

EXAMENSARBETE

PROCESSDUGLIGHET

En studie av håldimensioner

EVA NILSSON

CIVILINGENJÖRSPROGRAMMET

Institutionen för industriell ekonomi och samhällsvetenskap
Avdelningen för kvalitets- och miljöledning

Processduglighet
- En studie av håldimensioner

Process capability
- A study of hole dimensions

Examensarbete utfört inom ämnesområdet kvalitetsteknik vid SSAB HardTech.

Utfört av:
Eva Nilsson

Luleå 2003-09-15

Handledare:
Morgan Rörling, SSAB HardTech
Bjarne Bergquist, Luleå tekniska universitet

Namn och värden på studerade produkter är fiktiva, på önskemål av SSAB
HardTech.

Förord

Detta examensarbete är avslutningen på mina studier inom Industriell ekonomi och är utfört vid Avdelningen för kvalitetsteknik & miljöledning vid Luleå tekniska universitet. Arbetet har utförts på uppdrag av SSAB HardTech, under vårterminen 2003.

Syftet med arbetet var att avgöra om processerna som tillverkar monteringshål till några bilmodellens bakre stötfångare var dugliga. Om studien fann att processerna inte var dugliga, var syftet också att undersöka möjligheten att göra dem dugliga. Dessutom skulle studien även fastställa om blästringen inverkar på hålets diameter.

Arbetet med att kvantifiera processerna har varit intressant och utmanande, speciellt då processernas utfall många gånger inte var de förväntade.

Jag vill passa på att framföra ett stort tack till alla som bidragit till att möjliggöra, detta examensarbete. Ett speciellt tack vill jag ge till Morgan Rörling, min handledare vid SSAB HardTech, och till Bjarne Bergquist, min handledare vid Luleå tekniska universitet.

Luleå september 2003

Eva Nilsson

Sammanfattning

SSAB HardTech tillverkar säkerhetsdetaljer som till exempel stötfångare till fordonsindustrin. Verksamheten bygger på tekniken att härda borstål i samband med formpressning. Leverantörerna till fordonsindustrin måste kunna garantera att kunden får prima detaljer. Dugliga processer ger upphov till detaljer med rätt mått och därmed behövs inte efterhandskorrigeringar utföras. Då processerna inte är dugliga erfordras en kontroll av samtliga producerade enheter. Allkontroll tillämpas vid företaget, på processer som inte är dugliga, för att säkerhetsställa produkternas kvalitet.

Examensarbetets syfte var att undersöka möjligheterna att göra processerna som tillverkar två monteringshål till några bilmodellens stötfångare dugliga. Syftet uppnåddes genom att fastställa hur kapabla processerna var på att producera hål inom uppsatta toleransintervall. Om studien fann att processerna var odugliga, var syftet dessutom att undersöka förbättringsmöjligheterna. Studien skulle även fastställa om blästern inverkade på hålens diameter.

Duglighetsstudier användes för att uppfylla syftet med rapporten. Index användes för att kvantifiera processens duglighet. Processernas duglighet bedömdes utifrån indexen C_p och C_{pk} .

För att skattningen av indexen ska vara tillförlitlig ska processen vara i statistisk jämvikt. Majoriteten av de studerade processerna befann sig inte i statistisk jämvikt, vilket betyder att processernas utfall kan förändras när som helst. Ett flertal orsaker till systematisk variation identifierades. Denna variation var främst orsakad av varierande temperatur hos kragtappen som formar hålen, smutsansamlingar kring tappen, slipning av tappen och reoveringar av pressverktygen. De fyrkantiga hålen anslöt ofta mycket bra till en normalfördelning, medan de runda hålen oftast var negativt skeva. Denna skeva fördelning var främst förorsakad av varierande temperatur hos kragtappen.

Processerna var inte dugliga då den verkliga dugligheten C_{pk} ofta understeg duglighetskravet. Den potentiella dugligheten C_p var ofta tillfredsställande. För stor variation i processerna och ett medelvärde som inte var väl centrerat var orsakerna till att processerna inte kunde uppfylla kraven. Det runda hålet hade för stor variation och det fyrkantiga hålet var inte centrerat. Allkontrollen bör därmed inte avskaffas innan processerna är förutsägbara och dugliga.

Sökord: Duglighet, processduglighet, duglighetsindex, duglighetsstudie, SPS, styrdiagram, variation

Abstract

SSAB HardTech manufactures safety components, like bumper systems, for the car industry. Business is based on the technology of hardening boron steel in connection with compression stamping. The suppliers must be able to quantify how capable they are to satisfy the customers. Capable processes produce products within specifications avoiding unnecessary reworking or making scraping of products. If the processes are not good enough the supplier has to control the process output.

The overall aim of this thesis was to investigate the possibilities of making processes that produce two assembly holes for bumpers capable by establishing how well the processes produce holes within specifications limits. If the processes were not capable, the aim of the thesis was to investigate the improvement possibilities. The study would also show if shot blasting affected the holes.

