering på slutet.

Problem

- Variationer i materialegenskaperna beroende på t.ex. tillverknings-/leveranstidpunkt av materialet kan enligt produktion påverka bearbetningen. Vissa operationer är känsligare än andra t.ex. borrar jämfört med svarvning och fräsning. De anser att de inte vet vad som påverkar.
- Kvalitetsavdelningen och operatörerna anser att en ny ”charge” inom ”batchen” kan påverka både slutkvaliteten på produkten och verktygslivslängden. Problemet enligt kvalitetsavdelningen är att materialspecifikationerna är för vida. Materialsammansättningen är vanligtvis inom ett visst område. Om sammansättningen avviker från det, så medför det produktionsproblem. Kostnadsfråga för att få snävare materialspecifikation.
- Den enda efterbearbetningsoperationen som Företag B har är tvättning av detaljerna, vilket inte påverkar ytorna och toleranserna.
- Företag B har inte problem med spånhamring, spånklämning eller löseggar. Kvalitetsavdelning anser att de har bearbetningsproblem i form av grader, detta innebär inga extra operationer eller problem för toleranserna eller ytorna. De försöker optimera bearbetningen, för att undvika grader. Detta medför längre operationstid.
- Produktion anser att det inte finns något samband mellan ställtider och toleranserna eller genomloppstider och toleranserna. Genomloppstiden kan påverka, men Företag B har hittat en balans mellan bearbetningstid och kvalitet.
- Genomloppstiderna eller ställtiderna påverkar inte toleranserna enligt kvalitetsavdelningen. Det som påverkar ställtiderna är hur flexibla maskinerna är. Flexibla maskiner medför att det blir svårare att hålla toleranserna.
- Produktion tycker att de har optimerat produktionen, så att det inte har några problem med toleranserna kopplat till utböjning av verktygen eller arbetsstycket.
- Företag B mäter tidigt i processen, för att undvika att föregående operationssteg har ett inflytande i slutbearbetningen.
- Operatörerna anser att verktygsslitage inte påverkar form och lägestoleranserna utan mest yttoleranserna.
- Enligt operatörerna uppstår problemen när det finns materialvariationer i ”batcherna”. Företag B använder inkörningarna, för att upptäcka problem innan den löpande produktionen startar. Vid löpande produktion arbetar Företag B med ständiga förbättringar för att förhindra problem. Detta utförs bland annat genom ständiga kontroller över maskinstatusen, verktyg och vibrationer m.m.

3.2.2 Data

Datamaterialet som berörs är mätdata efter en svarvningsoperation för lagerbanor och mätdata från slutmätningen d.v.s. efter alla bearbetningsoperationer. Illustrering av datamaterialet finns i bilaga D.

Svarvningsoperation;

Mätningarna som redovisas är dimensionsmätningar på ramlagerna på en 4 cylindrig vevaxel. Mätningarna är från mitten av ramlagret.

Slutmätningen;

Slutmätningen sker genom att Företag B mäter diametern med två-punkter över 360 grader, där min och max värdena på kontrollprotokollet är största och minsta värdet som finns på varvet.

3.2.3 Kostnader kopplat till faktorgrupper

Kostnaderna kopplat till toleranser är ett komplext område. Det är många poster som påverkas och många poster som påverkar toleranserna indirekt.

Utifrån det datamaterial, som har tilldelats samt genom antaganden och uppskattningar har beräkningar och simuleringar kring produktionskostnaden och hur den påverkas av olika faktorer utförts i MathCad. (Se tabell 3.2) I tabell 3.2 har känslig data korrigerats med en korrigeringsfaktor. I bilaga C redovisas beräkningar och antaganden.

Tabell 3.2 – Kostnadsberäkning.

Variabel	Värde	Enhet	Förklaring
N_0	359298	Stycken	Seriestorlek
t_0	1	Min	Cykeltid
q_s	0	%	Stilleståndsandel
q_q	3.86	%	Kassationsandel
q_p	0	%	Taktförlust
T_{su}	277	Min	Ställtid
T_{plan} (5 skift)	8016	h/år	Planerad produktionstid
Maskiner	32	Stycken	
Operatörer	58	Stycken	
K_a	0	kr/skär	Verktygskostnad
K_b	405	kr/detalj	Material/ämneskostnad
K_{cp}	1470	kr/h	Maskintimkostnad vid produktion
K_{cs}	1470	kr/h	Maskintimkostnad vid stillestånd
K_d (5 skift)	128	kr/h	Lönekostnad
K_{uh}	0	kr/h	Underhållskostnad
K_{lager}	0	kr/h	Lagerkostnad
k_{OH}	0	kr/h	Overhead
K_{spill}	0	kr/h	Spillkostnad
K_{QC}	0	kr/h	Kvalitetskostnader

3.2.4 Kassationsandel och ombearbetningsandel

Under en period över ett år har datamaterial rörande kassations- och ombearbetningsandel samlats in. Materialet är uppdelat på så sätt att kassations- och ombearbetningsandelen redovisas övergripande för alla operationerna och sedan för varje enskild operation.

Övergripande alla operationerna

Kassation

Tabell 3.3 – Kassationsandel.

	Operation	Feltyp	Antal	Procent
110	Finsvarvn C-hål Axiallag	Stor Diameter C-hål	870	0.27%
130	Slipning tapp	Diameter Tapp	756	0.23%
140	Slipn fläns & flänstapp	Diameter Kuggkrans	629	0.19%
30	Grovsvarvning Ramlager	Kast Ramlager	616	0.19%
190	Avsyning	Märken	583	0.18%
150	Balansering	Ej balanserbar	436	0.13%
30	Grovsvarvning Ramlager	Längdfel	433	0.13%
90	Tryckrullning	V-brott Ramlager	423	0.13%
110	Finsvarvn C-hål Axiallag	Kast Styrlager	398	0.12%
30	Grovsvarvning Ramlager	Kuggkransplan	398	0.12%
Totalt arbetsfel (alla operationer):			12494	3.86%

Ombearbetning

Tabell 3.4 – Ombearbetningsandel.

	Operation	Feltyp	Antal	Procent
190	Avsyning	Rost	2506	0.77%
185	Kuggkrans montage	Parallellitet	2327	0.72%
130	Slipning tapp	TPD Kast på tappen	1267	0.39%
130	Slipning tapp	Diameter tapp	1091	0.34%
155	Sprickprovning	Sprickindikationer Råyta	805	0.25%
190	Avsyning	Märken	756	0.23%
100	Slipning Ram/Vevlager	Diameter Ramlager	383	0.12%
170	Mätning, klassning	Ommätning	268	0.08%
190	Avsyning	Övrigt övrigt	260	0.08%
190	Avsyning	Omplockad låda från J	213	0.07%
Totalt justering (alla operationer)			11561	3.57%

Enskilda operationer

Kassation

Tabell 3.5 – Kassationsandel.

Op/Maskin	Feltyp	Antal	Andel/Felgrupp	Andel/Maskin
20 Grovfräsning Ram/Vevlager				
Maskin: Maskin 1				
	4	7	0%	50%
	V-byte	2	0%	14%
	Övrigt	2	0%	14%
	Diameter Ramlager	2	0%	14%
	Diameter Vevlager	1	0%	7%
	<i>Summa maskin</i>	14		
20 Grovfräsning Ram/Vevlager				
Maskin: Maskin 2				
	V-byte	4	0%	36%
	Skivras	3	0%	27%
	Diameter Vevlager	1	0%	9%
	Längdfel	1	0%	9%
	Övrigt	1	0%	9%
	Diameter Ramlager	1	0%	9%
	<i>Summa maskin</i>	11		
30 Grovsvarvning Ramlager				
Maskin: Maskin 1				
	Längdfel	187	1%	27%
	Kast Ramlager	183	1%	26%
	Kuggkransplan	146	1%	21%
	Diameter Hålkäl	126	1%	18%
	Diameter Ramlager	33	0%	5%
	Diameter Tapp	15	0%	2%
	Övrigt	10	0%	1%
	Diameter Fläns	2	0%	0%
	Märke Fläns	2	0%	0%
	Diameter Flänstapp	1	0%	0%
	<i>Summa maskin</i>	705		
30 Grovsvarvning Ramlager				
Maskin: Maskin 2				
	Kast Ramlager	172	1%	31%
	Kuggkransplan	124	1%	22%
	Längdfel	114	1%	21%
	Diameter Hålkäl	88	1%	16%
	Diameter Ramlager	33	0%	6%
	Diameter Fläns	10	0%	2%
	Övrigt	7	0%	1%
	Uppstart	3	0%	1%
	V-byte (Ink. Syster V-byte)	3	0%	1%
	Diameter Tapp	1	0%	0%
	<i>Summa maskin</i>	555		

Tabell 3.6 – Kassationsandel.

Op/Maskin	Feltyp	Antal	Andel/Felgrupp	Andel/Maskin
30 Grovsvärning Ramlager				
Maskin: Maskin 3				
	Kast Ramlager	261	2%	35%
	Längdfel	132	1%	18%
	Kuggkransplan	128	1%	17%
	Diameter Hålkäl	81	1%	11%
	Märke Fläns	60	0%	8%
	Diameter Ramlager	51	0%	7%
	Diameter Fläns	7	0%	1%
	Övrigt	7	0%	1%
	Diameter Tapp	5	0%	1%
	Märke RL1	3	0%	0%
	V-byte (Ink. Syster V-byte)	1	0%	0%
	<i>Summa maskin</i>	736		
40 Grovfräsning Vevlager				
Maskin: Maskin 1				
	Övrigt	10	0%	59%
	Diameter Vevlager	6	0%	35%
	Längdfel	1	0%	6%
	<i>Summa maskin</i>	17		
40 Grovfräsning Vevlager				
Maskin: Maskin 2				
	Diameter Vevlager	11	0%	65%
	Diameter Hålkäl	5	0%	29%
	Övrigt	1	0%	6%
	<i>Summa maskin</i>	17		

Tabell 3.7 – Kassationsandel.

Op/Maskin	Feltyp	Antal	Andel/Felgrupp	Andel/Maskin
100 Slipning Ram/Vevlager				
Maskin: Maskin 1				
	Diameter Vevlager	103	1%	23%
	Sprickor	85	1%	19%
	Diameter Ramlager	73	1%	16%
	Max Min Ramlager	49	0%	11%
	Oval Vevlager	45	0%	10%
	Max Min Vevlager	37	0%	8%
	Kast på Ramlager	24	0%	5%
	Övrigt	13	0%	3%
	Delning	11	0%	2%
	Oval Ramlager	4	0%	1%
	Kast Ramlager	1	0%	0%
	<i>Summa maskin</i>	445		
100 Slipning Ram/Vevlager				
Maskin: Maskin 2				
	Max Min Ramlager	190	2%	34%
	Diameter Ramlager	153	1%	27%
	Diameter Vevlager	98	1%	17%
	Oval Vevlager	74	1%	13%
	Max Min Vevlager	30	0%	5%
	Rundhetsfel	9	0%	2%
	Övrigt	4	0%	1%
	Oval Ramlager	4	0%	1%
	Kast på Ramlager	2	0%	0%
	Kast Ramlager	1	0%	0%
	<i>Summa maskin</i>	565		
100 Slipning Ram/Vevlager				
Maskin: Maskin 3				
	Oval Ramlager	11	0%	44%
	Oval Vevlager	8	0%	32%
	Diameter Vevlager	3	0%	12%
	Max Min Vevlager	2	0%	8%
	Övrigt	1	0%	4%
	<i>Summa maskin</i>	25		

Ombearbetning

Tabell 3.8 – Ombearbetningsandel.

Op/Maskin	Feltyp	Antal	Andel/Felgrupp	Andel/Maskin
30 Grovsvarvning Ramlager				
Maskin: Maskin 1				
	Längdmått	2	0%	40%
	Omkörd Axel	2	0%	40%
	Diameter Ramlager	1	0%	20%
	<i>Summa maskin</i>	5		
30 Grovsvarvning Ramlager				
Maskin: Maskin 3				
	Övrigt	7	0%	78%
	Diameter ramlager	2	0%	22%
	<i>Summa maskin</i>	9		
100 Slipning Ram/Vevlager				
Maskin: Maskin 1				
	Diameter Ramlager	87	1%	96%
	Diameter Vevlager	4	0%	22%
	<i>Summa maskin</i>	91		
100 Slipning Ram/Vevlager				
Maskin: Maskin 2				
	Diameter Ramlager	112	1%	78%
	Diameter Vevlager	31	0%	22%
	<i>Summa maskin</i>	143		
100 Slipning Ram/Vevlager				
Maskin: Maskin 3				
	Diameter Ramlager	184	2%	97%
	Diameter Vevlager	6	0%	3%
	<i>Summa maskin</i>	190		

4 Analys

Kapitel 4 behandlar analysen av datamaterialet som redovisades i kapitel 3. Analysens uppbyggnad är som följande: först analyseras problemen utifrån faktorgrupperna, sedan analyseras mätdata med hjälp av fördelningskurvor. Efter det utförs en kostnadsanalys följt av analysen av kassaktionsandelen och stilleståndsandelen samt mätmaskinernas och maskinernas noggrannhet och avslutas med analysen kring problemen vid toleransbestämning.

4.1 Problemområden kopplat till faktorgrupper

Verktyg

Verktygshandling eller slitage upplever inte Företag A eller Företag B som ett problem i varken tillverkningen eller vad gäller toleranserna eller ytkvaliteten. De anser att kunskapen angående när i processen verktygsbyten måste ske, och när processen kräver smörja eller inte redan finns etablerad.

Företagen använder metoder och verktyg, för att få jämnare ytor och bättre toleranser. En av metoderna som används är riktad hård skärvätskestråle. Detta för att exempelvis bryta av spånor, ytterligare en metod som praktiseras hos företagen är att använda Wiperskär. Oftast används förstabitskontroll efter verktygsbyte, för att tidigt kunna upptäcka eventuella avvikelser.

Arbetsmaterial och ämne

De båda företagen har problem med nya ”charger” inom ”batcherna” vid produktion, dock är problematiken varierande. Företag A har inte problem med varierande materialsammansättningar, utan istället med detaljen efter gjutning. Det uppstår då restspänningar och gjutfel som kan påverka centrum och på så sätt dimensionstoleranserna.

Materialspekifikationerna är dock ett av Företag B:s problemområden, då de är för vida vilket medför varierande materialsammansättning.

Snävare materialspekifikationer medför dyrare inköp. Konsekvenserna av ovanstående leder i sin tur till att kvaliteten på detaljen och verktygslivslängden påverkas.

Process

Några av de utmaningar som Företag B står inför är att konstruktionsavdelningen utformar ritningar på den nya versionen av vevaxeln, medan produktion arbetar med den gamla, detta medför att det är problematiskt att ändra måttsättningen på den ritning som är i drift.

Ett annat problem är att Företag B tillverkar vevaxeln efter operationsritningarna, vilket innefattar snävare toleranssättning än slutritningarna. Detta leder till att Företag B tillverkar detaljerna enligt snävare toleranser än nödvändigt.

De klassar ihop lager och vevaxellagerplats för att få rätt passform.

Enligt Företag A behöver de nya produktionsmaskinerna ingen förvärmning, för att producera detaljer med godkända toleranser.

Företag B och Företag A anser att tidigare operationer i produktionslinjen påverkar slutoperationernas måttnoggrannhet. Tidiga kontroller i produktionen är därför en nödvändighet.

Företagen anser att det delvis finns ett samband mellan ställtider, genomloppstider och toleranser. Företag A arbetar med uppspanning av komplicerade detaljer, vilket medför lång ned- och uppspanningstid som är kostsamt. Det som avgör ställtiden är hur flexibla maskinerna är. Flexibla maskiner innebär ett vekare system, som i sin tur leder till svårigheter att producera enligt toleranssättningen. Företag B anser att utböjningar av arbetsstycket, verktyget eller slitage inte är ett märkbart problem för produktionen.

Det är endast Företag A, som använder sig av vissa efterbearbetningsmetoder (inte justering, räknar inte med Företag B:s tvättning). De är exempelvis; svetsning, gradning och påkrympning. De anser att efterbearbetningsoperationerna kan påverka toleranserna.

Ombearbetning av detaljer är både en kostnads- och kapacitetsfråga. Då kostnaden för att kassera detaljen eller detaljerna når en viss gräns (företagen har inte definierat denna gräns) väljer de att istället

rädda detaljerna genom ombearbetning. Företag A:s detaljer är så kostsamma att producera, att de valt att ombearbeta alla detaljer.

Angående problem kopplat till fixturer, så är det delade meningar mellan företagen. Företagen använder olika typer av uppspänningsmetoder t.ex. backar eller speciella fixturer. Företag A anser att fixturerna är ett väsentligt område, som kan leda till vibrationer vid bearbetning och kassationer av detaljer. Enligt företagen är även uppspänningskrafterna av betydelse. Företag A anser att för hårt spända detaljer medför formändringar hos detaljen, medan för lösa detaljer är en fara då de kan lossna. Företag B däremot anser att de vet kraftbildningen vid uppspanning, men erkänner att det kan uppstå tryckmärken.

Personal och organisation

Enligt företagen så har inte operatörerna så stor påverkan på bearbetningen och på så vis toleranspåverkan. Operatörernas viktigaste uppgift är att kontrollera och följa upp eventuella problem, samt att se till att inställningarna är rätt.

Slitage och underhåll

Det vanligaste slitaget i produktion är det verktygsslitage som är planerat underhåll. Annars sker underhåll efter underhållsplaner som är vecko-, månads- och årsvis.

Speciella processbeteenden

Företag A och Företag B tar vid produktion hänsyn till problem som t.ex. spånhamring, spånklämmning, löseggar och gradbildning. De ”problem” som företagen måste handskas med är främst gradbildning, vilket kan skapa problem om det inte avlägsnas. Detta innebär endast extra operationstid, men påverkar inte toleranserna eller ytorna. Företag A har även problem med spånklämmning vid borring av längre hål.

Kringutrustning

Hantering av detaljer sker både manuellt och med automation. Vardera hanteringsmetod medför problem i olika grad. Vid automatisk hantering kan det uppstå klämmärken. Vid manuell hantering är de största problemen, att det uppstår slagmärken, dimensionsfel eller ytdefekter på grund av lyftdonen. Vid hantering av stora detaljer så kan en eventuell krock med maskinen ställa till besvär, då maskinerna måste genomgå en geometrisk nollställning.

Det är viktigt att detaljerna hanteras vid rätt temperatur.

4.2 Kostnader kopplat till faktorgrupper

Nedan redovisas analysen av det insamlade och uppskattade datamaterialet. Analysen utfördes i MathCad genom Jan-Eric Ståhls kostnadsmodell, vilken förklarades på s. 20.

Som nämnt tidigare är kostnaderna kopplat till toleranser ett komplext område. Det är många poster som påverkas och många poster som påverkar toleranserna indirekt.

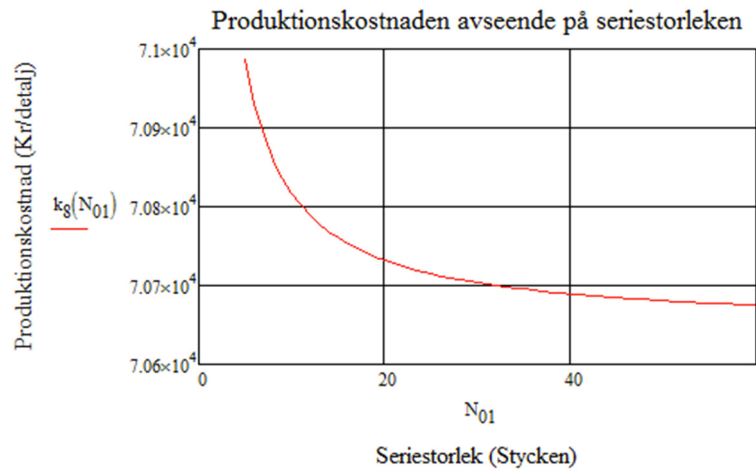
För att få struktur på vad som påverkar kostnaderna med avseende på toleranserna tillämpas faktorgruppernas indelning och kostnadsekvationen som analysredskap. Kostnaderna kopplat till toleranser berör de flesta poster i kostnadsekvationen. Seriestorleken påverkar på så sätt att det krävs fler omställningar, vilket i sin tur påverkar inkörningskasserade detaljer, stillestånd m.m. då inte toleranserna uppnås. Val av produktionsparametrar påverkar cykeltider, verktygsslitage m.m. då inte toleranserna uppnås vid produktion kan det medföra kassationer, stillestånd eller reducerad produktionstakt. Vidare kräver en vald måttställning kontroller och snävare toleranser kräver oftast mer underhåll. Detaljer som inte uppnår toleransställningen kräver ombearbetning eller kassering, detta medför att detaljerna eventuellt behöver hanteras, lagras och omkontrolleras.

4.2.1 Kostnadsanalys Företag A

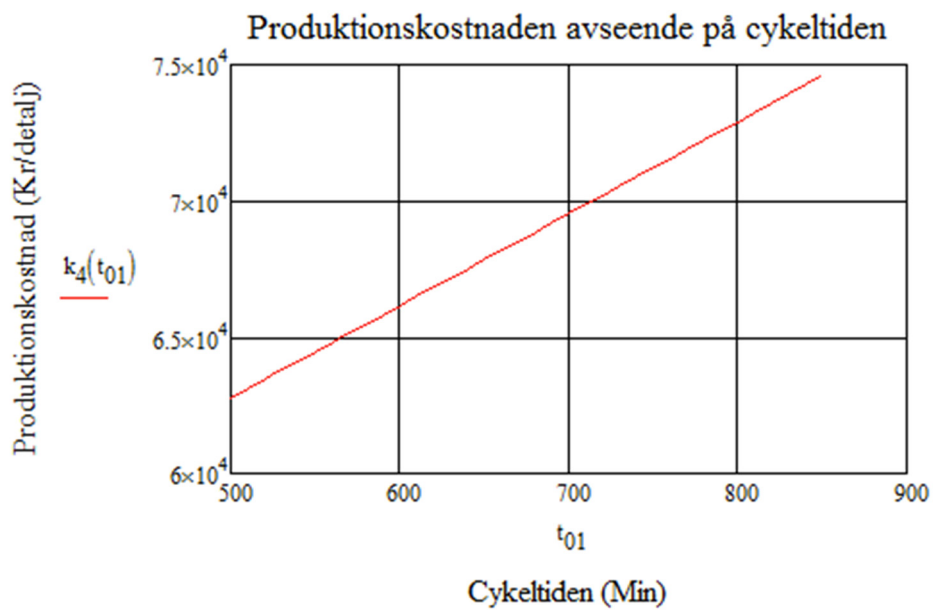
De faktorer som har varierat i analysen är följande: seriestorleken, cykeltiden, ställtiden, materialspillfaktorn, stilleståndsandelen och kassationsandelen.