To accomplish the objective process capability studies were used. The capability was estimated by the indices C_p and C_{pk} . Before conducting a capability study it is important to decide if the process is in reasonable degree of statistical control and normally distributed. The processes were found unstable, due to the presence of assignable cause variation. This variation was mainly caused by variation in temperature on the tap that produces the holes, dirt around the tap, grinding of the tap and major repairs of the pressing tool. The distribution of the process output concerning the round holes was mostly skew, because of a fluctuating temperature on the tap, while the square holes were normally distributed.

The real capability C_{pk} did not meet with the requirements set and therefore the processes were not capable. However, the potential capability C_p was often satisfying. Too great variation in the process output and an average, which was not well centred, were the main causes why processes could not fulfil minimum demands. The round holes had too great variation and the square holes were not centred. Before the processes are stable and capable, the control of all the process output should continue.

Keywords: Capability, process capability, process capability indices, process capability study, SPS, control chart, variation

Läsanvisning

Nedan ges läsaren en översikt över rapportens olika kapitel.

Kapitel 1 - Inledning

Rapportens inledande kapitel presenterar bakgrunden till examensarbetet samt dess syfte och avgränsningar.

Kapitel 2 - Metod

Metodkapitlet beskriver och motiverar de metodval som använts för att uppfylla syftet med examensarbetet. Kapitlet avslutas med en diskussion kring metodernas reliabilitet och validitet.

Kapitel 3 - Teoretisk referensram

Den teoretiska referensramen utgör främst teorier inom duglighet men behandlar även statistisk processtyrning.

Kapitel 4 - Presshårdning

Kapitlet ger en översiktlig beskrivning av tillverkningstekniken som SSAB HardTech använder för att framställa sina produkter. Dessutom ges en mer ingående beskrivning hur de studerade produkterna produceras.

Kapitel 5 - Empiri

I kapitlet om duglighetsstudier presenteras planeringen och genomförandet av duglighetsstudien.

Kapitel 6 - Resultat och analys

Kapitlet presenterar resultaten och analysen av de genomförda studierna.

Kapitel 7 - Slutsatser och rekommendationer

I detta kapitel presenteras rapportens viktigaste slutsatser. Dessutom ges rekommendationer till de identifierade problemen.

Kapitel 8 - Diskussion

I rapportens avslutande kapitel diskuteras och värderas studiens resultat och metoder som använts samt dess reliabilitet och validitet. Dessutom ges förslag på fortsatt arbete.

Innehållsförteckning

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Problembeskrivning	2
1.3	Syfte.....	3
1.4	Avgränsningar	3
2	Metod.....	4
2.1	Undersökningsansats.....	4
2.2	Datainsamling.....	4
2.3	Arbetsgång vid en duglighetsstudie	6
2.4	Mätmetoder	7
2.5	Databearbetning	7
2.6	Reliabilitet och validitet	8
3	Teoretisk referensram.....	10
3.1	Variation i tillverkningsprocesser	10
3.2	Vad är duglighet?	11
3.3	Duglighetsindex	12
3.4	Utvärdering av dugligheten.....	13
3.5	Duglighetsstudiens tillförlitlighet.....	15
3.6	Styrdiagram	17
3.7	Skeva fördelningar	18
4	Presshårdning	19
4.1	Tekniken.....	19
4.2	Stötfångardetaljernas tillverkningsprocess	19
5	Empiri.....	21
5.1	Planering av duglighetsstudie	21
5.2	Kontroll av statistisk jämvikt	23
5.3	Bedöm processens duglighet.....	24
6	Resultat och analys.....	26
6.1	Kontroll av statistisk jämvikt	26
6.2	Kontroll av normalfördelning	31
6.3	Skattning av dugligheten.....	32
6.4	Initiera förbättringar	38
6.5	Blästerns inverkan.....	41

Innehållsförteckning

7	Slutsatser och rekommendationer	43
7.1	Statistisk jämvikt	43
7.2	Normalfördelning	45
7.3	Duglighet	45
7.4	Blästerns inverkan	46
8	Diskussion	48
8.1	Arbetets resultat	48
8.2	Datainsamling	48
8.3	Validitet och reliabilitet	49
8.4	Förslag till fortsatt arbete	50
	Referenser	51
	Ordlista	53

Bilagor

Bilaga 1 Konfidensintervall

Bilaga 2 Styrdiagram

Bilaga 3 Transformerings vid skeva fördelningar

Appendix

Processdata

1 Inledning

Rapportens inledande kapitlet presenterar examensarbetets bakgrund, problembeskrivning, syfte och avgränsningar.

1.1 Bakgrund

Närvaron av variation i tillverkningsprocesser har alltid inneburit problem. Inte ens två produkter som producerats direkt efter varandra i samma process är helt identiska. Det är nödvändigt med en strategi för att hantera variation i produktionen, för att denna inte ska bli allt för stor. (Deleryd, 1998) En process med stora variationer ger upphov till en stor andel defekta produkter. Dessa ger i sin tur upphov till kvalitetsbristkostnader, bland annat i form av kassationer och omarbetningar. (Bergman & Klefsjö, 1995, s 15 & 195)

För att kunna producera kvalitativa produkter fordras att processen ger ett stabilt medelvärde och att variationer reduceras (Kotz & Lovelace, 1998, s 2). Duglighetsstudier är en statistisk metod som ofta används som underlag i arbetet med att reducera variationens inverkan på processer (Deleryd, 1998), se kapitel 3.2. Med duglighet avses förmågan hos en process att producera enheter med mått inom uppsatta toleransgränser (Bergman & Klefsjö, 1995, s 244).

Fordonsindustrin var bland de första som började använda duglighetsindex för att bedöma kvaliteten på processerna. Ford Motor Company införde beräkning av index i sin verksamhet i början av 1980-talet. Tillämpningen av duglighetsindex spred sig snabbt till andra fordonstillverkare som började kräva att leverantörerna kunde påvisa dugliga processer. (Kotz & Lovelace, 1998, s 17) Numera kräver fordonsindustrin generellt att leverantörerna är certifierade enligt kvalitetssystemet QS9000 (Bergman & Klefsjö, 1995, s 451). QS9000 begär att leverantören, vid förfrågan, kan uppvisa om processerna är dugliga. Leverantören måste genomföra duglighetsstudier på produktens viktigaste egenskaper.

SSAB HardTech, fortsättningsvis i rapporten benämnt som HardTech, tillverkar säkerhetsdetaljer som exempelvis stötfångarskenor och sidokrockskydd till fordonsindustrin. Företagets produktion är lokaliserat till Luleå och Mason, USA. Anläggningen i Mason tillverkar sidokrockskydd till den nord- och sydamerikanska marknaden. I Luleå framställs stötfångare och sidokrockskydd till marknaderna i Europa och Asien. Vid huvudkontoret i Luleå, bedrivs även forskning och utveckling.

HardTechs affärsidé är att tillhandahålla fordonskomponenter med låg vikt och hög säkerhet. Produkterna tillverkas i borstål och produceras med hjälp av en presshårdningsteknik som bygger på att härda materialet i samband med pressning. Tekniken gör det möjligt att erbjuda kunderna snäva toleransintervall och låg vikt på produkterna. Snäva toleranser gör att processens spridning måste vara liten, för det ska vara möjligt att uppfylla kundernas krav på duglighet.

1.2 Problembeskrivning

HardTech tillverkar bland annat den bakre stötfångaren till de tre bilmodellerna som i rapporten benämns som P1, P2 och P3. En stötfångare består av en gavel och en skena, dessa formas och hårdas vid hårdlinjen. Därefter måste detaljen blåstras för att ta bort en beläggning som bildas vid formningen. Viktiga egenskaper hos en stötfångare är formen samt två hål som används vid bilens montering. Stötfångardetaljerna formas då materialet är varmt; detta medför att variationen från det nominella värdet blir mindre än om hålen formats i ett kallt tillstånd.

Duglighetsindex används för att få ett numeriskt mått på hur kapabla processerna är på att producera enheter inom specificerade gränser. Kunden bedömer dugligheten utifrån duglighetsindexen C_p och C_{pk} , som definieras i kapitel 3.3. För att processen ska anses som duglig måste C_{pk} anta ett värde som överstiger 1,33. Det angivna kravet på indextalet är vanligt förekommande inom fordonsindustrin (Spiring mfl, 2002). Om leverantören inte kan uppvisa dugliga processer måste samtliga producerade enheter kontrolleras, för att garantera kvaliteten.

Många faktorer inverkar på hålens diameter, de flesta är dock svåra att styra. Detta medför svårigheter för HardTech att styra processerna till att producera den önskade håldiametern. Både presshårdningen och blåstringen påverkar hålens diameter, men i vilken omfattning de inverkar på hålen är inte känt.

År 2000 genomfördes en mindre duglighetsstudie på de två hålen, vilken resulterade i att allkontroll för närvarande brukas. En allkontroll medför onödiga kostnader och bör därför elimineras. Ett första steg, för att kunna avgöra om allkontroll måste tillämpas, är att fastställa om processerna är dugliga. Dessutom är det nödvändigt att se över processernas förbättringsmöjligheter.

1.3 Syfte

Examensarbetet syftar till att undersöka möjligheterna att göra processerna som tillverkar monteringshål till stötfångardetaljer dugliga. Syftet uppnås genom att fastställa hur kapabla processerna är att producera hål inom uppsatta toleransintervall och utifrån duglighetsstudien undersöka processernas förbättringsmöjligheter. Examensarbetet ska dessutom fastställa om blästringen påverkar hålets storlek.