Excenteraxel

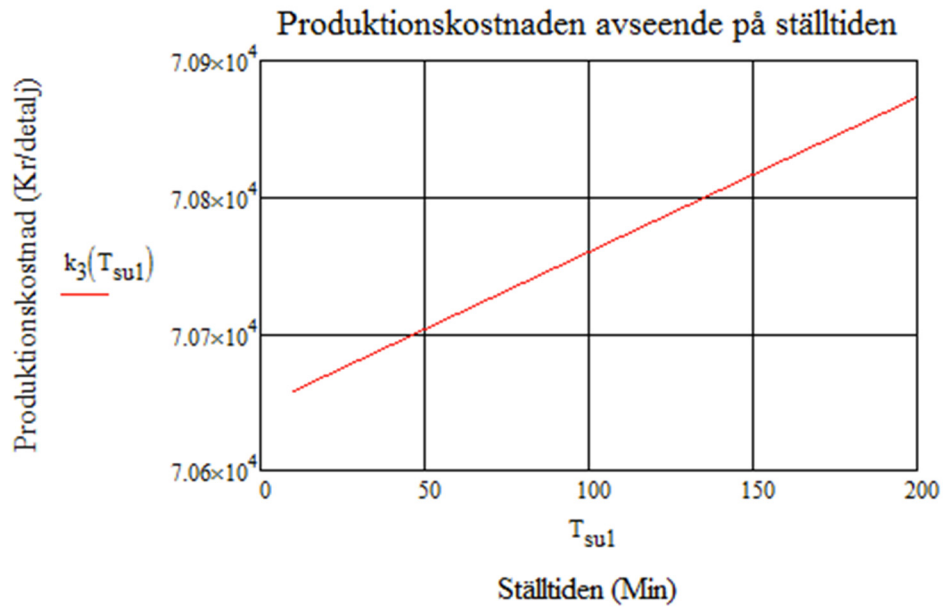
Produktionskostnaden för en excenteraxel hos Företag A är enligt analysen 70 710 kr/detalj.



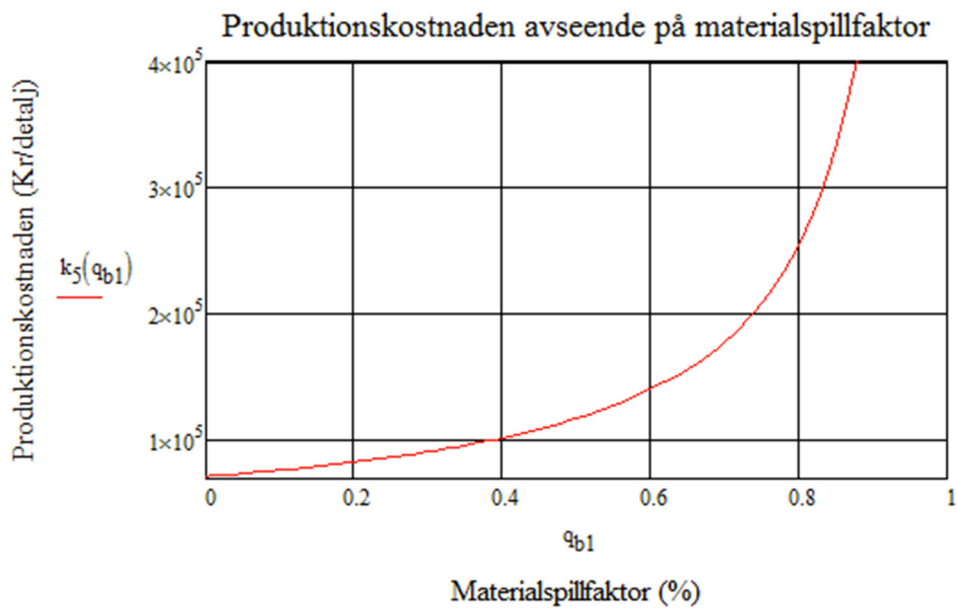
Figur 4.1 - Produktionskostnaden avseende på seriestorleken.



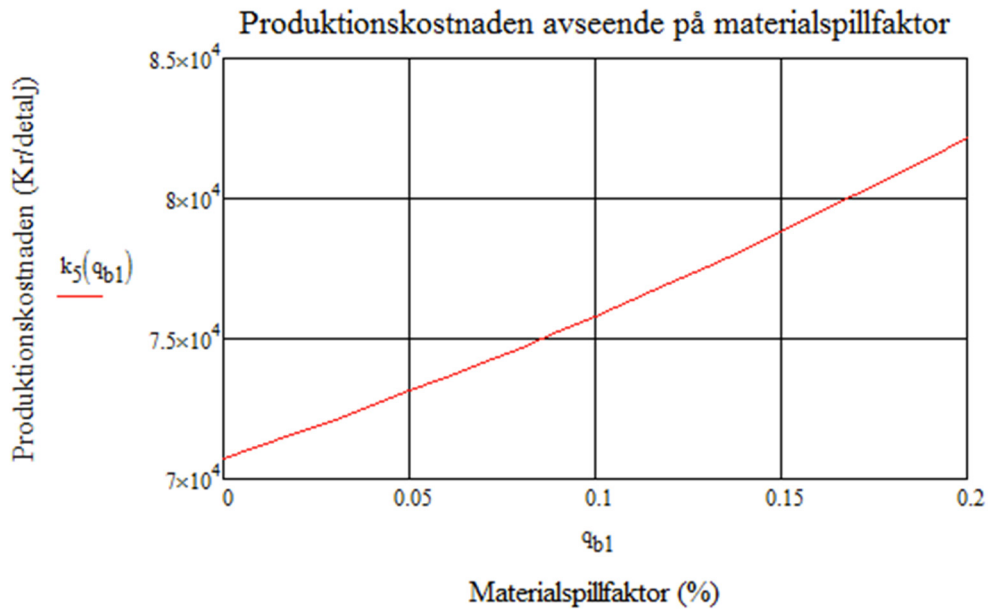
Figur 4.2 - Produktionskostnaden avseende på cykeltiden.



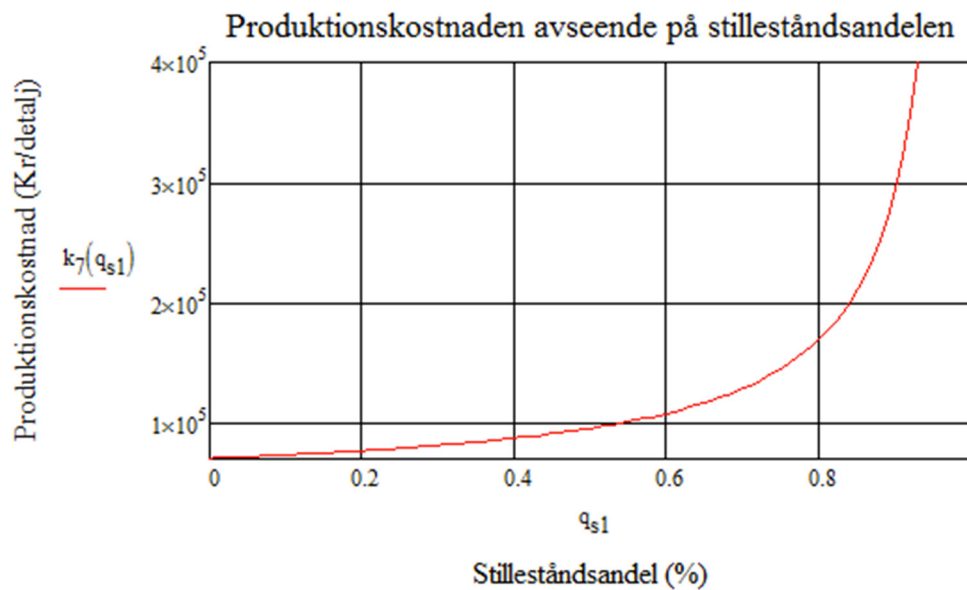
Figur 4.3 - Produktionskostnaden avseende på ställtiden.



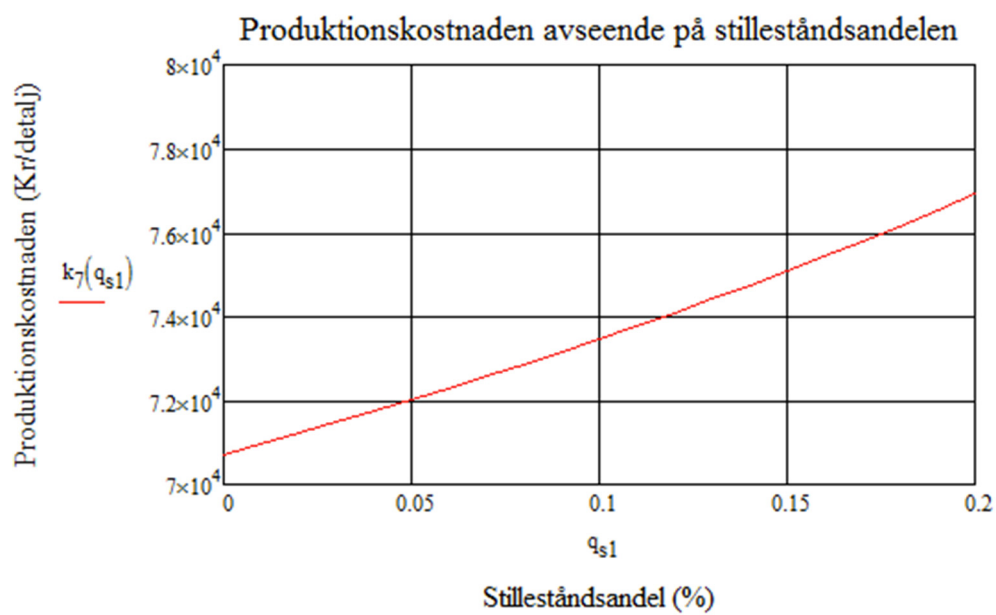
Figur 4.4 - Produktionskostnaden avseende på materialspillfaktorn.



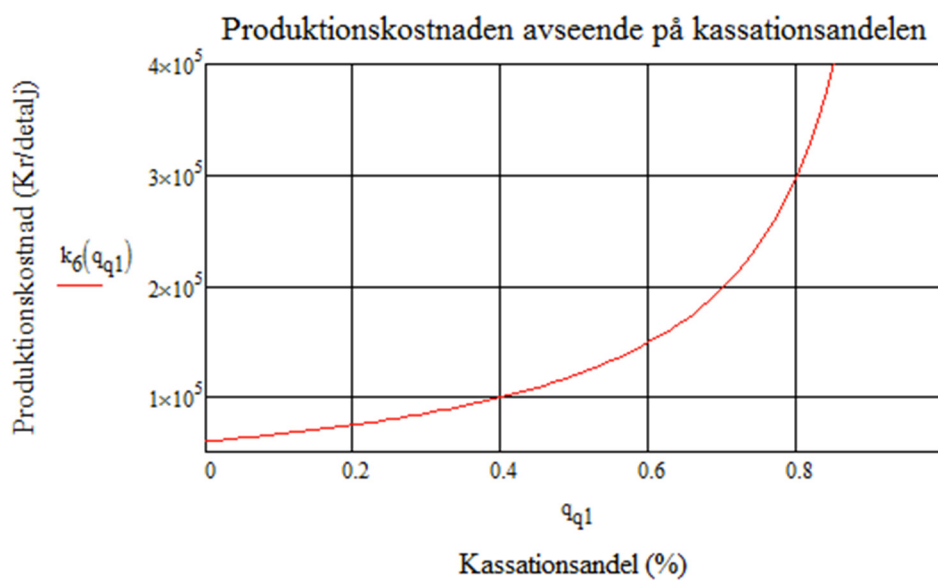
Figur 4.5 - Produktionskostnaden avseende på materialspillfaktorn.



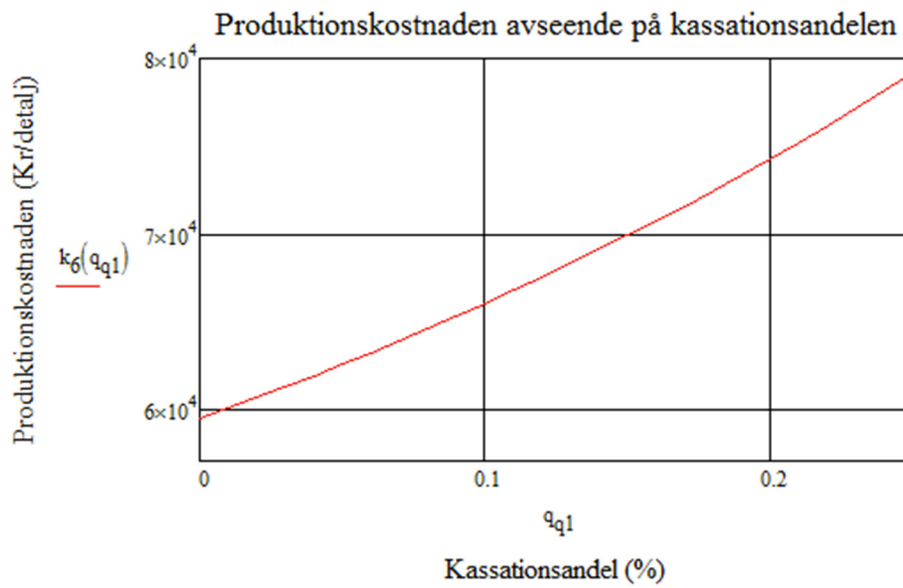
Figur 4.6 - Produktionskostnaden avseende på stilleståndsandelen.



Figur 4.7 - Produktionskostnaden avseende på stilleståndsandelen.



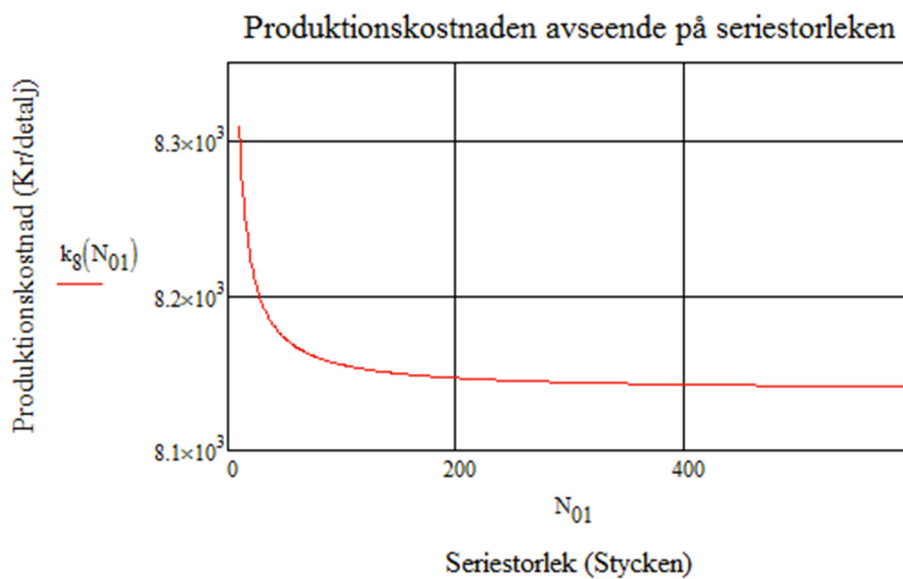
Figur 4.8 - Produktionskostnaden avseende på kassationsandelen.



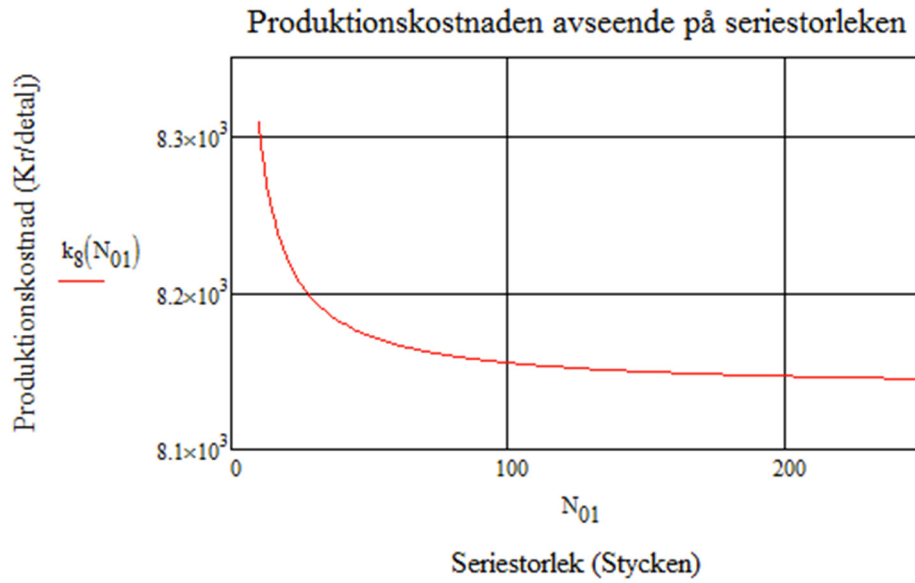
Figur 4.9 - Produktionskostnaden avseende på kassationsandelen.

Hyla

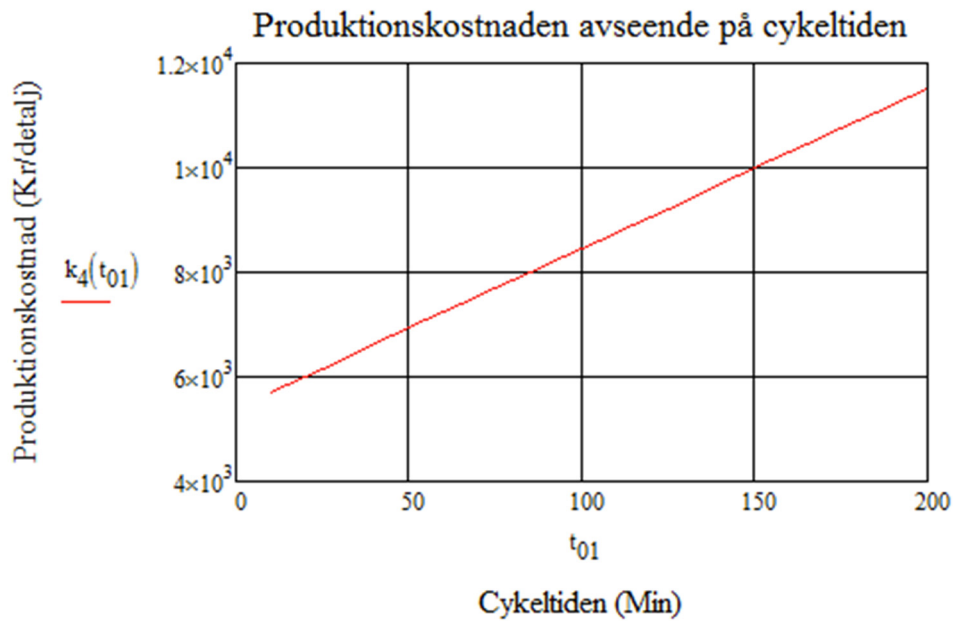
Produktionskostnaden för en hylsa hos Företag A är enligt analysen 8 152 kr/detalj.



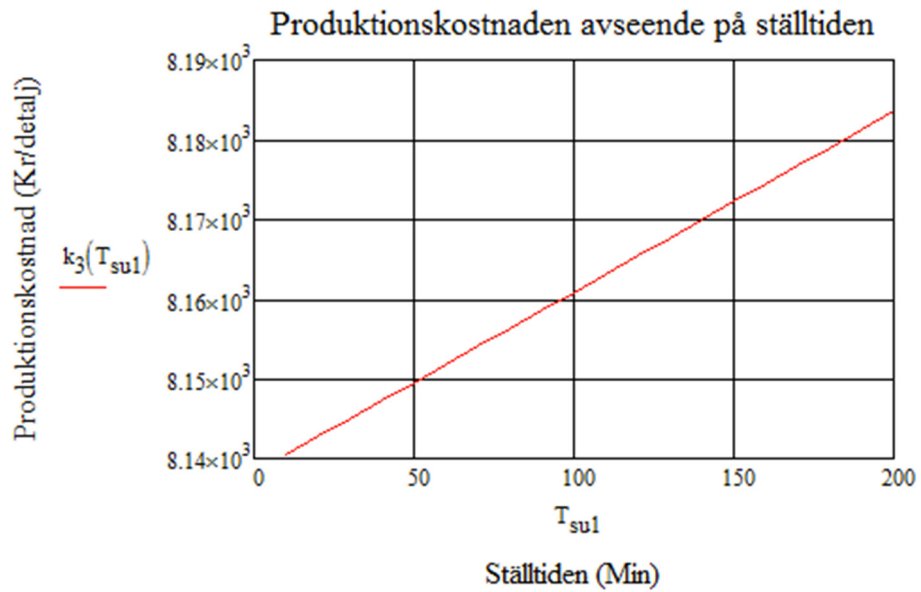
Figur 4.10 - Produktionskostnaden avseende på seriestorleken.



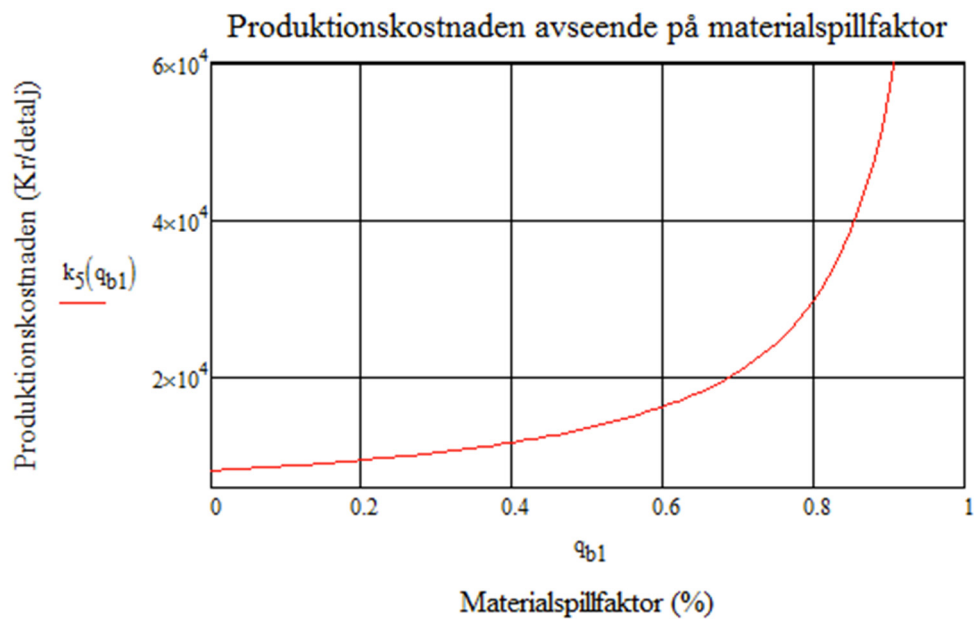
Figur 4.11 - Produktionskostnaden avseende på seriestorleken.



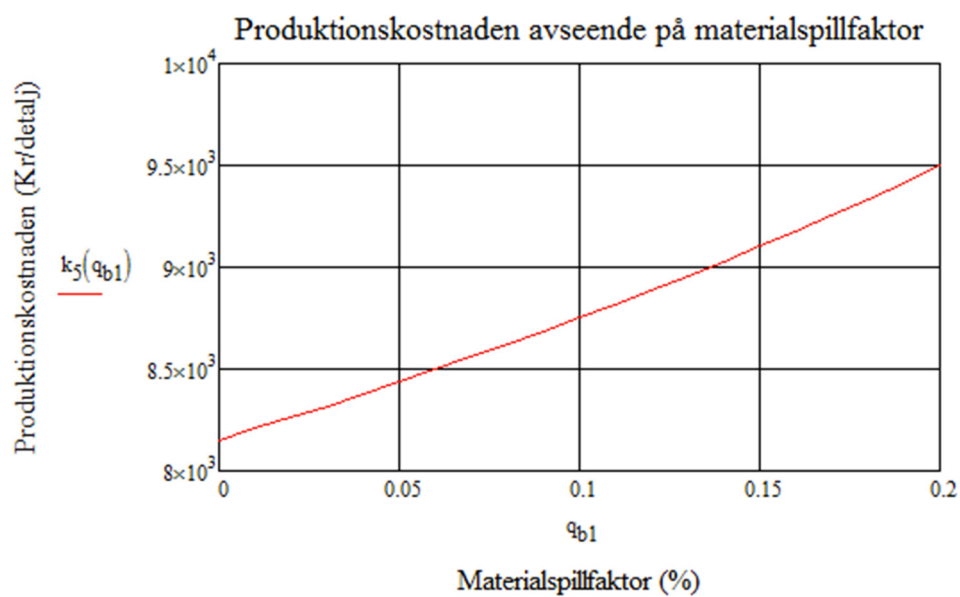
Figur 4.12 - Produktionskostnaden avseende på cykeltiden.



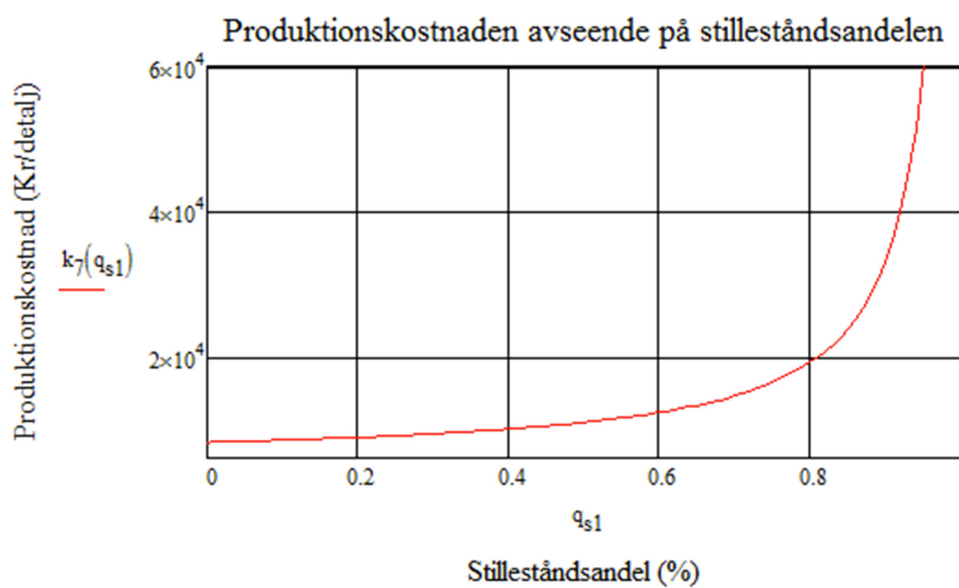
Figur 4.13 - Produktionskostnaden avseende på ställtiden.



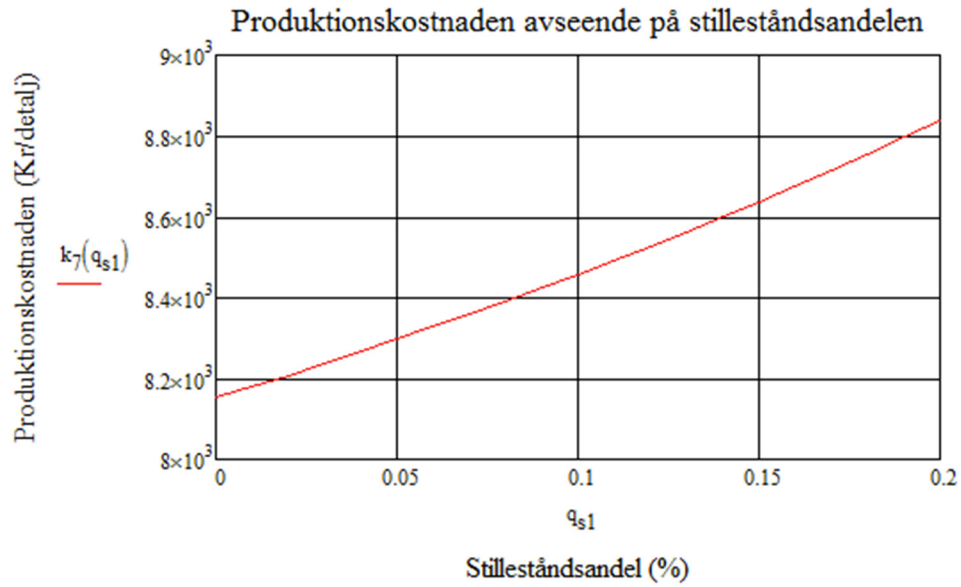
Figur 4.14 - Produktionskostnaden avseende på materialspliffaktorn.



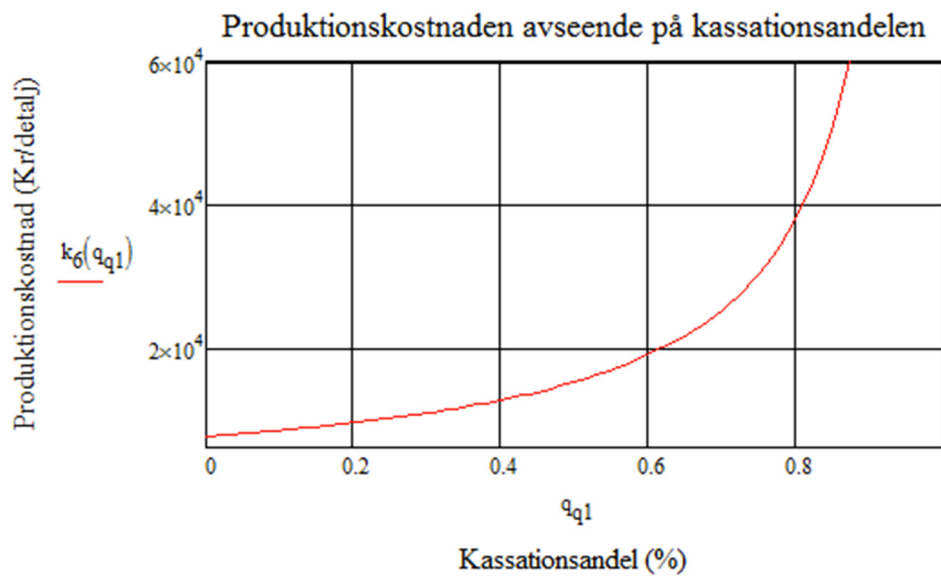
Figur 4.15 - Produktionskostnaden avseende på materialspillfaktorn.



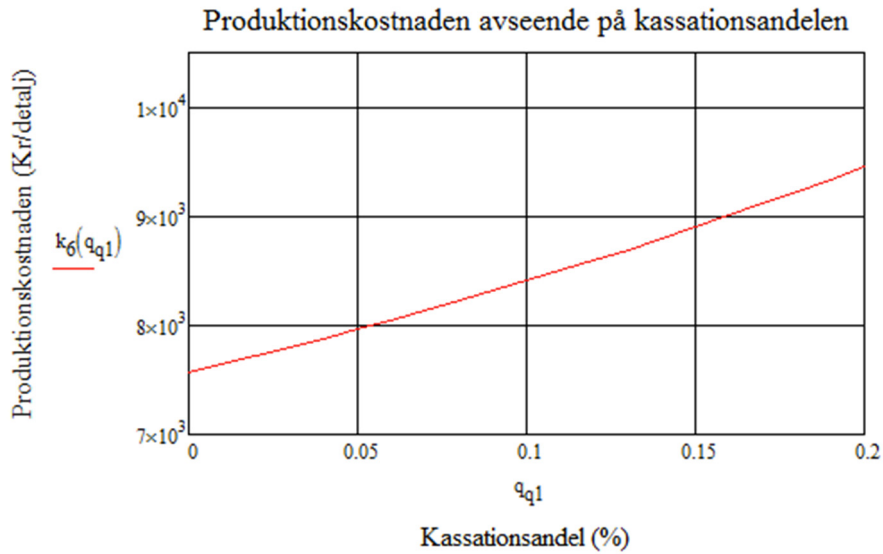
Figur 4.16 - Produktionskostnaden avseende på stilleståndsandelen.



Figur 4.17 - Produktionskostnaden avseende på stilleståndsandelen.



Figur 4.18 - Produktionskostnaden avseende på kassationsandelen.



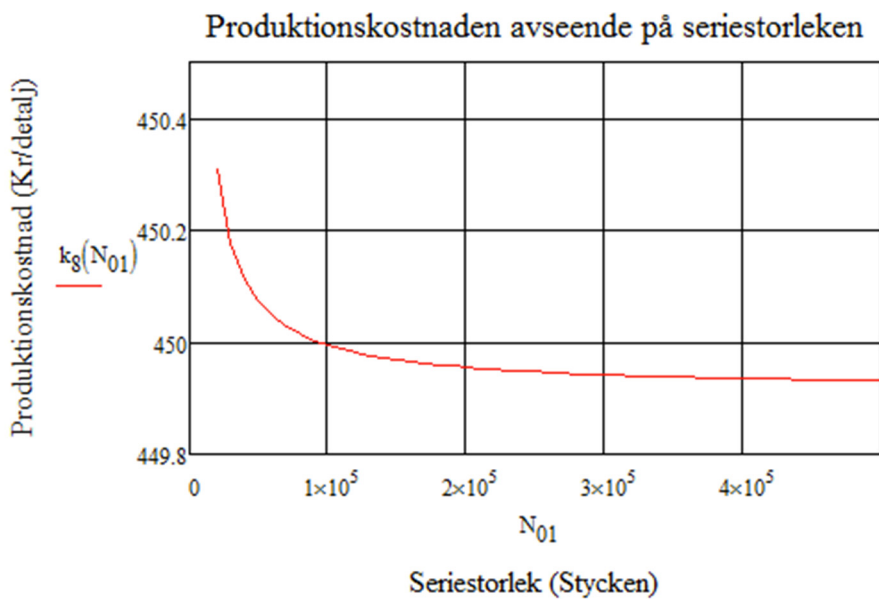
Figur 4.19 - Produktionskostnaden avseende på kassationsandelen.

4.2.2 Kostnadsanalys Företag B

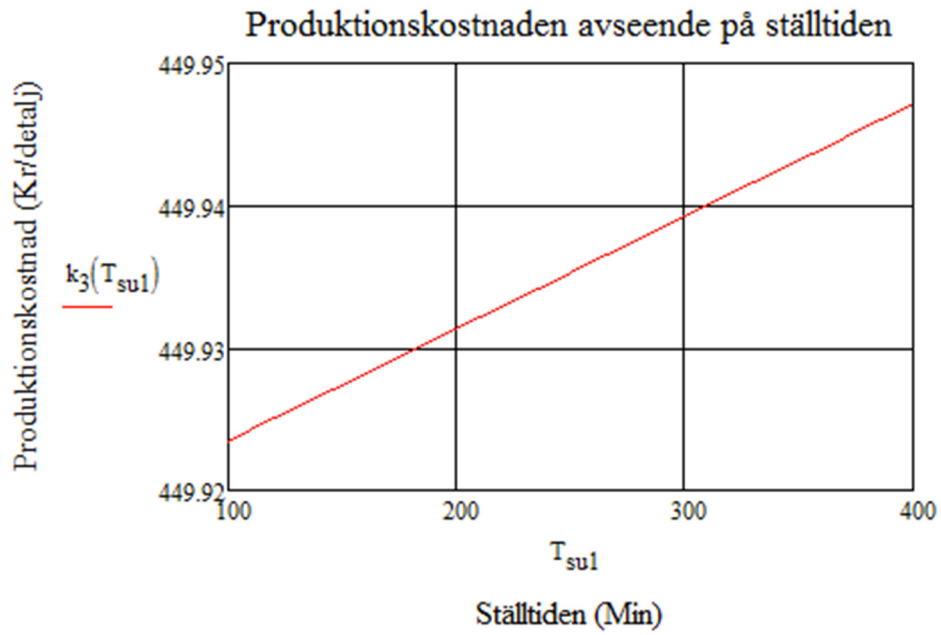
De faktorer som har varierat i analysen är följande: seriestorleken, cykeltiden, ställtiden, materialspillfaktorn, stilleståndsandelen och kassationsandelen.

Vevaxeln

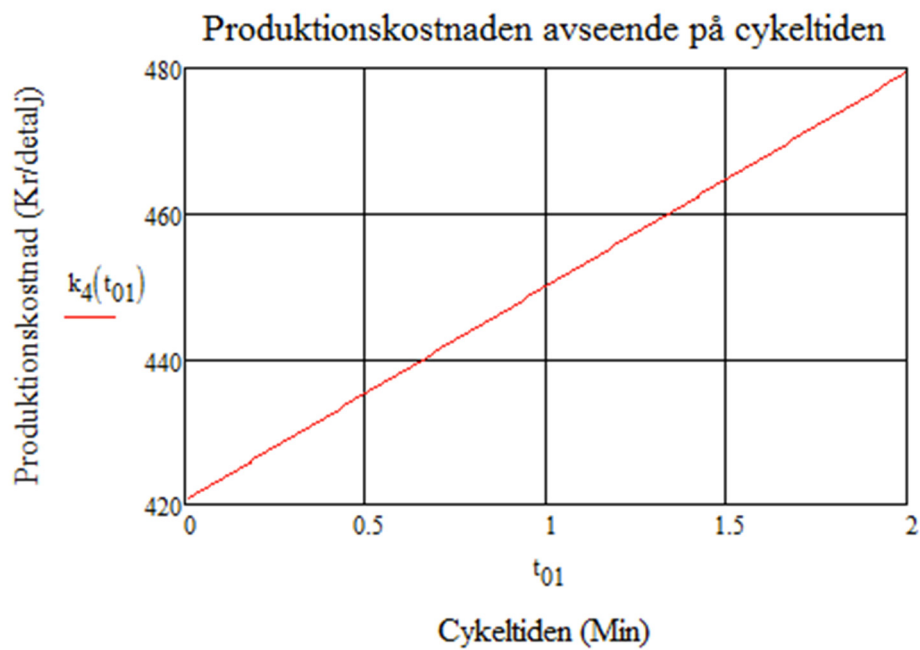
Produktionskostnaden för en detalj hos Företag B är enligt analysen 450 kr/detalj.



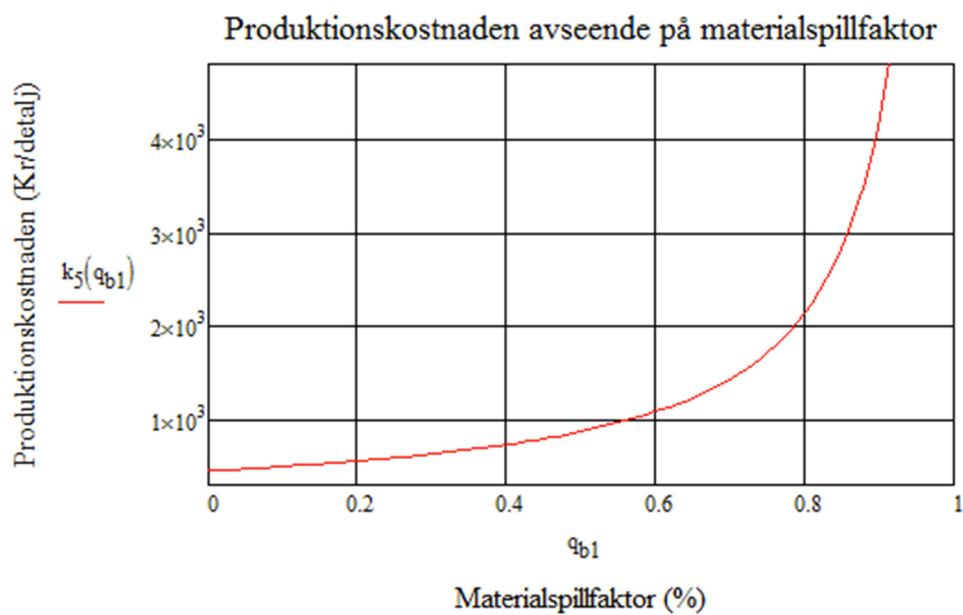
Figur 4.20 - Produktionskostnaden avseende på seriestorleken.



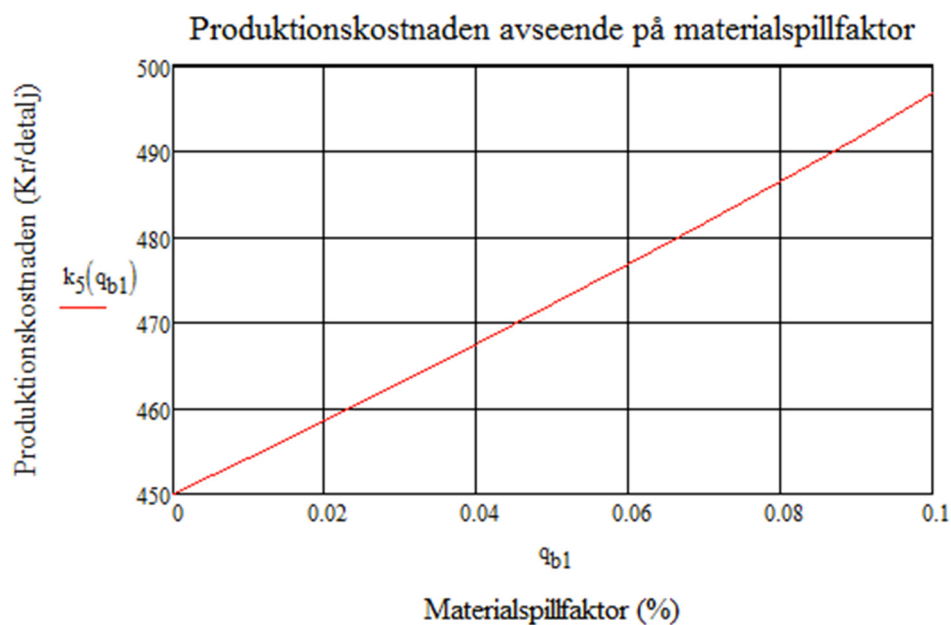
Figur 4.21 - Produktionskostnaden avseende på ställtiden.



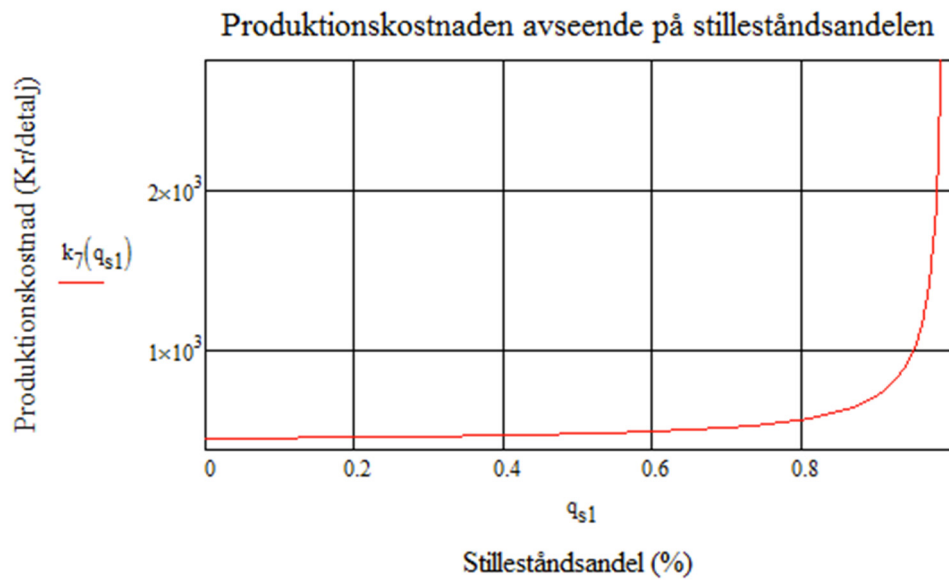
Figur 4.22 - Produktionskostnaden avseende på cykeltiden.



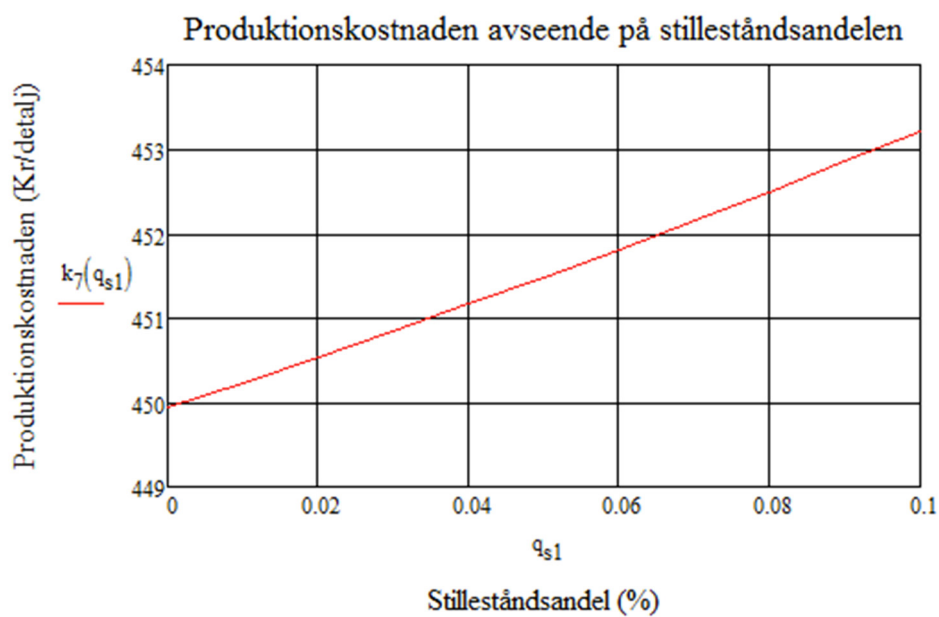
Figur 4.23 - Produktionskostnaden avseende på materialspliffaktorn.