1.4 Avgränsningar

Arbetet begränsas till att omfatta de tre bilmodellerna P1, P2 och P3: s stötfångare. Anledningen till att denna begränsning är att modellerna har samma duglighetskrav och toleransintervall. Duglighetsstudien baseras på produkternas väsentligaste parametrar, nämligen de två hålen på respektive produkt. Vidare avgränsas studien till de två processavsnitten härdlinjen och blästringen. De två processavsnitten studeras, då dessa inverkar på hålets dimensioner. I duglighetsstudien kommer endast blästrade detaljer att studeras. Orsaken till att endast blästrade detaljer ingår i duglighetsstudien är att blästern utgör det slutliga processteget.

2 Metod

Metod är det redskap som används för att uppfylla rapportens syfte. Detta kapitel introducerar läsaren till de metoder som använts under arbetet. Kapitlet avslutas med en diskussion angående studiens reliabilitet och validitet.

2.1 Undersökningsansats

En fallstudie ger möjligheten att djupgående studera en avgränsad aspekt av problemet, under en begränsad tidsperiod. Fallstudien studerar relationer mellan variabler. (Bell, 1993, s 15 f) Examensarbetet har utförts vid HardTech som en fallstudie med syfte att öka förståelsen för processernas beteende.

Datainsamlingen kan antingen vara kvalitativ eller kvantitativ. En undersökning kan genomföras genom att använda ett eller båda angreppssätten. (Holme & Solvang, 1997, s 14) En fallstudie betraktas generellt som en kvalitativ metod, men den kan i sig rymma flera olika tillvägagångssätt, däribland kvantitativ metodik (Bell, 1993, s 63).

En kvalitativ undersökningsmetod inriktar sig på att samla in information för att få en djupare förståelse för ämnen som är svåra att kvantifiera som exempelvis attityder och värderingar. Fallstudien är den vanligast förekommande kvalitativa undersökningen. (Lundahl & Skärvad, 1999, s 51) En undersökningsmetod som är kvantitativ inriktar sig på att samla in fakta och studera relationer mellan olika uppsättningar av fakta. Forskaren använder vetenskapliga tekniker som ger kvantifierbara och om det är möjligt generaliserbara slutsatser. (Bell, 1993, s 13)

Duglighetsstudien baserades främst på en kvantitativ metod. Kunskap och därmed förståelse för processernas beteende, inhämtades genom en kvalitativ undersökningsmetod.

2.2 Datainsamling

Vid empiriska undersökningar är valet av datainsamlingsmetoder ett viktigt beslut. Undersökningens omfattning beror på om undersökningen är en total- eller en stickprovsundersökning. Vid en totalundersökning undersöks samtliga enheter, i den definierade populationen. Vid en stickprovsundersökning blir endast vissa enheter i populationen undersökta. Med hjälp av statistiska metoder är det möjligt att generalisera resultatet av stickprovet. (Lundahl & Skärvad, 1999, s 49 & 115) Studien baserades på stickprov från produktionen då det inte

är möjligt, både ur ett tids- och kostnadsmässigt perspektiv, att studera alla detaljer.

Datakällor kan delas in i primärdata, material som utredaren själv samlat in, och sekundärdata, material som samlats in av andra. Datainsamling kan exempelvis ske genom intervjuer, observationer eller Internet. (Lundahl & Skärvad, 1999, s 113-144) Duglighetsstudien baseras på primärdatainsamling, då det inte fanns sekundärt datamaterial att tillgå. För att samla in material till studien användes litteraturstudie, enkäter, intervjuer och indirekta observationer.

2.2.1 Litteraturstudie

Genom en litteraturstudie får forskaren idéer och tips om tillvägagångssätt som är lämpliga att använda på det utvalda ämnesområdet (Bell, 1993, s 30). Kunskap om duglighetsstudier och statistisk processtyrning har inhämtats, inför arbetets praktiska genomförande.

Luleå tekniska universitets sökverktyg, Lucia och Libris, har varit till stor hjälp vid att skapandet av rapportens teoretiska referensram. Utöver dessa sökverktyg har referenslistor från andra böcker och examensarbeten varit behjälpliga. Vid litteratursökningen användes sökord som exempelvis duglighet, kapabilitet, duglighetsindex, processduglighet, SPS, styrdiagram och variation. Dessutom användes ordens engelska motsvarighet.