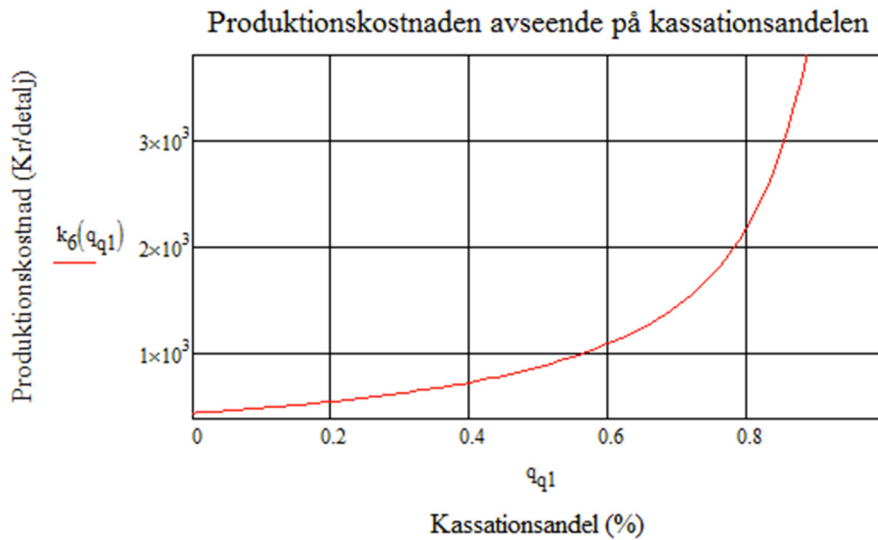
Figur 4.24 - Produktionskostnaden avseende på materialspliffaktorn.



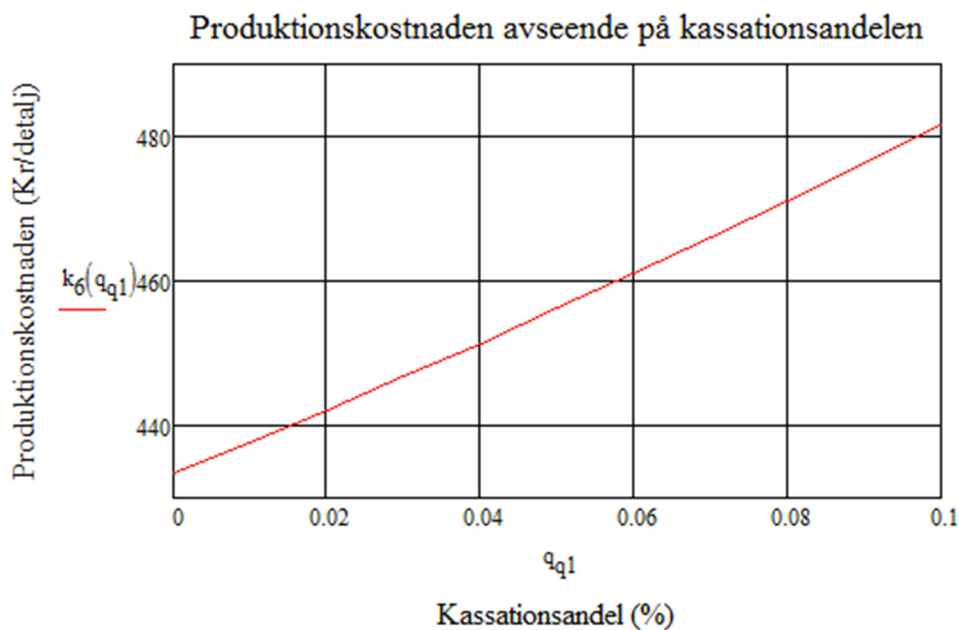
Figur 4.25 - Produktionskostnaden avseende på stilleståndsandelen.



Figur 4.26 - Produktionskostnaden avseende på stilleståndsandelen.



Figur 4.27 - Produktionskostnaden avseende på kassationsandelen.



Figur 4.28 - Produktionskostnaden avseende på kassationsandelen.

4.3 Kassationer och stillestånd på grund av toleransproblem

Företag A vet inte vad deras kassationsandel eller stilleståndsandel är för deras bearbetningsmetoder. Genom en analys av det tillgängliga datamaterialet kan kassationsandel och ombearbetningsandelen beräknas. Beräkningar redovisas i bilaga C.

Excenteraxel

- Kassationsandel 16 %
- Ombearbetningsandel 32 %

Hylsa

- Kassationsandel 7.2 %

- Ombearbetningsandel 2.4 %

En fördjupning i detta visar att de vanligaste felen är kopplat till fel i bearbetningen följt av måttfel och handhavande fel.

Företag B:s kassationsandel respektive omarbetningsandel är:

- Kassationsandel 3.86% vilket motsvarar 12 494 detaljer
- Omarbetningsandel 3.57 % vilket motsvarar 11 561 detaljer

En fördjupning i siffrorna avseende bearbetningsoperationer som fräsning, svarvning och slipning visar att kassationsandelen och omarbetningsandelen är:

- Kassationsandel för grovsvarvning av ramlager är 0.19% vilket motsvarar 616 detaljer samt 0.13 % vilket motsvarar 433 detaljer

Detaljerna kasserades på grund av att det uppstod kast-respektive längdfel.

- Ombearbetningsandelen för slipningsoperationen är 0.12 % vilket motsvarar 383 detaljer

Detaljerna fick ombearbetas på grund av att det blev fel diameter på ramlagera.

En fördjupning i varje maskin visar att de vanligaste felen som leder till kasserade detaljer är fel diameter för vev- och ramlager, vilket motsvarar 314 detaljer, kast på ramlager, 641. Dessa fel är fördelade mellan grovfräsning, grovsvarvning och slipning. Längdfelen uppstår vid grovfräsning och grovsvarvningsoperationerna och motsvarar totalt 434 detaljer.

Det vanligaste ombearbetningsfelet, om man undersöker varje maskin är fel diameter. De operationer som berörs är grovsvarvning och slipning, där största delen av felen uppstår i slipningsprocessen. Antalet detaljer som måste justeras på grund av fel diameter är 427 detaljer.

4.4 Mätmaskinernas och maskinernas noggrannhet

Mätmaskiner

Företagen använder olika typer av mätutrustning beroende på vad som ska mätas. Exempel på mätutrustningar är optik, tolkar, bågare och olika mätklockor.

Mätning sker under och efter processerna, för att upptäcka eventuella problem så tidigt som möjligt. Förstabskontroll efter t.ex. verktygsbyte m.m. är vanligt förekommande. Enligt företagen tas hänsyn till mätutrustningens toleranser och att mätningen sker vid rätt temperatur.

Företag A har en mätnoggrannhet i mätmaskinen på 2 μm vid mätning av hylsan.

Företag B använder mätmaskiner av märkena, Jenoptik och Marpos. De kräver en noggrannhet på deras mätningar som motsvarar;

- Repetitionsnoggrannhet över 50 cykler beräknat som 4 standardavvikelse skall vara mindre än 10 % av toleransen.
- Absolutnoggrannhet på medelvärdet över 5 mätningar jämfört med "rätt värde" skall vara mindre än 10 % av toleransen.
- I bägge fallen gäller att om 10 % av toleransen är mindre än 1 my så får man ändå använda 1 my istället för 10 %.

Företag B har en toleransnoggrannhet på plus minus 0.0095 mm för slutbearbetningen och plus minus 0.05 mm efter svarvningsoperationen. Detta innebär att mätmaskinernas mätnoggrannhet är enligt Företag B 0.00095 respektive 0.005 mm.

Maskiner

Företag B använder sig av SPS, Statistiks Process Styrning, vilket används för att styra och övervaka processen. Företag A använder inte SPS i dagsläget.

Maskinernas processduglighet bestäms som tidigare nämnts med processdugligheten, C_p och korrigerad processduglighet, C_{pk} . Riktvärdet för att maskinerna producerar godkända detaljer ligger på $C_{pk} = 1.33$

och C_p och C_{pk} ska vara lika för att maskinerna ska producera detaljer som ligger i mitten av toleransgränserna.

En undersökning av datamaterialet i bilaga D visar att maskinerna i stort sätt klarar av att producera godkända detaljer. Dock hamnar två av värdena utanför riktvärdet. Dessa värden berör ramlager 5 efter svarvningsoperationen där $C_p=1.04$ och $C_{pk} = 0.91$ och ramlager 4 vid slutkontrollen där $C_p=1.96$ och $C_{pk} = 1.29$.

Utifrån datamaterialet kan man även se att maskinerna inte producerar detaljer som ligger i mitten av toleransvidden då C_p och C_{pk} inte är lika.

4.5 Toleransbestämmelse

Toleranssättning sker till största del genom ett traditionsbaserat tänk d.v.s. att tidigare måttsättning används vid toleranssättning för nya produkter. Vid måttsättning av nya produkter påverkas eller förändras toleranserna genom att kunderna eller leverantörerna har specifika krav, eller att det utförs tester för att klargöra att toleranssättningen uppfyller vad som krävs av produkten. Vid framtagning av en ny måttsättning sker ett samarbete mellan konstruktörerna och produktionsteknikerna, för att klargöra vad maskinparken klarar av att tillverka. Detta är en kostsam och tidskrävande process, vilken företagen försöker undvika. Företagen försöker till största del använda standardmått och lika dimensioner, samt optimera tidsåtgången vid framtagning av nya produkter.

Företagen vet inte vad produktionskostnaden är för olika toleransintervall och vet inte när kostnaderna tillkommer vid toleranssättning. I dagsläget finns inget tak för vad en finbearbetning kan komma att kosta (en ”breakdown” kostnad kan avgöra vad produktionen får kosta). Den kunskap som finns angående kostnader för snävare toleranssättning är att det tillkommer kostnader, då det krävs en ny investering, för att kunna producera detaljer enligt måttsättning, samt även de löpande kostnaderna.

5 Resultat

I kapitel 5 behandlas resultatet från denna studie. En övergripande beskrivning av resultatet är att toleranssättning och tillverkning är ett mycket komplext område, där många faktorer spelar in.

Företagen anser att de har god inblick i sin produktion och vet var problemområdena finns. De medger dock att det finns en del områden som är problematiska att hantera.

5.1 Resultat kopplat till faktorgrupper

Problematiken kopplat till faktorgrupperna kan vara något av följande;

Verktyg

Verktygsslitage upplever företagen inte som ett problem för produktionen.

Arbetsmaterial och ämne

Företagen har problem med nya ”charger” inom ”batcherna” vid produktion, problemet är varierande materialsammansättning och påverkar kvaliteten på slutprodukten. Problematiken är delvis kopplat till kostnaderna för materialspecifikationerna.

Process

Det finns delvis samband mellan ställtider, cykeltider och toleranser samt flexibla maskiner. Det är svårare att hålla toleranserna med flexibla maskiner, då de är vekare i sin konstruktion, dock så medför flexibla maskiner kortare ställtider.

Efterbearbetning som t.ex. svetsning, gradning och påkrympning kan påverka toleranserna.

Personal och organisation, slitage och underhåll och speciella processbeteenden

Varken personal, slitage eller speciella processbeteenden är något större problem för företagen. Det problem som företagen har är att det uppstår gradbildning, men detta innebär inga problem för toleranserna, utan endast en extra bearbetningsoperation. Det kan uppstå spånklämmning vid långa borrhingsoperationer.

Kringutrustning

Fixturer för uppspanning av detaljen är ett område, som kräver god kunskap kring kraftbilden och kan leda till vibrationer vid bearbetning och formändringar vid för hårt spända detaljer.

Hantering av detaljerna kan skapa problem för toleranserna och ytkvaliteten då det kan uppstå klämmärken, slagmärken eller dimensions- eller ytdefekter på grund av lyftdonet.

5.2 Kostnader kopplat till faktorgrupper

Resultatet från kostnadsanalysen är att det är många faktorer, som påverkar toleranskostnaderna och att en god förståelse i faktorerna och kontinuerligt förbättringsarbete kan leda till stora besparingar.

Några faktorer som påverkar toleranskostnaderna är bland annat seriestorlek som bestämmer antalet inställningar, vilket i sin tur har en inverkan på kassationsandelen. En annan faktor är produktionsparametrarna, vilket påverkar cykeltiden och verktygsslitage m.m. Ytterligare effekten av valet av produktionsparametrarna är ändrad kassationsandel, stilleståndsandel m.m.

Enligt kostnadsanalysen från Företag A och Företag B påverkar materialspillfaktorn, stilleståndsandelen och kassationsandelen till största del produktionskostnaden. En minskning av materialspillfaktorn eller kassationsandelen leder till största besparingarna, vilket kan innebära en besparing på tusen eller hundra kronor per detalj för Företag A och flera kronor per detalj för Företag B.

5.3 Kassationer och stillestånd på grund av toleransproblem

Företagen har i nästintill ingen insikt rörande stilleståndsandel, materialspill, kassationer och kostnader, samt hur de är kopplade till tillverkning och toleranssättning.

Företag A:s kassationsandel respektive omarbetningsandel är:

Excenteraxel

- Kassationsandel 16 %
- Ombearbetningsandel 32 %

Hylsa

- Kassationsandel 7.2 %
- Ombearbetningsandel 2.4 %

Analysen visar att de vanligaste felen är kopplat till fel i bearbetningen följt av måttfel och handhavande fel.

Företag B:s kassationsandel respektive omarbetningsandel är:

- Kassationsandel 3.86% vilket motsvarar 12 494 detaljer
- Ombearbetningsandel 3.57 % vilket motsvarar 11 561 detaljer

Analysen visar att de vanligaste avvikelserna som leder till kassation hos Företag B i bearbetningsoperationerna, grovfräsning, grovsvarvning och slipning är avvikande diameter, kast och längdfel med respektive 314, 641 och 434 detaljer.

5.4 Mätmaskinernas och maskinernas noggrannhet

Mätmaskiner

Mätutrustningen är av varierande karaktär, beroende på vad som ska mätas. Mätningen sker tidigt i processen, för att upptäcka fel tidigt och på rätt sätt kostnaderna. Företagen säger sig ta hänsyn till mätutrustningens toleranser samt att mätningen måste ske vid rätt temperatur.

Företag A har en mätnoggrannhet i mätmaskinen på 2 µm vid mätning av hylsan.

Företag B har en mätnoggrannhet på sina mätmaskiner på 0.00095 och 0.005 mm.

Maskiner

Analysen av Företag B:s SPS resulterar i att maskinerna överlag producerar godkända detaljer, dock producerar inte maskinerna detaljer som ligger i mitten av toleransvidden. Det är två värden som inte hamnar inom riktvärdena, detta berör ramlager 5 efter svarvningsoperationen och ramlager 4 vid slutkontrollen.

5.5 Toleransbestämmelse

Toleranssättning sker till största del genom ett traditionsbaserat tänk och förändringar sker endast då nya krav från kunder/leverantörer tillkommer eller när förändringar på detaljen sker, vilket kräver ny måttsättning. Företagen försöker undvika att ta fram ny måttsättning då processen är resurskrävande.

Kunskapen kring vad produktionskostnaden för olika toleransintervall är eller när kostnaderna tillkommer för olika toleranssättningar saknas. I dagsläget har företagen inget kostnadstak för finbearbetning.

Det är svårt att ändra måttsättningen, då produkten har gått till produktion, vilket kan medföra att eventuella förbättringar går förlorade.

6 Diskussion

I kapitel 6 diskuteras resultatet samt huruvida syftet har uppnåtts och vilka möjligheter till vidareutveckling det finns angående projektet.

Rapporten resulterade i en överskådlig bild av vad dagens tillverkningsföretag anser vara för problemområden kopplat till toleranser. De industriella fallstudierna har inte genomförts på grund av, att det inte har funnits utrymme i produktionsprocessen att utföra dessa. För att fullständigt utföra en kartläggning av problemområdet krävs en djupare analys med experimentella laborationer. En reflektion kring faktorerna som påverkar toleranserna visar att området rörande toleranspåverkan är bredare än vad företagets syn på problemet är.

Kostnadsanalysen resulterade i förståelse att företag generellt inte har någon insikt i produktionskostnaden eller hur tillhörande parametrar som t.ex. kassation, stillestånd och materialspill påverkar kostnaderna och hur kostnaderna beror på en viss toleranssättning. Analysen bygger på verklig respektive fiktiv data, vilket måste tas hänsyn till vid användning av resultatet. De slutsatser som kan dras är att en god inblick i sina kostnader och produktionsparametrar kan leda till stora besparingar.

Företag A har en mätnoggrannhet vid mätning av hylsan på mikro nivå och Företag B en noggrannhet i slutmätningstrustningen på tiotusendelen. På den mätnoggrannhetsnivån är det många faktorer som spelar in i slutresultatet och små förändringar kan påverka resultatet till stor del. En del av de faktorer som är betydande är temperatur i mätutrustning och detalj, fixturer, uppspanning och omgivande miljö avseende vibrationer m.m. De tar hänsyn till en del av faktorerna. Mätutrustning klarar av att mäta med en noggrannhet på mikronivå samt på tiotusendelen, men klarar det totala mätsystemet av den noggrannheten?

Resultatet visar även att måttsättningen sker till största delen genom ett traditionstänk och att kunskapen kring kostnader kopplat till olika toleransintervall saknas. Detta medför att onödigt hårda krav ställs på bearbetningen vilket leder till ökade kassationer och kostnader för produktionen.

7 Reflektion

I kapitel 7 utförs en reflektion av problemområdet och vilka fördelar en ökad kunskap inom området hade bidragit med. Reflektionen tar även upp eventuella problem vid bearbetning kopplat till toleranser, vilket är strukturerat enligt faktorgruppernas princip.

Vilket framgått från rapporten och som även nämnts tidigare, men som är värt att återkomma till är komplexiteten i bearbetningsprocessen. Bearbetning enligt en viss toleranssättning eller efter ett visst ytkriterium är ett omfattande område, som spelar stor roll för tillverkningsindustrins framtid. Ökad kunskap kring bearbetningsprocessens faktorer spelar roll för slutkvaliteten och kan bidra till stora konkurrensfördelar och kostnadsbesparingar. I dagsläget är kunskapen kring måttsättning låg och sker till största del genom ett traditionstänk, kunskapen kring kostnader kopplat till olika toleransintervall saknas. Detta medför att onödigt hårda krav ställs på bearbetningen och på så sätt ökade kassationer och kostnader för produktionen. Kostnaderna påverkas bland annat genom att det är dyrare att ta fram nya produkter, inköp av nya maskiner, kontroller m.m. Vidare är kunskapen kring vad som konkret påverkar processen angående toleranser och ytor låg. Företagen kan endast i grova drag avgöra vad de anser påverka processen, men det finns ingen kunskap i hur stor del enskilda faktorer i processen påverkar det slutliga ämnets toleranser.

Företagen har generellt ingen insikt i produktionskostnaden eller hur tillhörande parametrar som t.ex. kassation, stillestånd och materialspill påverkar kostnaderna och hur kostnaderna beror på en viss toleranssättning.

Det är viktigt att en djupare analys utförs, där testkörningar är inkluderat, angående vilka faktorer som spelar roll och till hur stor del de påverkar tillverkningen. Ökade kunskaper kring processens påverkan på tillverkningen kommer leda till; lättare måttsättning, bättre val av maskinpark, vilket leder till optimerad produktion och styrning av processen samt minskade kostnader som i sin tur kan komma att leda till konkurrensfördelar.

En del faktorer som påverkar processen angående toleranser har berörts i arbetet. Detta är en del av alla faktorer som berör tillverkningsprocessen och genom en kort analys av processen med hjälp av faktorgrupperna kan ytterligare faktorer identifieras.

Verktyg

Verktygets påverkan på toleranserna kan bland annat bero på verktygsslitaget, verktygstoleranserna, verktygsprofilerna, antal skärytor på verktyget samt verktygsfixturena.

Arbetsmaterial och ämne

Detaljernas ämne har som tidigare nämnts en påverkan på toleranserna genom variationer i materialsammansättning mellan olika ”batcher”, men påverkar även genom variationer i materialegenskaper. Utgångsämnet måste antingen ha erforderliga toleranser för uppspänning, eventuell bearbetning för uppspänningsytor eller modifiering av arbetsstycket för uppspänningens skull. Detta kan medföra ökad vikt och extra operationer.

Process

Det största antalet faktorer, som påverkar tillverkningen finns inom området bearbetningen. Som nämnts tidigare har maskinens styvhet stor roll för tillverkningen och för kostnaderna. Styvare maskin medför bättre kvalitet på slutprodukterna, men innebär en högre kostnad vid inköp. Detsamma gäller för fixturer och uppspänningsutrustningarna, samt för operationsföljden då största möjliga styvhet i arbetsstycket önskas under processen. Fixturernas toleranser, styvhet och uppspänningsnoggrannhet avseende position och uppspänningskrafter är viktig för detaljens slutkvalitet. Fixturernas uppbyggnad påverkar i sin tur omställningstid, plundring, uppspänning m.m.

Andra faktorer som påverkar tillverkningsprocessen är operationsföljden avseende bearbetning, där det krävs följd operationer för att uppnå de höga toleranser och ytkrav som ställts. T.ex. kan höga kostnader erhållas vid polering om föregående finbearbetning gjorts på olämpligt sätt.

En annan faktor är val av skärdata och huruvida smörjning sker i processen eller ej.

Personal och organisation

Operatörens påverkan har minskat med åren, då produktionen sker mer automatiskt. Deras inflytande har gått från att helt fysiskt påverka processen till att alltmer ha en övervakande roll. Den övervakande rollen är dock viktig, då det uppstår problem i processen och snabb respons krävs, för att minska kassationerna och kostnaderna. Operatörerna måste även kontrollera maskinen, ämnena, de färdigbearbetade komponenterna samt mätutrustningarnas duglighet.

Kontroll och övervakning är inte de enda arbetsuppgifterna, som påverkar kvaliteten och kostnaderna, utan operatörernas noggrannhet vid verktygsbyte, rengöring och uppspänning. T.ex. så får inte skäret ligga och "glida" på något eller vid dubbelsidiga skär är det viktigt att inga påkletningar har uppstått på den "nya" understödsytan, för att inte påverka egglinjens position.

Vid uppspänning är det viktigt att uppspänningsytorna är rena och att gjutna eller smidda ämnen orienteras så att effekter av t.ex. partgrader, ingöt, matare och skägg minimeras.

Slitage och underhåll

Underhåll av maskiner och tillhörande fixturer sker med hjälp av underhållsplaner och är av stor betydelse för att upprätthålla maskinernas precision t.ex. för att undvika glapp och språnglika mått.

Speciella processbeteenden

Speciella processbeteenden som kan påverka den slutliga tolerans- och ytkvalitén är bland annat spånhamring, som kan bidra till ytjämnhetsproblem, spånklämning, löseggebildning, vilket kan påverka egglinjens position samt spånbrytningsprocessen, som kan resultera i formfel på mikronivå.

Kringutrustning

Kringutrustning som hanteringsutrustning eller mätmaskiner påverkar även detaljens toleranser och ytor. Mätmaskiner kräver vissa förutsättningar med vissa temperaturer och mätlängder för att ge noggranna mätningar. Mätmaskinerna innehar även toleranser, vilket påverkar slutmättet.

Som nämns indirekt i ovanstående stycke, är det en del faktorer, som spelar roll vid mätning och som påverkar det slutliga uppmätta resultatet. Vid en mätnoggrannhetsnivå på mikronivå eller tiotusendelen är det många faktorer som spelar in i slutresultatet och små förändringar kan påverka resultatet till stor del. En del av de faktorer som är betydande är temperatur i mätutrustning och detalj, fixturer, uppspänning och omgivande miljö avseende vibrationer m.m.