2.2.2 Intervjuer

Insamling av information genom intervjuer är nödvändig i de flesta utredningssammanhang. Det finns två olika typer av intervjuer, strukturerade och ostrukturerade, som har olika grad av formalitet. Vid en strukturerad intervju är frågorna i förväg fastställda. Den ostrukturerade intervjun är friare och inte så hårt bunden till bestämda frågor. En ostrukturerad intervju syftar till att utforska respondentens åsikter, attityder och föreställningar. Vid varje enskild undersökning är det viktigt att välja den mest lämpade intervjuformen. (Lundahl & Skärvad, 1999, s 115 f)

Samtal, i form av ostrukturerade intervjuer, ansågs som den mest lämpade insamlingsmetoden för att öka kunskaperna om processerna. Det var speciellt faktorer som inverkar på processerna som kunde identifierades vid dessa samtal. Ostrukturerade intervjuer användes även för att fastställa orsaken till avvikande värden.

2.2.3 Enkäter

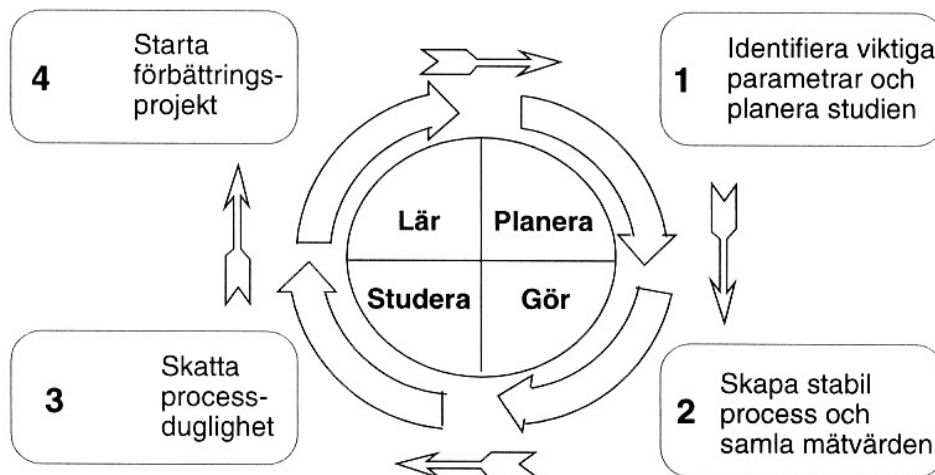
För att få en uppfattning om processernas beteende användes initialt en enkät, där operatörerna fyllde i hur många produkter som korrigerades.

2.2.4 Indirekta observationer

Observationer kan genomföras på olika sätt, antingen som en indirekt eller en direkt observation. Vetenskaplig data som samlats in från elektroniska mätinstrument utgör en indirekt observation, då observationerna avläses genom ett instrument. (Carlsson, 1997) Då rapportförfattaren inte genomförde den huvudsakliga datainsamlingen själv, användes indirekta observationer för att uppfylla rapportens syfte.

2.3 Arbetsgång vid en duglighetsstudie

Vid allt kvalitetsarbete är det viktigt att angripa problemen systematiskt och noggrant. Själva arbetssättet kan göras enligt PDSA-cykeln, som står för ”Plan-Do-Study-Act” (Bergman & Klefsjö, 1995, s 197). Figur 2.1 visar hur själva PDSA-cykeln kan användas vid en duglighetsstudie.



Figur 2.1 Arbetsgången under en duglighetsstudie kan baseras på PDSA-cykeln (Källa: Bergman & Klefsjö, 2001, s 276).

Under examensarbetet har ett varv i PDSA-cykeln genomförts, nedan visas hur cykeln i duglighetsstudien användes.

- Plan: Identifiering av viktiga drag och planering av studien
- Do: Kontroll av statistisk jämvikt och insamling av data
- Study: Bedöm processens duglighet
- Act: Initiera förbättringar

2.4 Mätmetoder

Storleken hos respektive kraghål uppmättes av en koordinatmätmaskin, för att få så exakta mätvärden som möjligt. Mätresultaten som erhöles från mätmaskinen angavs i millimeter.

Det runda kraghållets diameter uppmättes som den största inskrivna cylindern, det vill säga den största teoretiska cylindern som får plats i hålet. Den största inskrivna cylindern simulerades av tio cirklar ovanpå varandra. De tio cirklarna uppmättes på olika kraghöjder. Varje cirkel uppmättes med hjälp av åtta punkter, av mätmaskinen. För att mäta det fyrkantiga hålets storlek gjordes avståndsmätningar mellan två punkter i hålets ytterkanter samt dess mitt. Avståndsmätningarna skedde på tio olika höjder längs kragen. Den minsta uppmätta avståndet i hålets mitt användes till duglighetsstudien.

2.5 Databearbetning

Statistikprogrammet Statgraphics Plus 5.1 användes för att underlätta analysen, av insamlad kvantitativ data. Metoder som användes för att bearbeta insamlad data var:

- Normalfördelningsdiagram
- Shapiro-Wilks test
- Koorelationsdiagram
- Styrdiagram
- Duglighetshistogram

Normalfördelningsdiagram är en grafisk metod, för att visuellt avgöra om de givna observationerna tillhör en antagen normalfördelning. Om observationerna är normalfördelade ansluter de till en rät linje, utmed diagrammets referenslinje. (Montgomery, 2001, s 110) Shapiro-Wilks test är en mer formell metod, för att avgöra om observationerna kommer från den antagna fördelningen. Testet jämför den anpassade normalfördelningens kvantiler med datamaterialets kvantiler. Datamaterialet är, på 95 procents konfidensnivå, inte normalfördelat om testets p-value understiger 0,05.