Hanteringsutrustningarna kräver rätt krafter vid hantering och eventuellt ett visst materialval i utrustningen

Referenslista

- Österlind, T. (2013). *An Analysis of Machining System Capability and Its Link with Machined Component Quality*. Stockholm: Stockholm : KTH Royal Institute of Technology, 2013.
- Andersson, A., & Ohlsson, M. (2013). *Produktion- och konstruktionsanalys av acceleratortekniska komponenter*. Industriell produktion. Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- Bansal, S., Malik, P., & Reddy, N. V. (2005). Modular fixture planning for minimum three-dimensional tolerances using a neutral part data exchange format. *International Journal of Production Research*. Mar2008, Vol. 46 Issue 6, p1455-1476. 22p. 1 Color Photograph, 7 Diagrams, 5 Charts, 5 Graphs. , 1455-1476.
- Bodecker, M. (2011). *Kvalitetssäkring i produktion*. Stockholm: KTH.
- Dhara, N. R., & Kamruzzaman, S. I. (2007). *Effect of Minimum Quantity Lubrication (MQL) on Tool Wear, Surface Roughness and Dimensional Deviation in Turning AISI-4340 Steel*. Bangladesh: G.U. Journal of Science .
- Fraticegli, B. M., & Lehtihet, E. A. (1999). Tool-wear effect compensation under sequential tolerance control. *International Journal of Production Research* , 639-651.
- Gustafsson, P., Alsam, U., Söderbom, J., & Malmgren, C. J. (2004). *Statistisk Processtyrning - Analys och styrning av SPS*. Stockholm: KTH.
- Ifmetall. (2013, - -). *Ifmetall*. Retrieved 05 31, 2015, from Ifmetall: [http://www.ifmetall.se/ifmetall/klubb/resources.nsf/vRes/volvo_verkstadsklubb_1333380118203_teknikavtalet2013_2016_pdf/\\$File/teknikavtalet2013-2016.pdf](http://www.ifmetall.se/ifmetall/klubb/resources.nsf/vRes/volvo_verkstadsklubb_1333380118203_teknikavtalet2013_2016_pdf/$File/teknikavtalet2013-2016.pdf)
- Lindström, A., & Heyman, E. R. (2014). *Cost Analysis for Crushing and Screening – Part I*. Lund: Lunds Universitet.
- Manganal, M. s. (u.å). *Manganese Steel Frequency Asked Questions (FAQ)*. Retrieved 01 04, 2015, from Manganal: <http://www.manganal.com/faq.html#question1>
- Millot, P., & Boy, G. A. (2012). *Human-machine cooperation: a solution for life-critical Systems?* Frankrike/USA: IOS Press.
- Moroni, G., & Petrò, S. (2013). *Optimal inspection strategy planning for geometric tolerance verification*. Italien: Elsevier.
- Nilsson, A.-N. (1966). *Kompendium i Mekanisk Teknologi LTH - Del 3*. Lund: Lunds Universitet.
- Rektron. (2014, 03 26). *Rektron*. Retrieved 03 09, 2015, from Statistiska grunder för SPS: <http://www.rektron.se/sps.aspx>
- Retriver. (2015). *Business*. Retrieved 02 09, 2015, from Retriver: <http://web.retriever-info.com.ludwig.lub.lu.se/services/businessinfo/displayBusinessInfo?orgnum=5560003468>
- Retriver. (2015). *Business*. Retrieved 02 09, 2015, from Retriver: <http://web.retriever-info.com.ludwig.lub.lu.se/services/businessinfo/displayBusinessInfo?orgnum=5560743089>
- Seco, & Ståhl, J.-E. (2012). *Metal Cutting Theories and models*. Lund: Lunds Universitet.
- SIS. (2013, 09 19). *Nyheter och press*. Retrieved 05 31, 2015, from SIS: <http://www.sis.se/Nyheter-och-press/Nyheter/Kvalitetsledning-stod-for-Volvo-i-Kina/>
- Skatteverket. (2015, - -). *Skatteverket*. Retrieved 05 31, 2015, from Företagorganisationer: <https://www.skatteverket.se/foretagorganisationer/arbetsgivare/socialavgifter/arbetsgivaravgifter.4.233f91f71260075abe8800020817.html>
- Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2007). *Operations Management 5th Edition*. Harlow: Prentice Hall.
- Ståhl, J.-E. (2012). *Industriella Tillverkningsssystem del 1 - Material och tillverkningsmetoder* (Upplaga 2 ed.). Lund: Lunds Universitet.
- Ståhl, J.-E. (2012). *Industriella tillverkningsssystem Del 2 - Länken mellan teknik och ekonomi*. Lund: Lunds Universitet.

Statistiskprocessstyrning. (2014, 05 08). *Statistiskprocessstyrning*. Retrieved 03 16, 2015, from Ordlista: <http://www.statistiskprocessstyrning.se/ordlista.html>

Sung, A., & Ratnam, M. o. (2014). Effect of tool nose profile tolerance on surface roughness in finish turning. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Feb2015, Vol. 76 Issue 9-12, p2083-2098. 16p. 1 Color Photograph, 5 Diagrams, 1 Chart, 13 Graphs. , 2083-2098.

Taavola, K. (2009). *Ritsteknik 2000 faktabok* (4 upplagan ed.). -: ATHENA lär.

Tydén, P. (70-tal). *Verkstadsteknisk mätteknik*. Lund: Lunds Universitet.

Bilaga A: Fördjupning

AA.1 Typer av toleranser

Här följer en övergripande förklaring kring några av formtoleranserna ovan.⁷⁴

- Raketstolerans område – Innebär att den toleransbestämda linjen skall ligga inom en cylinderyta med diametern t .
- Planhetstolerans område – Innebär att den toleransbestämda ytan skall ligga mellan två parallella plan som har ett inbördes avstånd t .
- Rundhetstolerans område – Den toleransbestämda cirkellinjen skall ligga inom två koncentriska cirklar på radiellt avstånd t från varandra.
- Cylindericitetstolerans område – Den toleransbestämda cylinderytan skall ligga mellan två koaxiella cylinderytor med ett radiellt avstånd t från varandra.
- Parallellitetstolerans – Två förklaringar; Den första förklaringen berör ett linjeområde. Detta innebär att den toleransbestämda linjen skall ligga inom en cylinderyta med diametern t , vars axel skall vara parallell med referenslinjen samt referensplanet. Den andra förklaringen berör ett ytområde. Detta innebär att den toleransbestämda ytan skall ligga mellan två parallella plan med inbördes avstånd t , vilka är parallella med referenslinjen samt referensplanet.

AA.2 Ytjämnhet

R_a -värdet – definieras som;

$$R_a = \frac{1}{L_m} \int_0^{L_m} |y| dx$$

L_m är mätsträckan. R_a -värdet talar om profilkurvans avvikelse från medellinjen under mätsträckan (Referenslängden) L_m .

R_z -värdet kallas även tiopunktsdjupet och definieras som;

$$R_z = \frac{R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9 - (R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10})}{10}$$

Vilket i ord kan förklaras genom att R_z -värdet skildrar medelavståndet mellan de 5 högsta och de 5 lägsta värdena i ytan längs med referenslängden.

R_{max} -värdet beskriver det största avståndet mellan topplinjen och bottenlinjen inom referenslängden.

Relativa bärigheten K_b beskriver förhållandet mellan sammanlagda längden av de sträckor som studerats och motsvarande referenslängd. De studerade sträckorna ska vara en parallell linje med medellinjen, och ska falla inom den under profilkurvan belägna snittytan.

Följande stycke är hämtat ifrån^{75 76 77}

AA.3 Måttkedjor

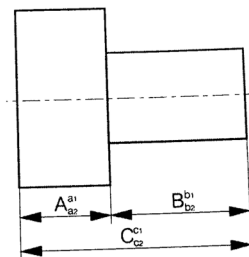
Det finns en del regler rörande beräkningar angående måttkedjor, se figur A.3.1.

⁷⁴ Tydén, *Verkstadsteknisk mätteknik*, 70-tal, s. 16

⁷⁵ Tydén, *Verkstadsteknisk mätteknik*, 70-tal, s. 39-45

⁷⁶ Ståhl, *Industriella Tillverkningsssystem del 1 - Material och tillverkningsmetoder*, 2012, ss. 51-57

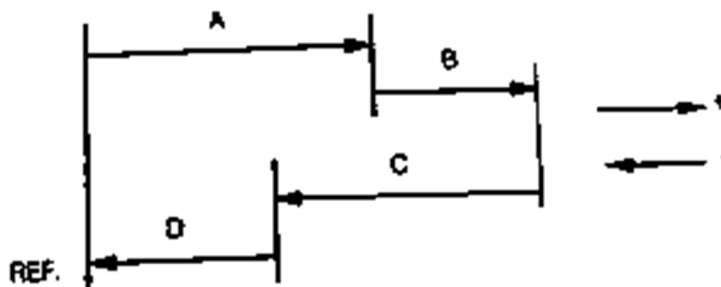
⁷⁷ Nilsson, *Kompendium i Mekanisk Teknologi LTH - Del 3*, 1966, ss. 20-25

Figur A.3.1 – Måttkedjor.⁷⁸

$$A_{a_2}^{a_1} = C_{c_2}^{c_1} - B_{b_2}^{b_1} = C - B_{c_2-b_1}^{c_1-b_2}$$

$$C_{c_2}^{c_1} = A_{a_2}^{a_1} + B_{b_2}^{b_1} = A + B_{a_2-b_2}^{a_1-b_1}$$

En regel som gäller för måttkedjor är att summa basmått är lika med noll. Figur A.3.2 illustrerar beräkningsättet.

Figur A.3.2 – Måttkedjor.⁷⁹

$$A + B - C - D = 0$$

Följande stycke är hämtat ifrån^{80 81}

AA.4 Mätning

Nedanstående för mått toleranser;

- Passbitar – Används för längdmått som t.ex. för inställning och kalibrering av mätdon. Den består av två parallella plana ytor som är tillverkat av ett dimensionsstabil och nötbäständigt material.
- Toleranstolkar – Används för att kontrollera axlar och hål. Den består av två delar, där ena delen kontrollerar bearbetningssidan och den andra delen för kasseringsidan.
- Mallar – En mall för att kontrollera formriktighet.
- Skjutmått – Används för kontroll mellan fränvända, motvända eller likvända ytor.
- Mikrometer – Används till kontroll av utvändiga-, invändigamått eller för djup och höjd. Består av en mätskruv.

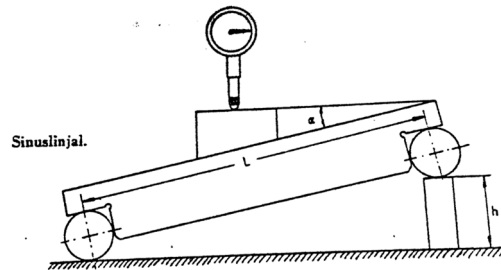
⁷⁸ Ståhl, *Industriella Tillverkningsystem del 1 - Material och tillverkningsmetoder*, 2012, s. 47

⁷⁹ Ståhl, *Industriella Tillverkningsystem del 1 - Material och tillverkningsmetoder*, 2012, s. 47

⁸⁰ Tydén, *Verkstadsteknisk mätteknik*, 70-tal, ss. 27-28

⁸¹ Ståhl, *Industriella Tillverkningsystem del 1 - Material och tillverkningsmetoder*, 2012, ss. 46-48

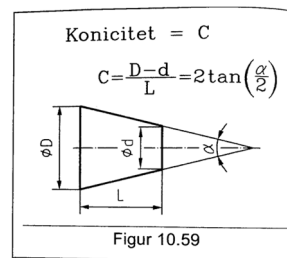
- Längdindikatorer – Mätdon för mätning av skillnader i längd. Tekniken består av mekaniska, optiska, pneumatiska eller elektiska principer.
- Mätmaskiner – Inom detta område finns en bred variation av mätutrustning från enkla mekaniska horisontalmätmaskiner till CNC-styrda maskiner.
- Sinuslinjalen – Används till vinkelbestämning, se figur A.4.1. Där man använder sambandet; $\sin(\alpha) = h/L$. Vid vinkelmätning så kan även ställbara vinkelmätare, vattenpas, kollimatorer och vinkelmätmikroskop användas



Figur A.4.1 – Sinuslinjal.⁸²

- Kontoleranser – Kan kontrolleras med hjälp av en kontolk. Mätningen sker genom att kontrollanten känner om tolken glappar mot axeln respektive i navet. Två andra tekniker som kan användas är sinuslinjalen eller den mer teoretiska metoden genom mätning av diametrar och sedan beräkna vinkeln.

Formeln som används är; $C = \frac{(D-d)}{L} = 2 * \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)$, figur A.4.2.



Figur A.4.2 - Mätteknik för koner.⁸³

Stycket är hämtat ifrån^{84 85 86}

Nedanstående för ytavvikelse;⁸⁷

- Människan – Människan kan genom sina sinnen, känseln och synen, avgöra om en yta är godkänd i en del av fallen. När det kommer ner till fina yt-toleranser, så krävs noggranna verktyg.
- Släpnål – Släpnålen har förklarats ovan, men fungerar på så sätt att man drar en mätsticka med olika radier över ytan för att avgöra de makro- och mikrogeometriska felen.
- Optisk mätning – Är en vidareutveckling av sensorerna i en CD-spelare. Tekniken är sådan att en laserstråle är riktad mot ytan.

⁸² Tydén, *Verkstadsteknisk mätteknik*, 70-tal, s. 83

⁸³ Taavola, *Ritsteknik 2000 faktabok*, 2009, s. 112

⁸⁴ Taavola, *Ritsteknik 2000 faktabok*, 2009, ss. 111-112

⁸⁵ Tydén, *Verkstadsteknisk mätteknik*, 70-tal, s. 83-85

⁸⁶ Ståhl, *Industriella Tillverkningsssystem del 1 - Material och tillverkningsmetoder*, 2012, s. 50

⁸⁷ Ståhl, *Industriella Tillverkningsssystem del 1 - Material och tillverkningsmetoder*, 2012, s. 58

- 3D-bilder – En relativt nyutvecklad metod är 3D-bilder. Resultatet är en yta istället för en linje.

AA.5 Fördelningskurvor

- Exponentialfördelning kan beskriva datamaterial där man undersöker tidsavståndet mellan föreelser.
 - Frekvensfunktionen; $f(x) = \lambda * e^{-\lambda * x}$, $\mu_x = \frac{1}{\lambda}$
 - Fördelningsfunktion; $F(X) = 1 - e^{-\lambda * x}$
- Weibullfördelning kan användas för att beskriva spridningar med varierande utseenden.
 - Frekvensfunktionen; $f(x) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} * x^{\alpha-1} * e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}$
 - Fördelningsfunktion; $F(X) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}$
- Gammafördelning kan användas för att beskriva köanalyser för logistikproblem.
 - Frekvensfunktionen; $f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha * \Gamma(\alpha)} * x^{\alpha-1} * e^{-\frac{x}{\beta}}$
 - Gammafunktionen; $\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty x^{\alpha-1} * e^{-x} dx$
- Normalfördelning är den vanligaste fördelningen och förklarar mätdata som är symmetriska kring medelvärdet.
 - Frekvensfunktionen; $f(x) = \frac{1}{\alpha * \sqrt{2 * \pi}} * e^{-\frac{(x-\beta)^2}{2 * \alpha^2}}$

Stycket är hämtat från ⁸⁸

A.8 Maskinduglighet

Beräkning av C_p och C_{pk} ; ⁸⁹

$$C_p = \frac{\text{ÖTG} - \text{UTG}}{6 * s}$$

Om medelvärdet ligger närmst övre toleransgräns.

$$C_{pk} = \frac{\text{ÖTG} - \bar{x}}{3 * rSigma}$$

Om medelvärdet ligger närmst undre toleransgräns.

$$C_{pk} = \frac{\bar{x} - \text{UTG}}{3 * rSigma}$$

$$rSigma = \frac{rAvg}{D2}$$

rAvg – Medelspridningen på de grupper som ingår i urvalet

D2 – Baseras på gruppstorlek, se tabell A.8.1.

⁸⁸ Ståhl, *Industriella Tillverkningsssystem del 1 - Material och tillverkningsmetoder*, 2012, s. 213

⁸⁹ Rektron, *Statistiska grunder för SPS*, 2014

Tabell A.8.1 - D2 värden.

Gruppstorlek	Värde (D2)	Gruppstorlek	Värde (D2)
2	1.128	14	3.046
3	1.693	15	3.472
4	2.059	16	3.532
5	2.326	17	3.588
6	2.534	18	3.640
7	2.704	19	3.689
8	2.847	20	3.735
9	2.970	21	3.778
10	3.078	22	3.819
11	3.173	23	3.858
12	3.258	24	3.895
13	3.336	25	3.931

Bilaga B: Intervjumall

En del av frågorna kommer kräva svar genom data material som t.ex. mät-protokoll, ritningar och kassaktionsandel m.m.

Allmänna frågor:

- Komponent?
- Antal olika produktvarianter av den valda komponenten?
- Produkter/år?
- Tillverkningstid?
- Typ av mätutrustning för toleranser, yt-krav och dimensioner? Temperatur, mät-fixturer
- Skiftgång? Förvärmning av maskiner innan bearbetning?
- Kassaktionsandel/stilleståndandel/reducerad produktionstakt på grund av toleransproblem?
- Operatörkostnader?
- Maskinkostnader?
- Ställtider?

Kunder

- Få specifika produkter eller standardprodukter? Hög eller lågproduktionsvolym?

Verktyg

- Typ av skärverktyg? T.ex. fräsning antal tänder m.m.
- Verktygsmaterial?
- Verktygsgeometrier?
- Verktygshållare, material, dämpad/odämpad?

Maskinutrustning, fixtur, beredning och processdata

- Typ av bearbetningsmetoder? svarvning, fräsning, slipning och hålbearbetningsoperationerna arborning, borring, upprymning och brotskning samt innerslipning.
- Maskin typ?
- Maskinpark? Tekniknivå, ålder
- Maskinfundaments material?
- Vilka fixturer används? Hur stor påverkan medför dessa på toleranserna?
- Produktionsdata? Hastighet, matning, skärdjup?
- Skärvätskor? Varför?
- Vid fräsning används wiperskär?
- Efterbearbetningsoperationer? Varmbearbetning?

Maskinunderhåll

- Hur sker underhållsarbete? Underhållsplaner, frekvens, avhjälpande eller förebyggande?
- Vanligt förekommande slitage? Dess påverkan på bearbetningen?
Speciella faktorer
- Problem med spånhamring, spånklämmning, lösegg, gradbildning eller liknande?
- Innebär detta extra operationer?
- Hur påverkar det toleranserna och ytorna?

Hantering av ämnen och detaljer

- Hantering av detaljen före, under och efter produktion?
- Påverkan på toleranserna?
- Dimensions fel på grund av olika uppspänningskrafter?
- Uppspänningsdeformationer?

Berörd person	Frågor	Svar
Konstruktör	<ol style="list-style-type: none"> 1. Övergripande beskrivning av problemområdet? En del av komponenten? Vida/snäva toleranser, vibrationer, löseggar m.m. 2. Vilka är de mest kritiska toleranserna och ytorna på vevaxeln? Är det ytor, dimensioner, form, eller egenskaper som är det kritiska? 3. Hur bedömer man kostnaderna för olika toleransintervall? 4. Fler operationer vid lägre toleransintervall? När tillkommer operationer? 5. Var tillkommer kostnaderna för att man är tvungen att lägga till en operation för att klara toleranskraven? 6. Högsta tillåtna kostnaderna för finbearbetningsoperationer? 7. Materialval, legeringsämnen? Variationer i bulkmaterial? 8. Hur sätter konstruktören toleranserna? laborationer, tidigare erfarenheter eller genom annan metod. 9. Toleranskrav, funktionsrelaterade, kund eller företagsbaserat eller av tradition? 10. Finns det alltid samband mellan dimension och yt-krav respektive dimension och egenskaper? 11. När i processen mäter man och analyserar yt-kraven och toleranser? I, efter processen? 12. Allkontroll? Del kontroll? Ta del av mät-protokoll, mått, dimensioner, ytor. (ytor och toleranser)(är det möjligt att ta del av mätprotokoll?) 13. Är de svåra toleranskraven knutna till specifika produktionsprocesser? 14. Kan man se att föregående operationstyper har ett inflytande på kvaliteten i slutbearbetningen? 15. Hur bedömer man kostnaderna för olika toleransintervall? 16. Hur bedömer man risken för kassation om man sätter ett visst toleranskrav? 17. Kassationer vid olika toleransintervall? 18. (Finns det något mätvärde på detta?) 19. Fler operationer vid lägre toleransintervall? När tillkommer operationer? 20. Var tillkommer kostnaderna för att man är tvungen att lägga till en operation för att klara toleranskraven? 21. Högsta tillåtna kostnaderna för finbearbetningsoperationer? 22. Hur tänker konstruktörerna angående metoder kopplat till toleranser? 23. Till hur stor del har toleranskostnaderna en påverkan under konstruktionsprocessen? 24. Operatörer eller annan personals direkt inflytande på toleranserna? 25. Behöver alla ytorna på vevaxeln vara toleranssatta? 26. Hur påverkar induktionshårdningen de toleranssatta måtten på detaljerna? Är det ytor med vissa toleranser som inte bearbetas efter denna operation? Om det är så, hur har dessa påverkats? 	
Övrig Information		

Berörd person	Frågor	Svar
Produktionsutvecklare/ Produktionschef	<ol style="list-style-type: none"> 1. Övergripande beskrivning av problemområdet? En del av komponenten? Vida/snäva toleranser, vibrationer, löseggar m.m. 2. Hur bedömer man kostnaderna för olika toleransintervall? 3. Kassationer vid olika toleransintervall? 4. Fler operationer vid lägre toleransintervall? När tillkommer operationer? 5. Var tillkommer kostnaderna för att man är tvungen att lägga till en operation för att klara toleranskraven? 6. Högsta tillåtna kostnaderna för finbearbetningsoperationer? 7. Hur tänker utvecklarna angående metoder kopplat till toleranser? 8. Till hur stor del har toleranskostnaden en påverkan under utvecklingsprocessen? 9. Operatörer eller annan personals direkt inflytande på toleranserna? 10. Hur stor del av kassationerna uppstår vid inkörning, verktygsbyten och uppträder tillsynes stokastiskt? 11. Påverkan av ny "charge" inom "batchen" för toleranserna? 12. Samband mellan ställtiden och toleranserna samt mellan genomloppstiden och toleranserna? 13. Till hur stor del kan man rädda detaljen? T.ex. "rework". Hur tar man hänsyn till råmaterialets kostnad och "added value"? 14. Utböjning av arbetsstycket eller verktyg och dess påverkan på toleranserna? 	
Övrig Information		