Korrelationsdiagram är en grafisk metod, som användes för att kontrollera att de insamlade observationerna var oberoende. För en närmare beskrivning av korrelationsdiagram hänvisas till Montgomery (2001).

Det grafiska verktyget styrdiagram, används för att identifiera och i möjligaste mån eliminera urskiljbar variation från tillverkningsprocesserna (Montgomery, 2001). Individuella styrdiagram användes för att avgöra om processerna var förutsägbara.

Duglighetshistogram, är en kombinerad grafisk och statistisk metod, som användes för att fastställa processernas duglighet. Utifrån histogrammen undersöktes processernas förbättringsmöjligheter.

2.6 Reliabilitet och validitet

Reliabilitet och validitet utgör två viktiga aspekter att ta hänsyn till vid undersökningar. Undersökningens reliabilitet, det vill säga tillförlitlighet, är ett mått på i vilken utsträckning ett instrument eller ett tillvägagångssätt ger samma resultat vid olika tillfällen. (Bell, 1993, s 64) Validitet, eller giltighet, är ett mått på om forskaren mäter eller beskriver det som var avsett att mätas (Holme & Solvang, 1997, s 163).

2.6.1 Reliabilitet

Reliabiliteten bestäms hur mätningar utförs och hur noggrant informationen bearbetas (Holme & Solvang, 1997, s 163). Reliabiliteten höjs genom att använda olika standardiseringsförfaranden för att säkerhetsställa att mätningen genomförs på identiska sätt, detta för att undvika slumpens inverkan på själva mätningen (Lundahl & Skärvad, 1999, s 152). För att öka undersökningens reliabiliteten standardiserades undersökningsformuläret. Stickproven togs ut med jämna intervall. Under en produktionskampanj studerades var 300: e detalj. För att påverka reliabiliteten positivt har den kvantitativa datainsamlingen beskrivits detaljerat i rapporten.

Hög reliabilitet fås då olika mätningar av samma fenomen ger liknade resultat (Holme & Solvang, 1997, s 163). För att öka undersökningens reliabilitet studerades sex produkter under ett flertal kampanjer.

2.6.2 Validitet

Reliabilitet är en nödvändig, men inte en tillräcklig förutsättning. Informationen måste även vara valid (Holme & Solvang, 1997, s 167). En hög reliabilitet behöver inte betyda att validiteten även den är hög. En fingervisning om undersökningens giltighet kan fås, innan studien genomförs, genom att göra en förstudie eller konsultera kunniga personer. (Bell, 1993, s 63)

En processduglighetsstudie är en långsiktig studie, för att öka insikten om processernas beteende. Genom att utföra en processduglighetsstudie har undersökningen försökt täcka in samtliga faktorer som påverkar processen och därmed öka resultatets validitet.

Innan datainsamlingen påbörjades skedde en inledande undersökning för att få en uppfattning om processernas beteende. Utifrån förundersökningen fastställdes stickprovets frekvens och provgruppsstorleken. Frekvensen diskuterades med personal på HardTech, för att de insamlade observationerna skulle återge processens beteende på ett rättvist sätt.

Ytterligare ett angreppssätt för att öka validiteten var att presentera och diskutera resultaten, från de olika undersökningarna, för personer på HardTech som har stor kunskap om de studerade processerna.

3 Teoretisk referensram

Kapitel tre utgör rapportens teoretiska referensram och kommer därför att behandla olika typer av variation, möjlighet att eliminera variation samt teori om duglighet.

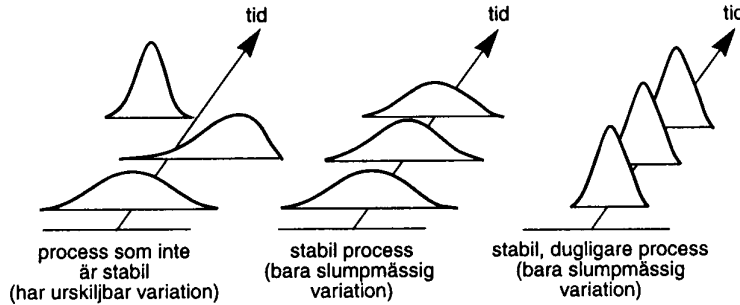
3.1 Variation i tillverkningsprocesser

Alla processer har ett mer eller mindre varierande resultat. Det finns oftast flera orsaker till denna variation. Variationen i en tillverkningsprocess kan orsakas av spel i lager och styrningar, glapp i spindlar, vibrationer, varierande belysningsförhållanden, inhomogent utgångsmaterial, olika skift och maskiner samt varierande temperatur eller fuktighet. En del variationer kan även bero på mätfel, dessa kan vara orsakade av glapp i mätutrustningen eller avläsningsfel. Orsaken till variationer kan delas in i urskiljbara orsaker, som ger upphov till en så kallad systematisk variation, och resterande variation kallas slumpmässig eller naturlig variation. (Bergman & Klefsjö, 1995, s 193 ff)