Berörd person	Frågor	Svar
Operatör	<ol style="list-style-type: none"> 1. Övergripande beskrivning av problemområdet? En del av komponenten? Vida/snäva toleranser, vibrationer, löseggar m.m. 2. Är de svåra toleranskraven knutna till specifika processer? 3. Kan man se att föregående operationstyper har ett inflytande på kvaliteten i slutbearbetningen? 4. Hur stor del av kassationerna uppstår vid inkörning, verktygsbyten och uppträder tillsynes stokastiskt(Slumpmässigt)? 5. Påverkan av ny ”charge” inom ”batchen” för toleranserna? 6. Samband mellan ställtiden och toleranserna samt mellan genomloppstiden och toleranserna? 7. Verktygsslitages påverkan på toleranserna? 8. Utböjningar av arbetsstycket och dess påverkan på toleranserna? 9. Väntetider då man väntar på att fixa problemen/et? 10. När uppstår problemen/et? Inkörning, mitt, slutet? 11. Operatörer eller annan personals direkt inflytande på toleranserna? 12. Dimensions fel på grund av olika uppspänningskrafter? Uppspänningsdeformationer? 13. Hantering av detaljen före, under och efter produktion? 14. Problem med spånhamring, spånklämmning, löseggar, gradbildning eller liknande? 15. Innebär detta extra operationer? 16. Hur påverkar det toleranserna och ytorna? 17. Efterbearbetningsoperationer? Varmbearbetning? 18. Vilka fixturer används? Hur stor påverkan medför dessa på toleranserna? 	
Övrig Information		

Berörd person	Frågor	Svar
Kvalitetspersonal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vilka komponenter är mest kritiska avseende toleranser och kassation? 2. Övergripande beskrivning av problemområdet? En del av komponenten? Vida/snäva toleranser, vibrationer, löseggar m.m. 3. Vad infattar dessa? Är det ytor, dimensioner, form, eller egenskaper som är det kritiska? 4. Finns det alltid samband mellan dimension och yt-krav respektive dimension och egenskaper? 5. När i processen mäter man och analyserar yt-kraven och toleranskraven? I, efter processen? 6. Allkontroll? Del kontroll? Om allkontroll ta del av mät-protokoll, mått, dimensioner, ytor.(Ytor och toleranser) 7. Är de svåra toleranskraven knutna till specifika processer? 8. Kan man se att föregående operationstyper har ett inflytande på kvaliteten i slutbearbetningen? 9. Hur stor del av kassationerna uppstår vid inkörning, verktygsbyten och uppträder tillsynes stokastiskt? 10. Påverkan av ny ”charge” inom ”batchen” för toleranserna? 11. Samband mellan ställtiden och toleranserna samt mellan genomloppstiden och toleranserna? 12. Till hur stor del kan man rädda detaljen? T.ex. ”rework”. Hur tar man hänsyn till råmaterialets kostnad och ”added value”? 13. Operatörer eller annan personals direkt inflytande på toleranserna? 14. Behöver alla ytorna på vevaxeln vara toleranssatta? 15. Kontrolleras alla toleranssatta mått? 16. Hur påverkar induktionshårdningen de toleranssatta måtten på detaljerna? Är det ytor med vissa toleranser som inte bearbetas efter denna operation? 17. Dimensions fel på grund av olika uppspänningskrafter? Uppspänningsdeformationer? 18. Hantering av detaljen före, under och efter produktion? 19. Problem med spånhamring, spånklämmning, löseggar, gradbildning eller liknande? 20. Innebär detta extra operationer? 21. Hur påverkar det toleranserna och ytorna? 22. Efterbearbetningsoperationer? Varmbearbetning? 23. Vilka fixturer används? Hur stor påverkan medför dessa på toleranserna? 	
Övrig Information		

Bilaga C: Sammanställning kostnadsanalys

Företag A

Antager

- Full beläggningsgrad
- Tar inte hänsyn till lager och hanteringskostnader
- Försummar verktygskostnaden
- Antager 30 dagars stillestånd för röda dagar m.m., Antager att det är 8 timmars arbetsdag.
T_{plan} = 52*5*16 – 30 *16 = 3680 timmar.
- Antager ingen nedsatt produktionstakt.
- Antager inget materialspill
- Antager att $K_{cp} = K_{cs}$
- Tidsperioden som berörs är:
 - Excenteraxel - 2013-10-09 - 2015-05-19
 - Hylsa - 2014-03-17 – 2015-04-30
- Kostnadsanalysen berör hylsan, BG00213813 och excenteraxlarna 53-267-179-000, 402.4330-02 och 400.2739-001 för att avgränsa arbetet.

Data

Variabler	Värde(Excenteraxel)	Värde(Hylsa)	Enhet
N_0	25	125	Stycken
k_{cp}/k_{cs}	1600	1600	Kr/h
T_{su}	60	60	Min
t_0^*	44100	5400	Sek
Ombearbetade	8	3	Stycken
Kasserade	4	9	Stycken
Operatörer	1	1	Stycken
k_b^{**}	32000-45000	5000	Kr/detalj
Skiftgång	2	2	Skift

*Excenteraxel – 12 timmar tillverkningstid och 15 minuter detalj byte. Hylsa – 1.33 timmar tillverkningstid och 10 minuter detalj byte

** Beror på materialval m.m. Genomsnittlig kostnad = $(32\ 000 + 45\ 000)/2 = 38\ 500$ kr

Kassationsandel(excenteraxel) = $4/25*100 = 16\ %$

Ombearbetningsandel(excenteraxel) = $8/25*100 = 32\ %$

Kassationsandel(hylsa) = $9/125*100 = 7.2\ %$

Ombearbetningsandel(hylsa) = $3/125*100 = 2.4\ %$

Löneberäkning;

Uppskattade löner från If Metall (lägsta lönen för arbetstagare som fyllt 18 år, gäller från 1 april 2015)

$k(\text{grund}) = 18625$ kr/månad

$k(\text{pålägg, 2år}) = 1087$ kr/månad

Semesterersättning = 13 %

Arbetsgivaravgift = 31,42 %

OB(2 skift) = 24.15 kr/h (16.30-22.30)

OB(3 skift) = 30.73 kr/h (22.30 – 06.30)

OB(5 skift) = 67.60 kr/h (22.30 dagen före till helgdag - 22.30 på söndagen eller sista helgdag)

Övertid = 64,95 kr/h (mån-fre)

Övertid = 111.32 kr/h (lör/söndag/helgdagar)

Antar att skift 2 får fullt kvälls-OB och att alla skift jobbar 8 h.

$k_d(2 \text{ skift}) = ((18\ 625 + 1087) * 12 * 1,3142 * 1,13/3680 + 24,15 * 6/24) = 101.49 \text{ kr/h}$

Känslig data har korrigerats med en korrigeringsfaktor.

Företag B

Antager

- Beräknar produktionskostnaden för en maskin.
- Full beläggningsgrad
- Tar inte hänsyn till lager och hanteringskostnader
- Försummar verktygskostnaden
- Antager 30 dagars stillestånd för röda dagar m.m. $T_{plan} = 52 * 7 * 24 - 30 * 24 = 8016$ timmar.
- Antar ingen nedsatt produktionstakt.
- Antar inget materialspill
- Antager att $K_{cp} = K_{cs}$

Data

Variabler	Värde	Enhet
N_0	359298	Stycken
k_{cp}/k_{cs}	1470	Kr/h
T_{su}	277	Min
t_0	60	Sek
Maskiner	32	Stycken
Operatörer	58	Stycken
k_b	405	Kr/detal
Skiftgång	5	Skift
q_q	3.86%	%

Löneberäkning⁹⁰⁹¹

Uppskattade löner från If Metall (lägsta lönen för arbetstagare som fyllt 18 år, gäller från 1 april 2015)

$K(\text{grund}) = 18\ 625 \text{ kr/månad}$

$K(\text{pålägg, 2år}) = 1087 \text{ kr/månad}$

Semesterersättning = 13 %

Arbetsgivaravgift = 31.42 %

⁹⁰ Ifmetall, *Ifmetall*, 2013

⁹¹ Skatteverket, *Företagorganisationer*, 2015

OB(2 skift) = 24.15 kr/h (16.30-22.30)

OB(3 skift) = 30.73 kr/h (22.30 – 06.30)

OB(5 skift) = 67.60 kr/h (22.30 dagen före till helgdag - 22.30 på söndagen eller sista helgdag)

Övertid = 64.95 kr/h (mån-fre)

Övertid = 111.32 kr/h (lör/söndag/helgdagar)

Antar att skift 2 får fullt kvälls-OB och att alla skift jobbar 8 h.

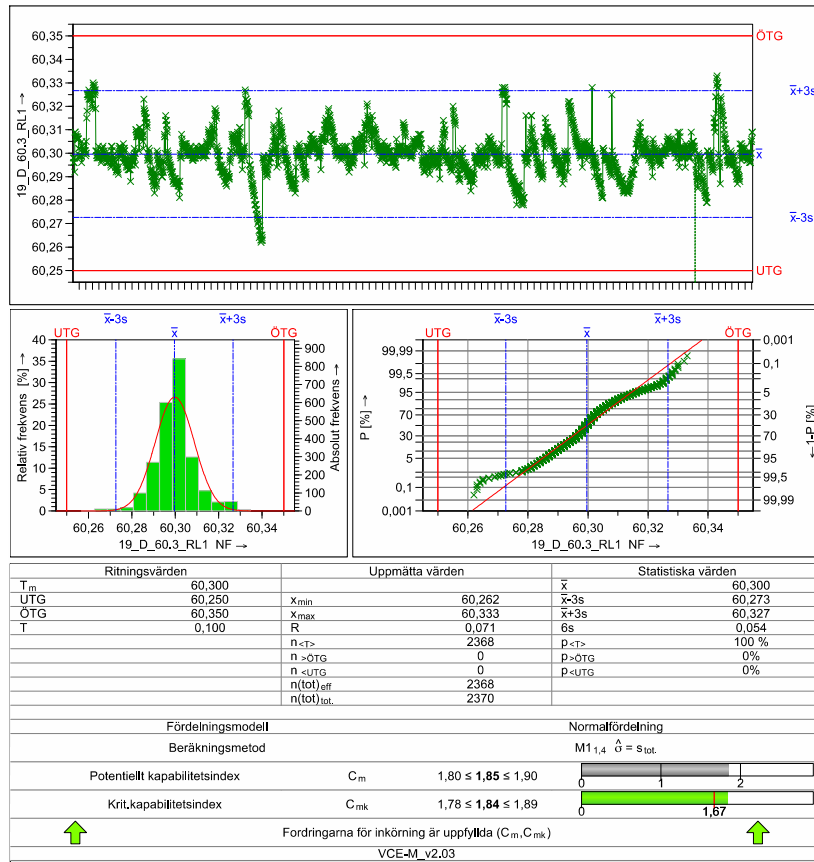
$$k_d(5 \text{ skift}) = ((18\,625 + 1087) * 12 * 1,3142 * 1,13 / 8016 + 24,15 * 6 / 24 + 30,73 * 8 / 24 + 67,60 * 48 / 48) = 127.70 \text{ kr/h}$$

Det är $58/32 = 1.81$ operatörer/maskin

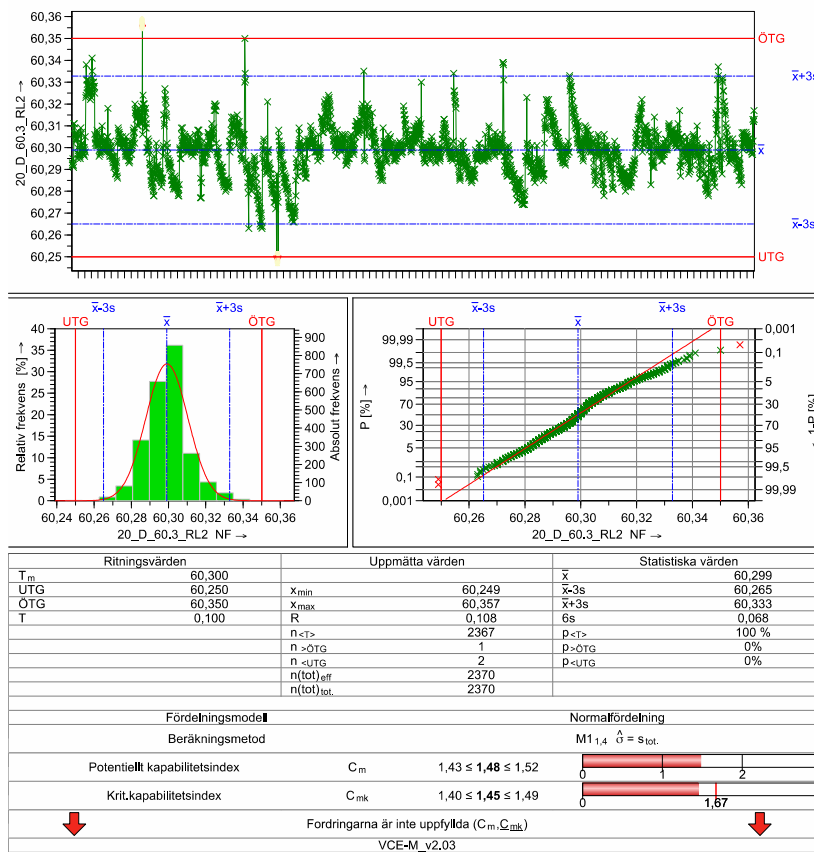
Bilaga D: Företag B datamaterial

Svarvningsoperation

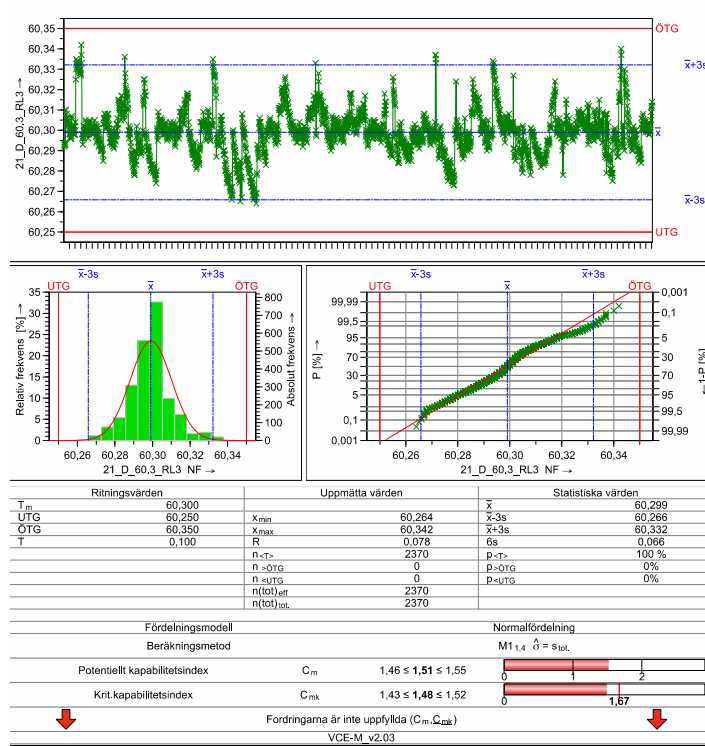
Ramlager 1 – mot kuggsidan



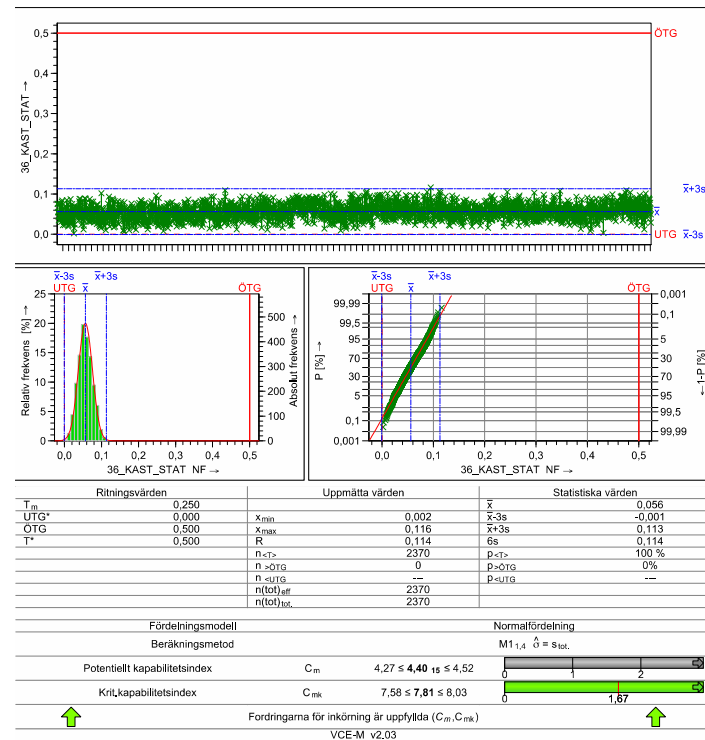
Ramlager 2



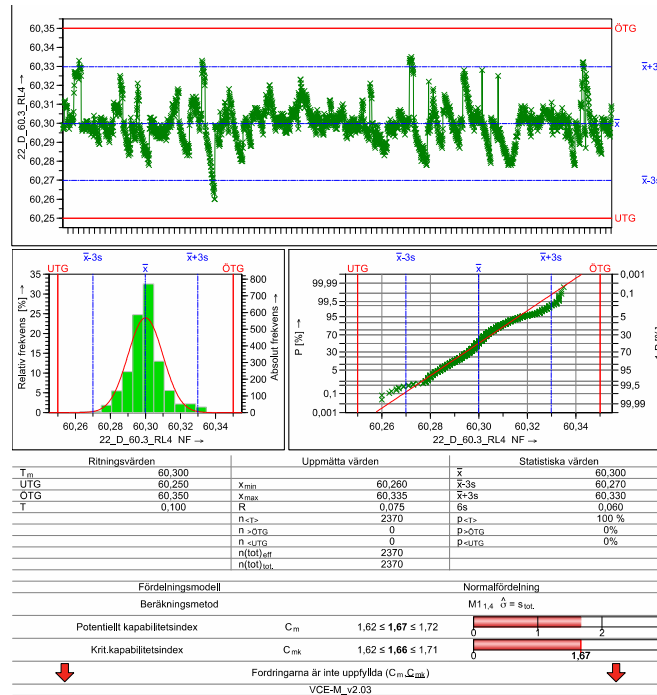
Ramlager 3



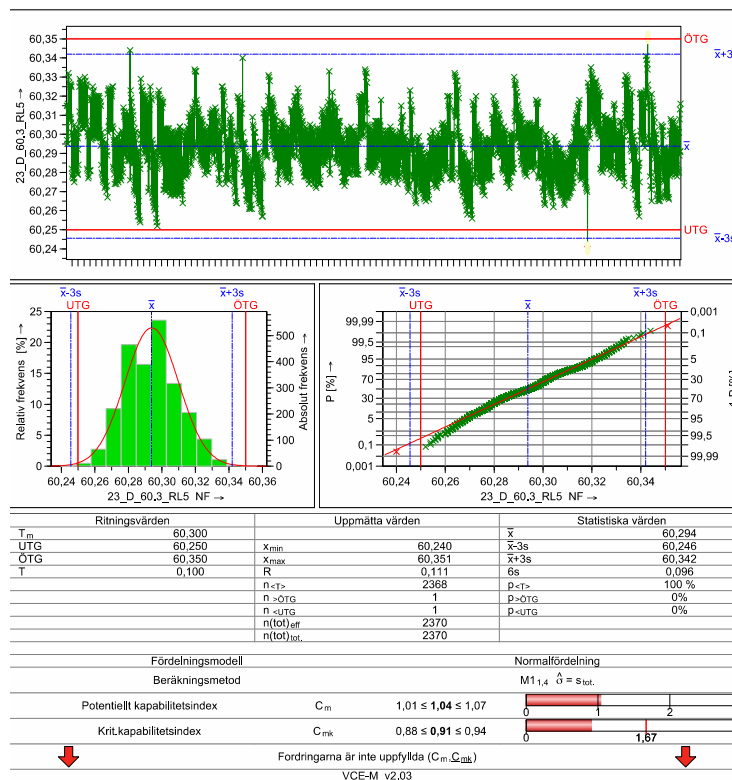
Kast



Ramlager 4

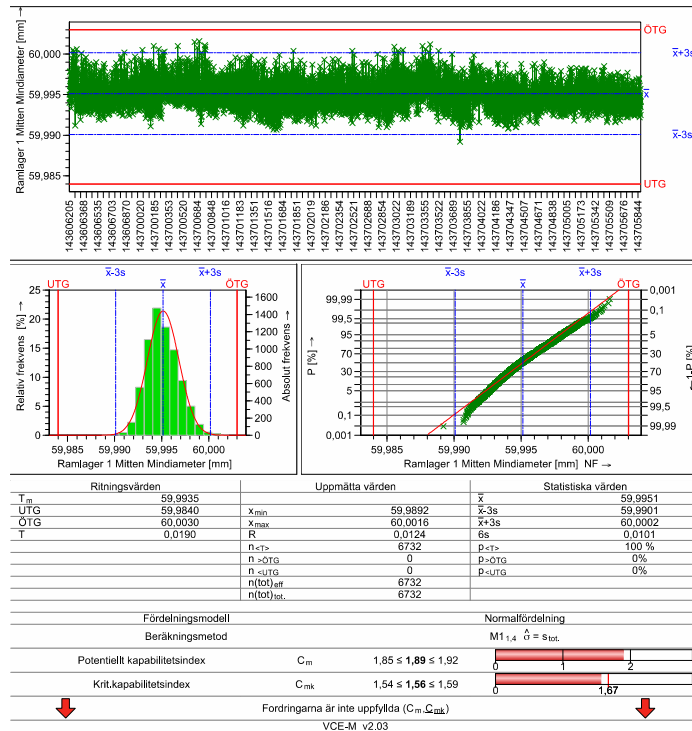


Ramlager 5

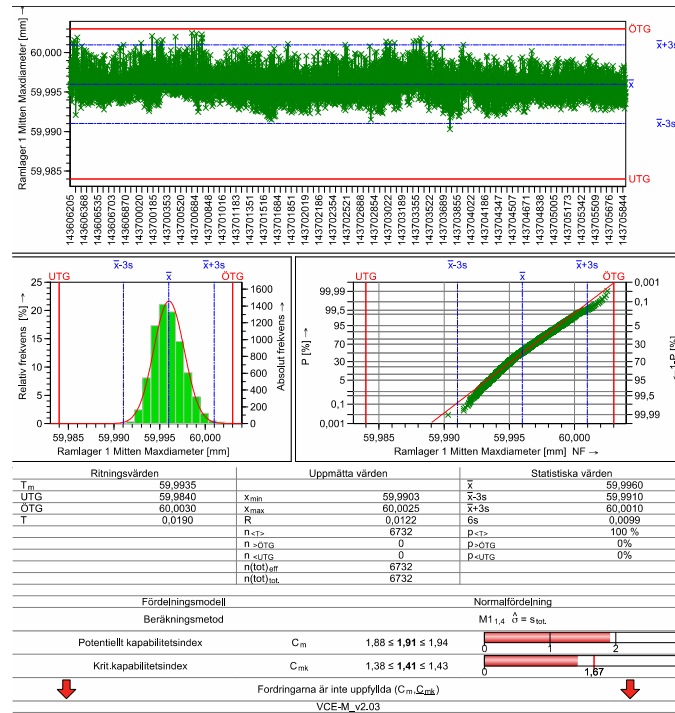


Slutmätning

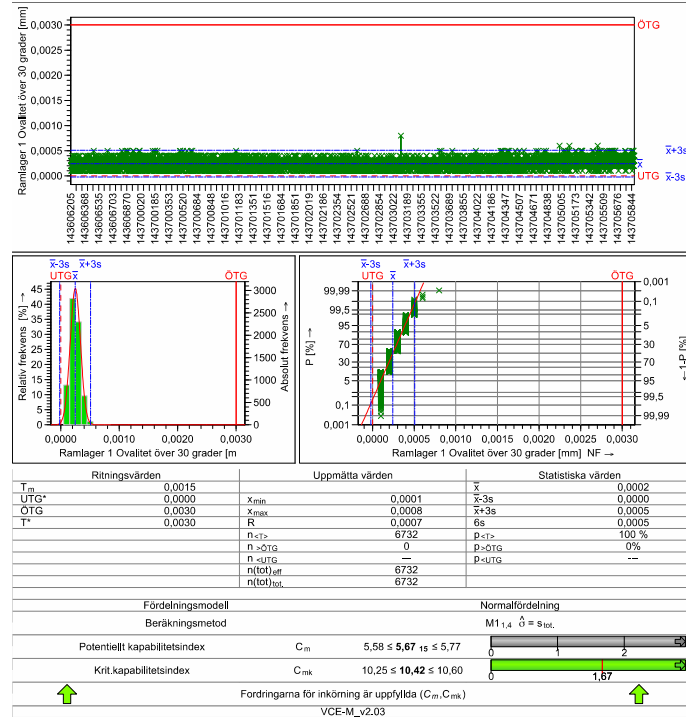
Ramlager 1 – mot kuggsidan
Mindiameter;