Den systematiska variationen förorsakas av speciella omständigheter och är därmed inte en kontinuerlig del av processen (Levinson & Tumbelty, 1997, s 88). Systematisk variation kan exempelvis orsakas av att maskinen är felinställd, verktygsförslitning eller variationer mellan operatörernas arbetssätt (Bökmark & Olausson, 1990, s 22).

En del variation har sitt ursprung i orsaker som ständig påverkar processens utfall (Levinson & Tumbelty, 1997, s 88). Slumpmässiga variationer kan exempelvis bero på normalt spel i lager och styrningar, vibrationer och mindre miljövariationer (Bökmark & Olausson, 1990, s 22). Enligt Bothe (1997) förorsakas processens naturliga variationer av material, maskiner, arbetsmetoder, människor och mätsystem.

Tillräcklig information gör det möjligt att identifiera urskiljbara orsaker, som därefter bör elimineras, så länge det är ekonomiskt försvarbart (Bergman & Klefsjö, 1995, s 193 ff). Om inte alla orsaker som ger upphov till systematisk variation eliminerats, eller åtminstone kompenseras för, kommer de att fortsätta att påverka processens utfall på ett oförutsägbart sätt, vilket leder till en instabil process (Chrysler Corporation mfl, 1995, s 9). Beteende för processer som inte är stabila respektive stabila visas i figur 3.1.



Figur 3.1 En instabil process har urskiljbara variationer, medan en stabil process endast har slumpmässiga variationer. Genom att minska processens variation fås en dugligare process. (Källa: Bergman & Klefsjö, 2001, s 211)

Processen anses vara i statistisk jämvikt om spridningen enbart orsakas av den naturliga variationen. När processen är i statistisk jämvikt går det, inom rimliga gränser, att prediktera det kommande utfallet. (Bergman & Klefsjö, 1995, s 193 ff; Deleryd, 1998, s 12)

3.2 Vad är duglighet?

Duglighet är ett mått på processens förmåga att producera enheter inom uppsatta toleransgränser och därmed även dess förmåga att uppfylla kundens förväntningar (Bothe, 1997, s 53). Duglighet handlar dessutom om att prediktera vad processen kommer att producera i framtiden (Pyzdek, 1992, s 19).

En duglighetsstudie ger underlag till förbättringar och avgör ofta hur processens utfall ska kontrolleras. Studien ger ökade kunskaper om hur processen fungerar och reagerar på olika åtgärder. Dessutom går det även att minska kostnader för exempelvis kassationer och omarbetningar. Det är även möjligt att identifiera om det är processens spridning eller dess centrerings som har störst förbättringsmöjligheter. (Bökmark & Olausson, 1990, s 39-42)

3.2.1 Process- och maskinduglighet

Processens genomsnittsvärde varierar med tiden även om företaget har försökt eliminera alla urskiljbara orsaker till variation. Genomsnittsvärdet påverkas dels av en variation från enhet till enhet och dels av en variation som beror på en långsammare variation av medelvärdet. Vid en maskinduglighetsstudie tas endast hänsyn till den först nämnda variationen, medan en processduglighetsstudie tar hänsyn till båda spridningskomponenterna. (Bergman & Klefsjö, 1995, s 250-253)

Vid skattning av maskinduglighet krävs ett homogent material, det vill säga de producerade enheterna ska ha sitt ursprung i exempelvis samma material, inställningar och skift (Bergman & Klefsjö, 1995, s 251). Studien baseras på 20 till 50 detaljer som tas ut under en kortare tidsperiod (Bökmark & Olausson, 1990, s 41).

Processen måste studeras under en längre tid för att skatta processdugligheten (Bergman & Klefsjö, 1995, s 251). Studien påverkas av variationer hos maskinen och dess omgivning som exempelvis operatörer, material, arbetsmetoder och mätutrustning (Bökmark & Olausson, 1990, s 41). Deleryd (1998, s 40) rekommenderar att använda minst 50 individuella observationer från processen. Bökmark och Olausson (1990, s 41) anser att studien bör baseras på 50 till 250 detaljer.