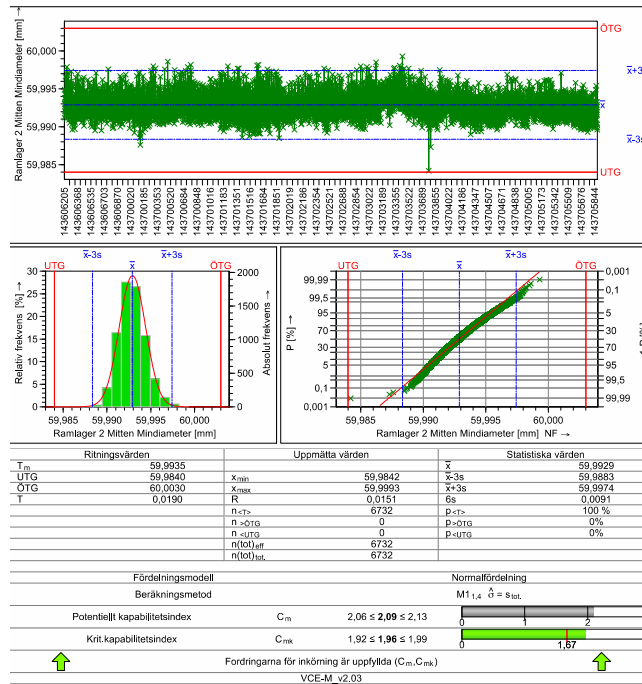
Maxdiamter;



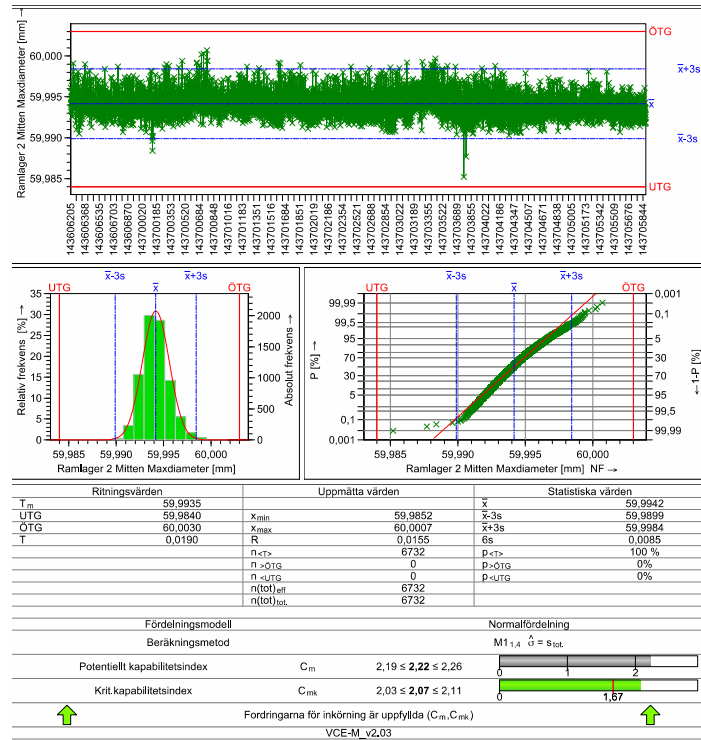
Ovalitet över 30 grader;



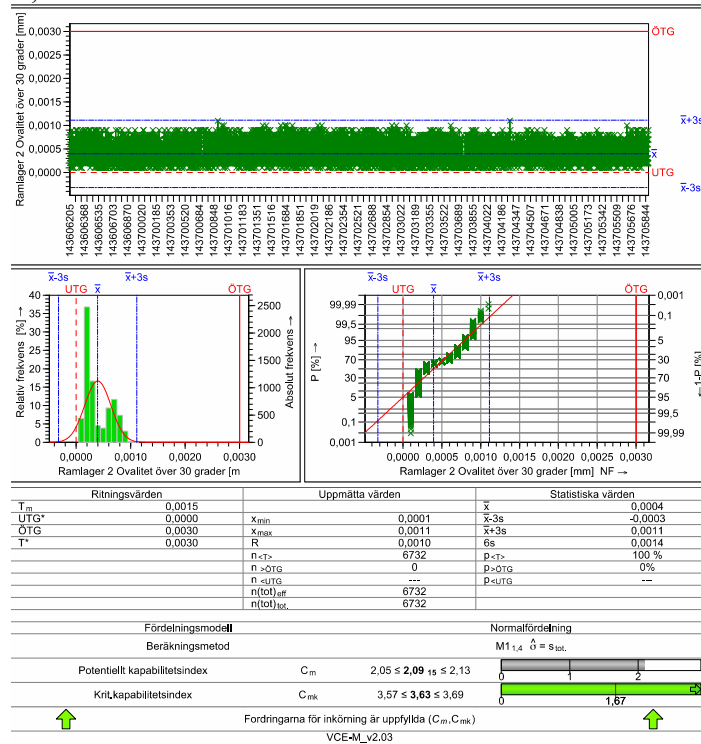
Ramlager 2 Mindiameter;



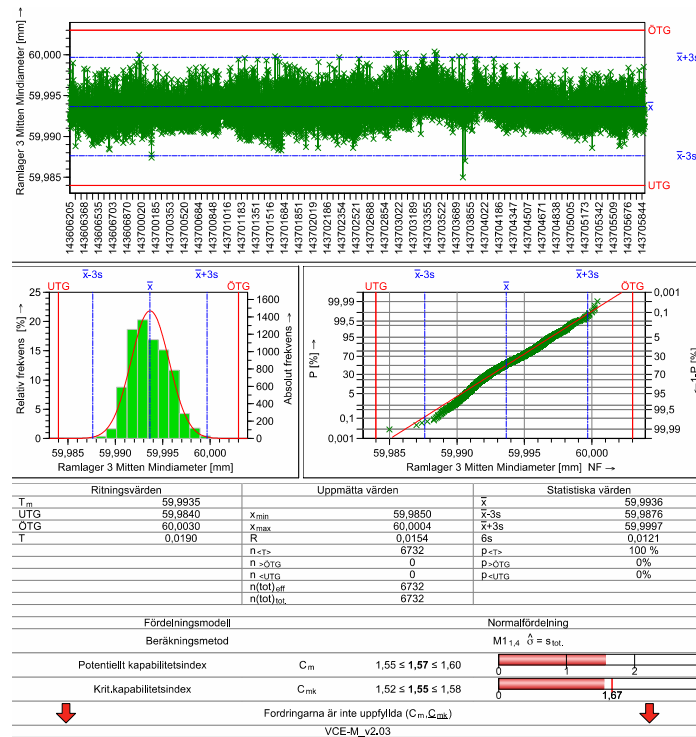
Maxdiameter;



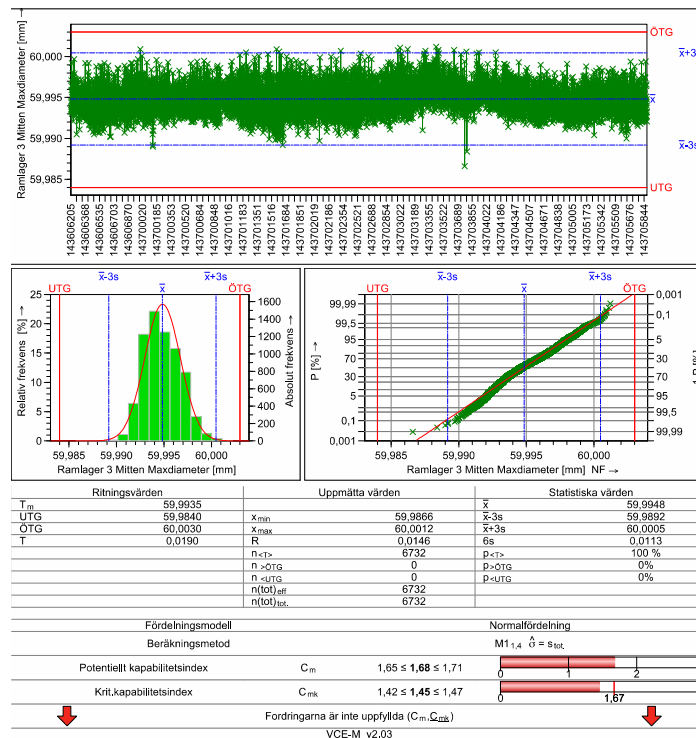
Ovalitet över 30 grader;



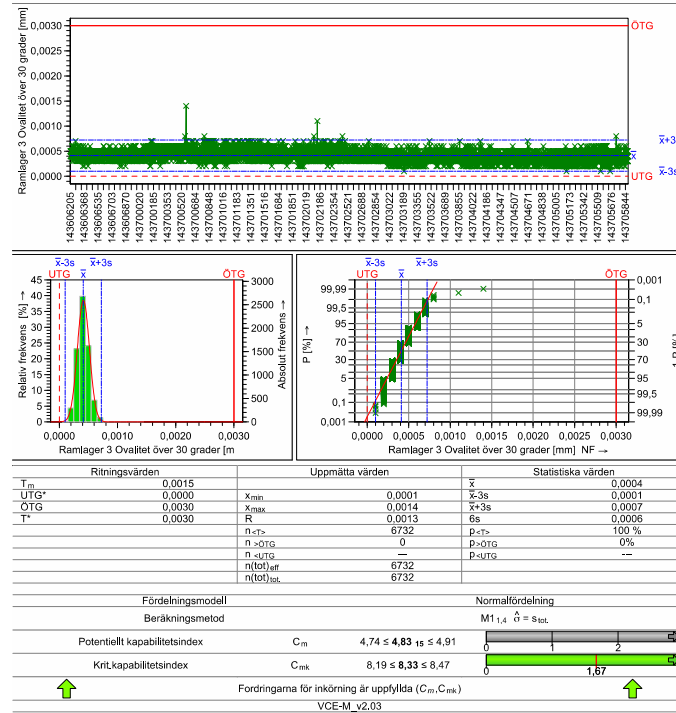
Ramlager 3
Mindiameter;



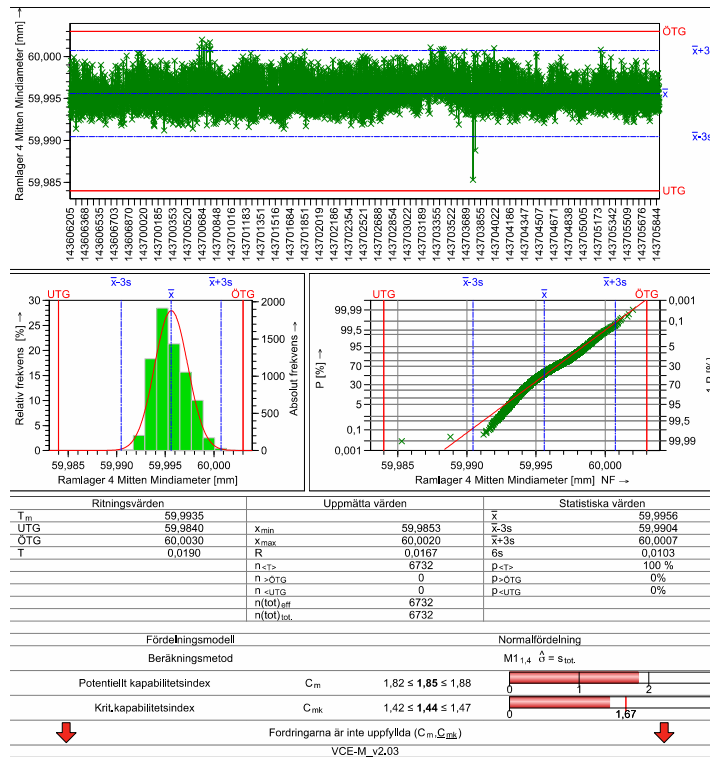
Maxdiameter;



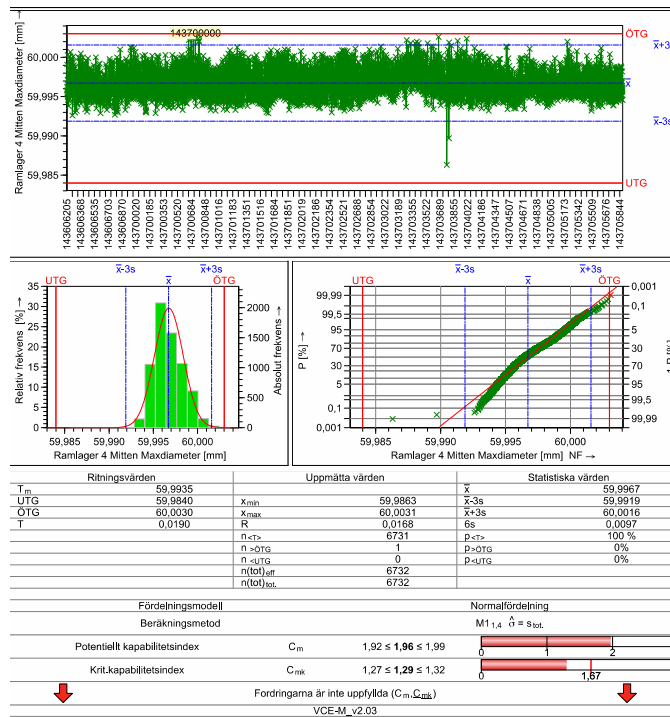
Ovalitet över 30 grader;



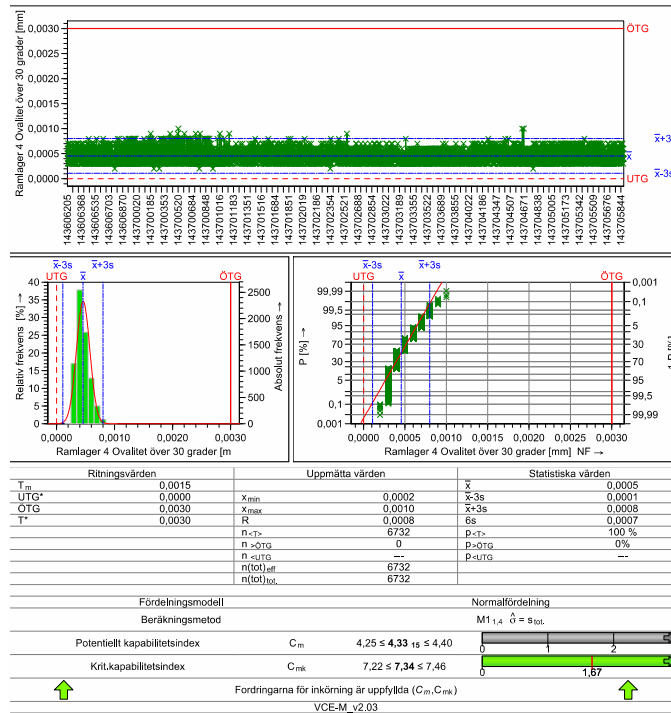
Ramlager 4 Mindiamter;



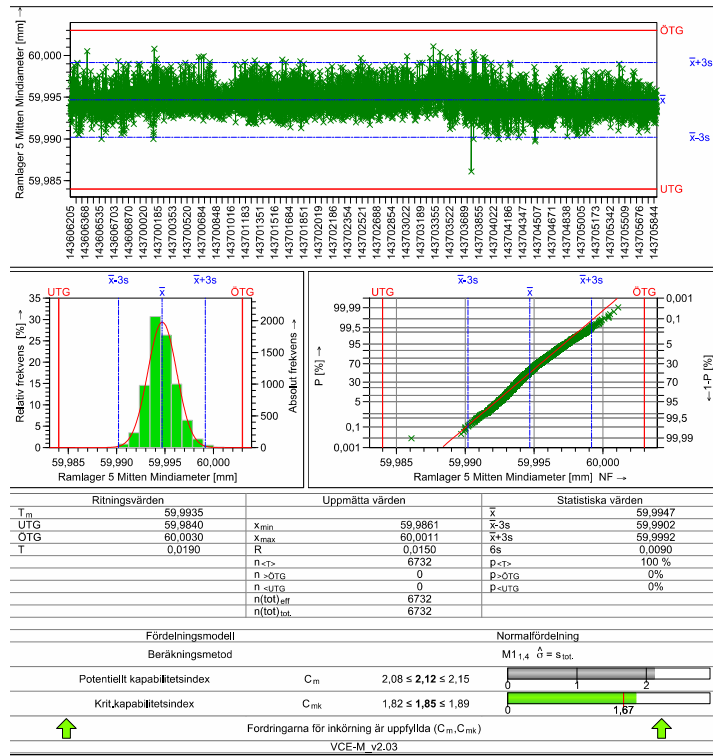
Maxdiameter;



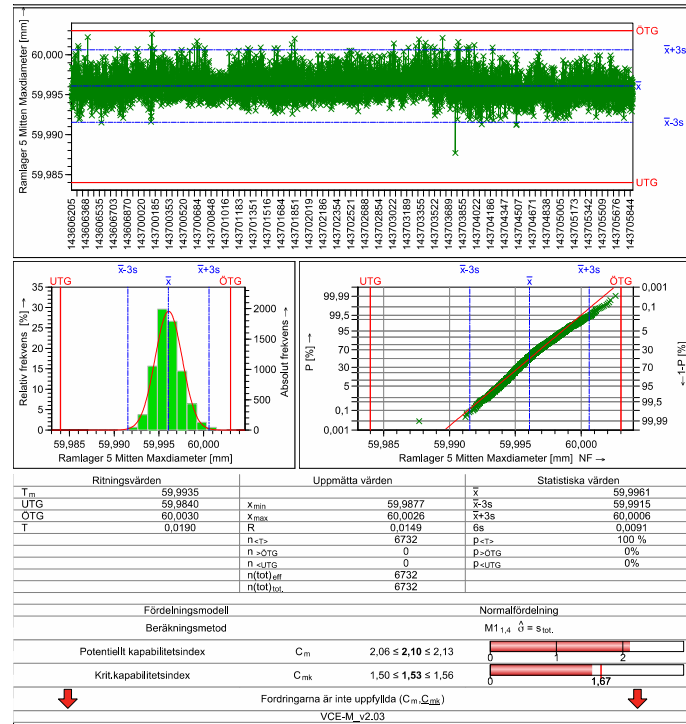
Ovalitet över 30 grader;



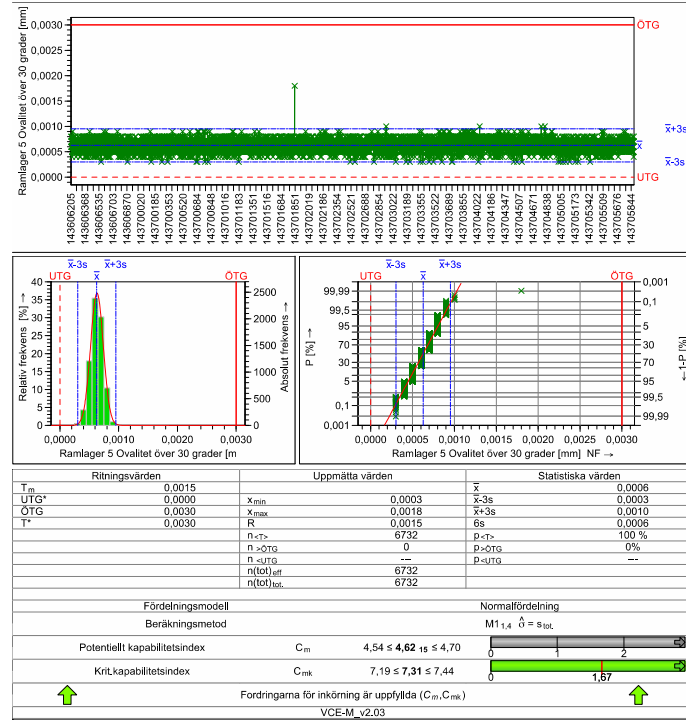
Ramlager 5
Mindiameter;



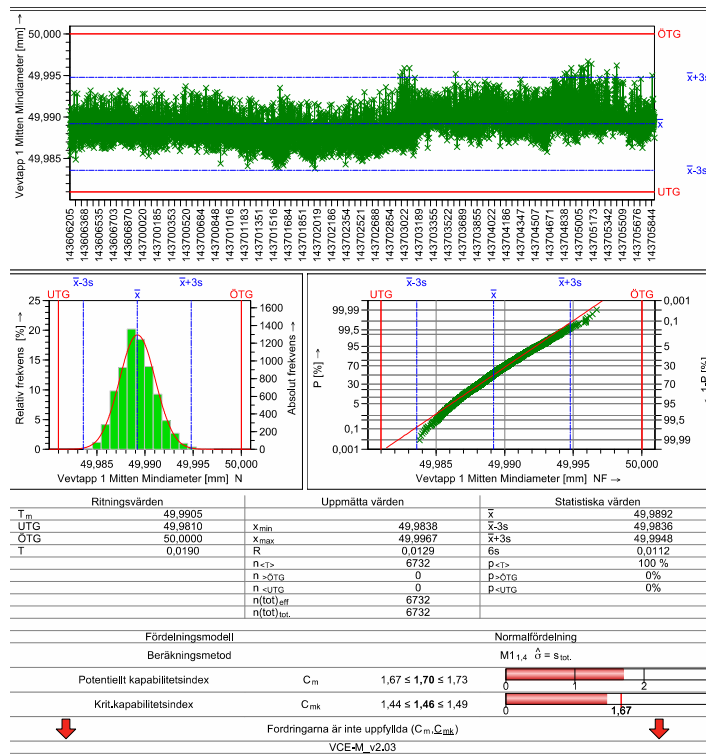
Maxdiameter;



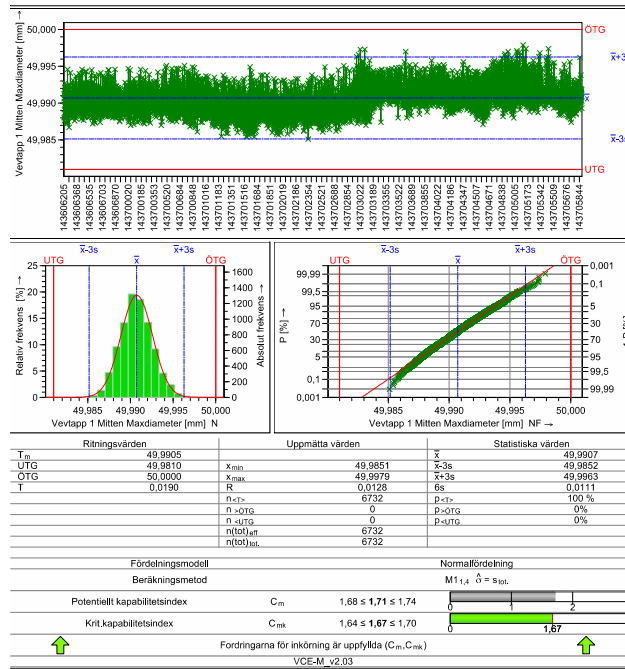
Ovalitet över 30 grader;



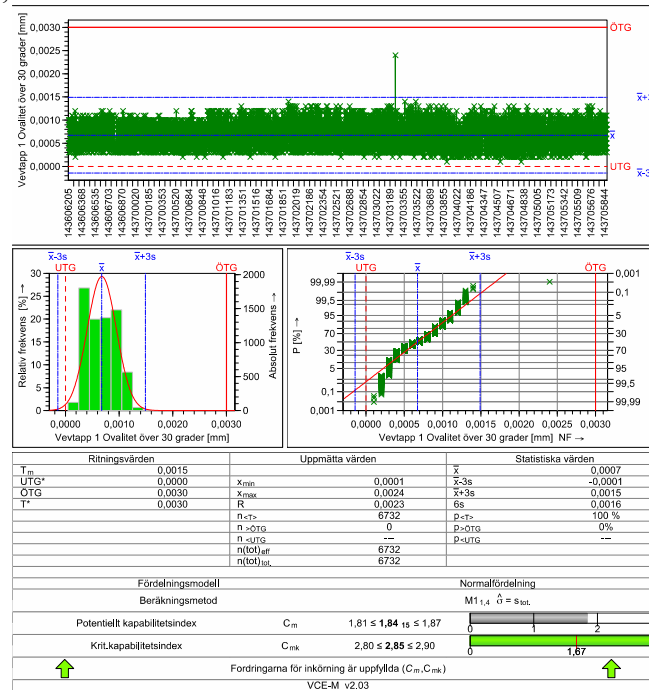
Vevaxel 1 – Mot kuggsidan Mindiameter;



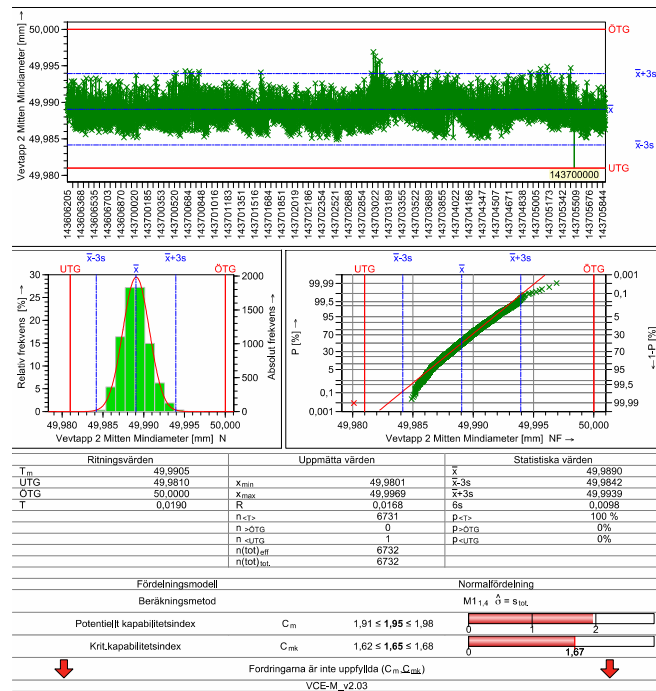
Maxdiameter;



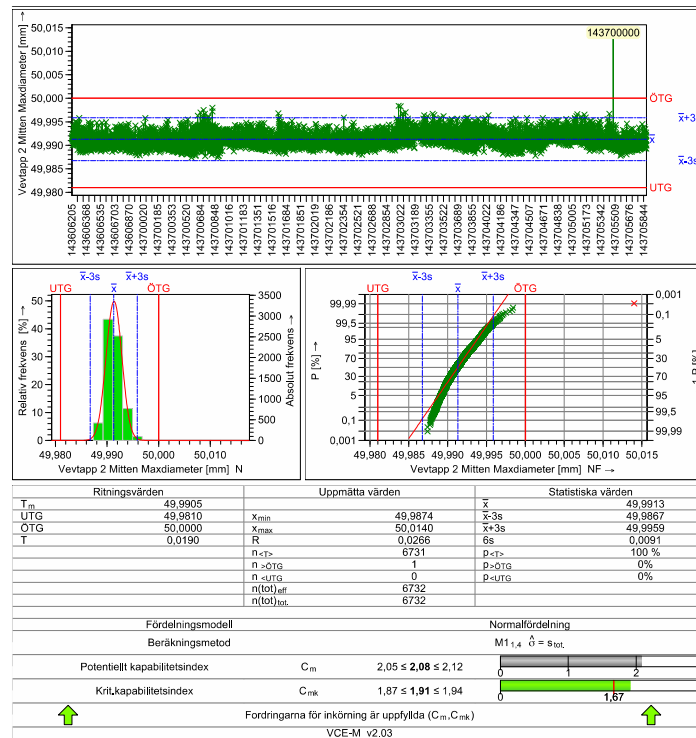
Ovaliet över 30 grader;



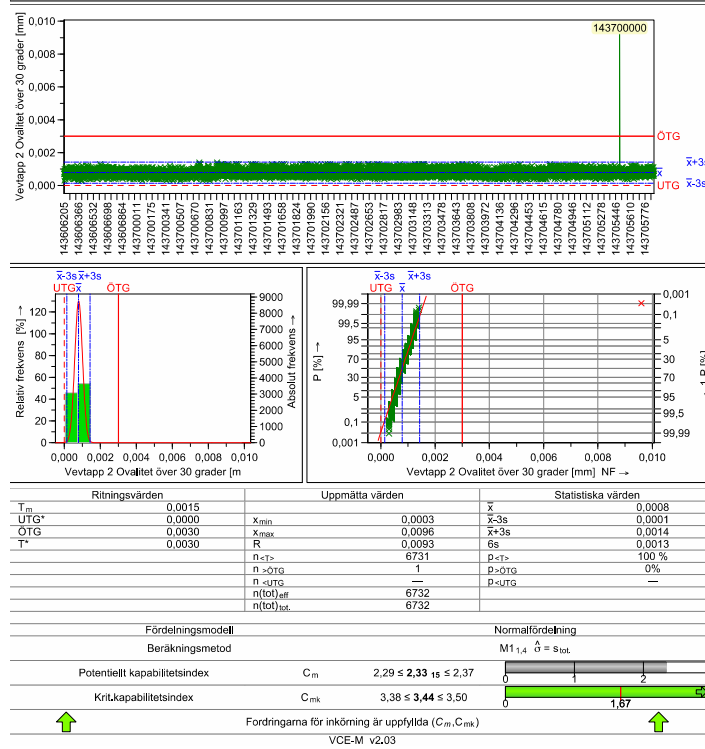
Vevlager 2
Mindiameter;



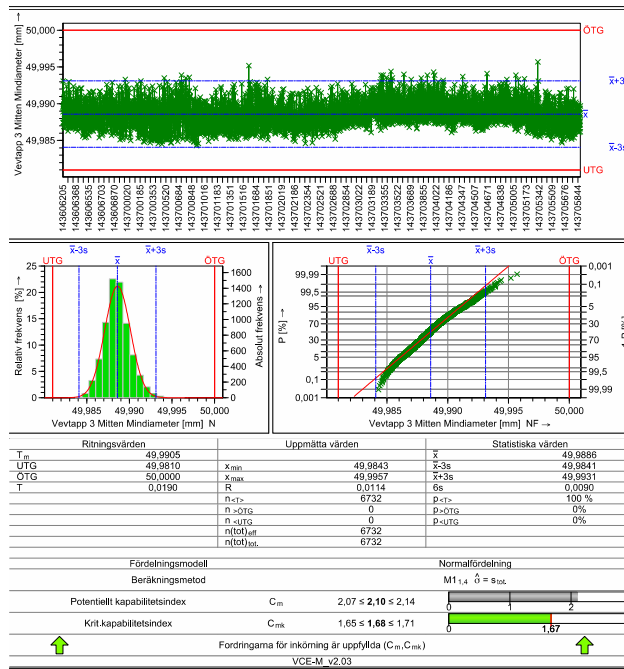
Maxdiameter;



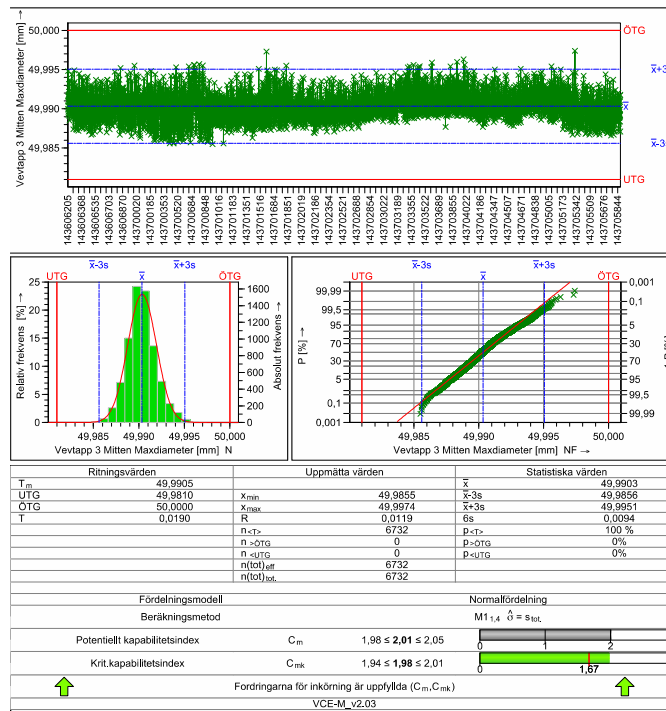
Ovalitet över 30 grader;



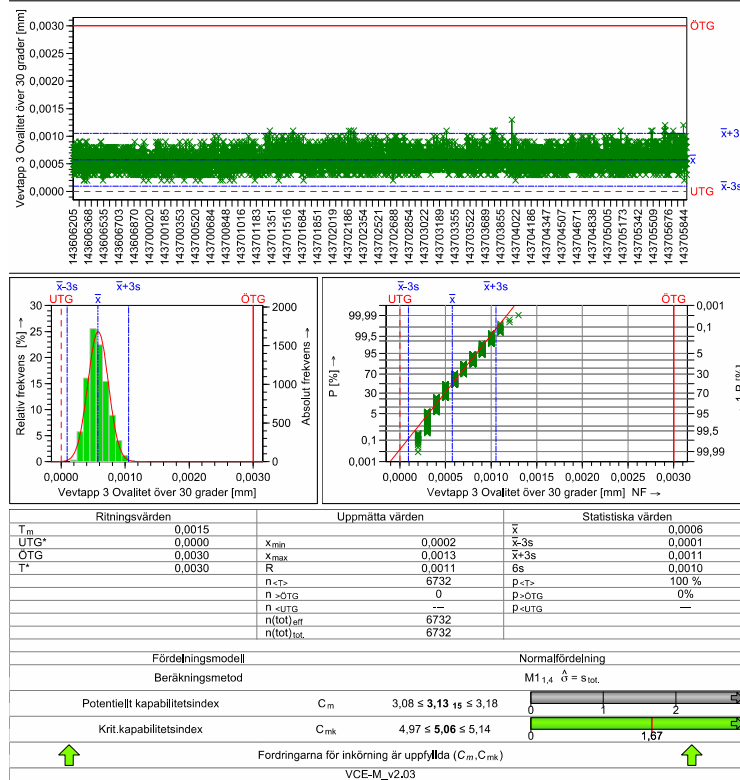
Vevlager 3 Mindiameter;



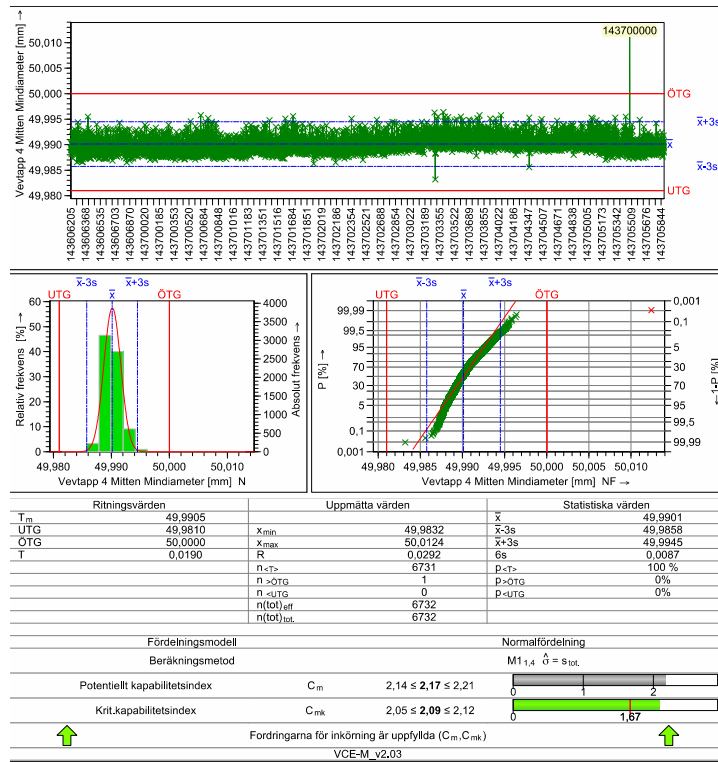
Maxdiameter;



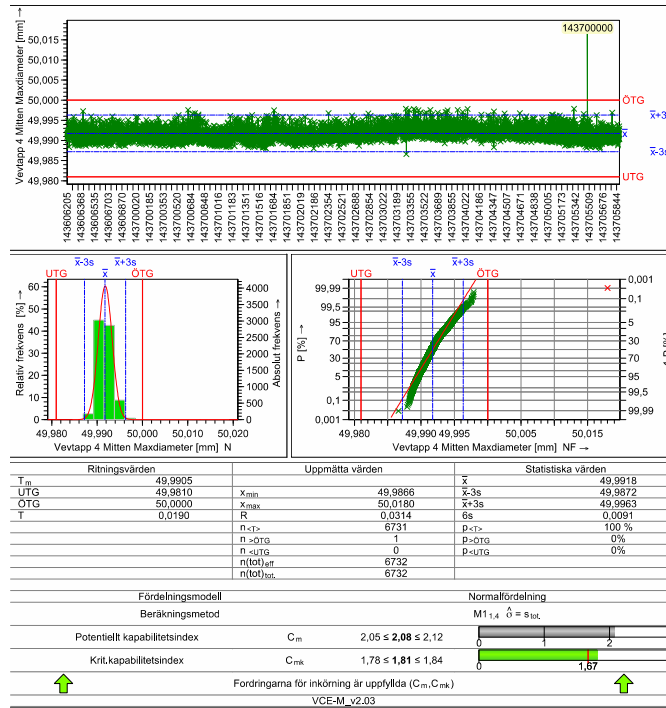
Ovalitet över 30 grader;



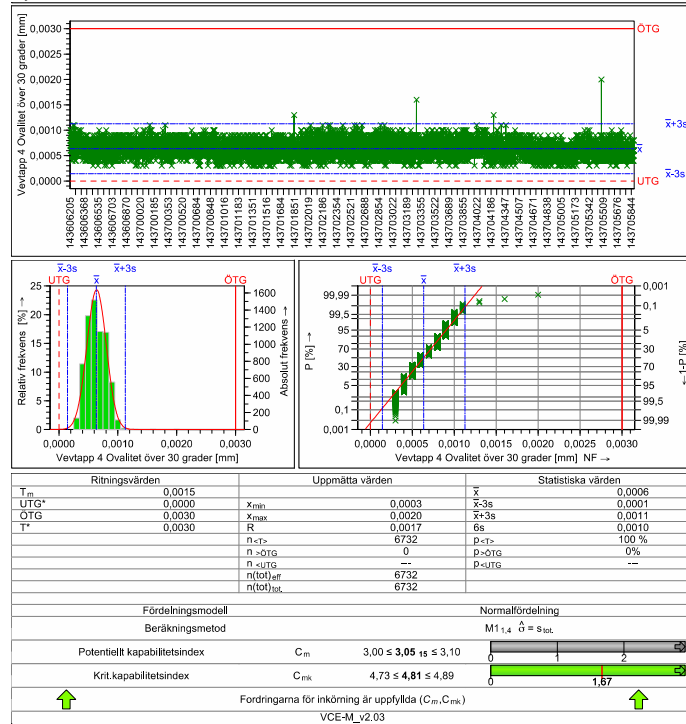
Ramlager 4
Mindiameter;



Maxdiameter;

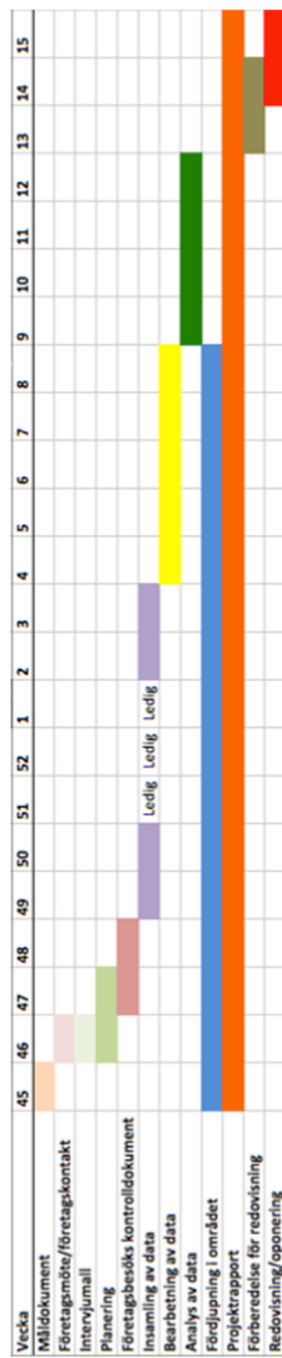


Ovalitet över 30 grader;

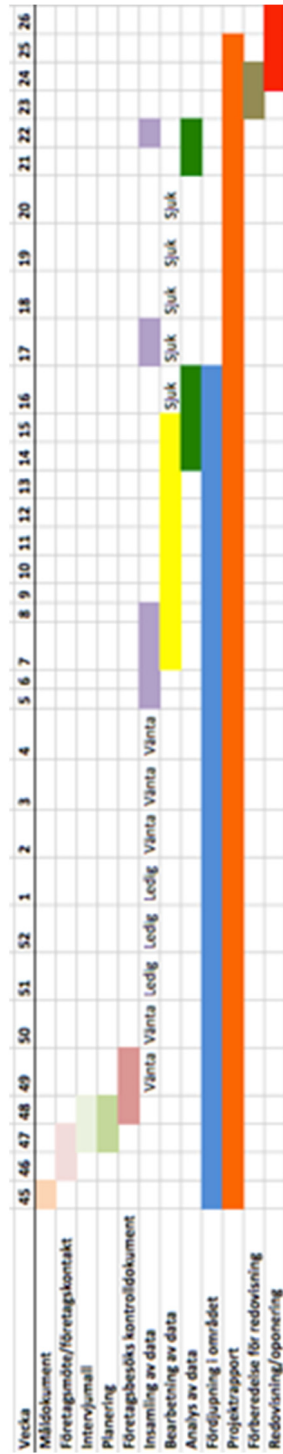


Bilaga E: Tidsplan

Den faktiska tidsplanen skiljer sig från den antagna tidsplanen. Denna avvikelser beror på att det uppstod oförutsägbara händelser.



Figur E.1 – Antagen tidsplan



Figur E.2 – Faktisk tidsplan

Bilaga F: Självvärdering

Målet med examensarbetet var att kartlägga problemområdet kring bearbetning enligt toleranser och ytkrav avseende faktorer och kostnader. Examensarbetet resulterade i en överskådlig bild av vad dagens tillverkningsföretag anser var problemområdena finns inom processen.

Det jag är mindre nöjd med är att jag inte kunde utföra de industriella fallstudierna på grund av att det inte har funnits utrymme i produktionsprocessen att utföra dessa. Fallstudierna hade bidragit till djupare förståelse kring hur olika faktorer påverkar mått- och yttillverkningen. Den djupare förståelsen hade tillkommit då konkret mätdata hade samlats in vilket genom en analys hade resulterat i mätvärden som hade illustrerat hur olika faktorer påverkar toleranserna och ytorna. Om projektet hade utförts på nytt skulle fallstudierna utförts.

Något som jag även är mindre nöjd med är att det var många veckor som jag inte har kunnat arbeta med projektet då jag har väntat på att få komma ut till företagen, detta medför att projektet har blivit försenat.

Jag är nöjd med vad arbetet har bidragit till mig genom ökad kunskap och inblick i tolerans- och ytproblemen som företagen står inför och det ständiga arbetet för att öka företagets kunskaper för att uppnå konkurrensfördelar.

Genom arbetet har jag lärt mig mycket bland annat genom att jag har fått en inblick i hur konsulter arbetar. Jag har fram till nu inte varit placerad på ett företag och därför har denna inblick varit värdefullt. Med ”inblick i hur konsulter arbetar” avser jag förmågan att ställa de rätta frågorna samt att veta var man ska hitta information, vilket är stor del av konsulternas arbete.

Samarbetet med företagen har varit kärnan i detta projekt. Företagskontakten har bidragit med en inblick i hur olika företag arbetar och hur stor skillnaden kan vara mellan produktionen hos olika företag utifrån deras förutsättningar avseende bland annat produktfloran, volym, material m.m.

Jag har utfört projektet själv vilket har bidragit till personlig utveckling bland annat genom ökat ansvarstagande och genom att jag har utfört alla projektstegen själv.