3.3 Duglighetsindex

Inom tillverkningsindustrin används duglighetsindex frekvent för att få ett numeriskt mått på hur kapabla processerna är på att producera enheter inom specificerade gränser (Pearn & Chen, 1999). En process anses som duglig när dess naturliga variation befinner sig inom specificerade gränser, med en i förväg bestämd marginal. Denna marginal mäts med hjälp av duglighetsindex. (Griffith, 1996, s 2) Duglighetsindex kan generellt beräknas som den tillåtna spridningen dividerat med den verkliga spridningen (Kotz & Lovelace, 1998, s 7).

Duglighetsindexet C_p är ett mått på tillverkningsprocessens potentiella möjlighet att producera enheter mellan de uppsatta toleransgränserna. C_p definieras enligt

$$C_p = \frac{T_o - T_u}{6\sigma}$$

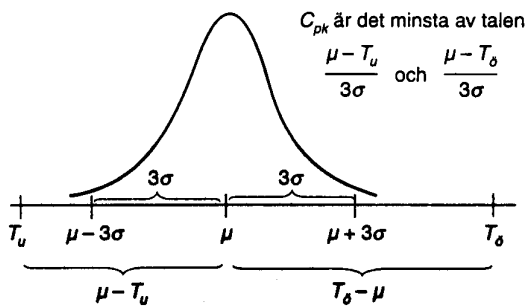
där T_u utgör den undre toleransgränsen, T_o den övre toleransgränsen och σ processens standardavvikelse. (Deleryd, 1998, s 19) Nämnaren 6σ är ett mått på den naturliga variationen. Om de uppmätta detaljerna från tillverkningen är normalfördelade kommer 99,73 % att ligga inom intervallet 6σ . (Griffith, 1996, s 127)

Den stora nackdelen med C_p är att den potentiella dugligheten mäts med utgångspunkt från processens spridning och att ingen hänsyn tas till processens centrerings. Detta är orsaken till att duglighetsindexet C_{pk} utvecklades. (Kotz & Lovelace, 1998, s 47) Det korrigerade duglighetsindexet C_{pk} väger samman processens spridning och centrerings.

Indexet C_{pk} definieras som

$$C_{pk} = \min\left(\frac{T_o - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - T_u}{3\sigma}\right)$$

och mäter avståndet mellan processens genomsnittsvärde μ och närmaste toleransgräns. (Bergman & Klefsjö, 1995, s 269) Definitionen av duglighetsindexet C_{pk} illustreras i figur 3.2.



Figur 3.2 Hur det korrigerade duglighetsindexet C_{pk} beräknas (Källa: Bergman & Klefsjö, 2001, s 269).

Fördelen med C_{pk} är att den kan användas vid ensidiga toleransgränser och reagerar på förändringar av processens spridning eller medelvärde. Nackdelen är att indexet inte kan beakta avvikelser från ett förbestämt nominellt värde. (Deleryd, 1998, s 21 f) Ytterligare en nackdel är att indexet måste baseras på stora datamängder. För att vara säker på att det verkliga C_{pk} värdet inte avviker mer än tio procent från det skattade värdet krävs ett datamaterial på 275 enheter. (Kotz & Lovelace, 1998, s 63)

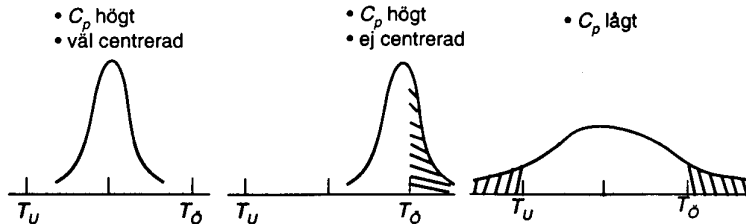
C_p och C_{pk} var de första duglighetsindex som introducerades, numera finns det många duglighetsindex som är känsligare. Den stora fördelen med indexerna C_p och C_{pk} är att de är lätta att beräkna och förstå. När indexerna används tillsammans, fås en god indikation av processens duglighet med avseende på både spridning och medelvärde. (Kotz & Lovelace, 1998, s 33 & 47)

3.4 Utvärdering av dugligheten

Vid en duglighetsstudie eftersträvas så höga värden på indexerna som möjligt. Ett vanligt krav är att duglighetsindexet ska överstiga 1,33, för att processen ska vara duglig. Duglighetsindexerna C_p och C_{pk} används tillsammans för att erhålla en bra indikation på processens duglighet.

3.4.1 Duglighetsindex C_p

Om processen är väl centrerad innebär ett högt värde på C_p att de producerade enheterna kommer att befinna sig inom toleransgränserna. Ett litet värde på C_p leder till att detaljer som befinner sig utanför styrgränserna produceras, oavsett om processen är väl centrerad, vilket kan ses i figur 3.3. (Bergman & Klefsjö, 1995, s 246)



Figur 3.3 Sambandet mellan processutfallet och ett högt respektive ett lågt värde på duglighetsindexet C_p (Källa: Bergman & Klefsjö, 2001, s 269).

C_p anger hur bra processen kan prestera under nuvarande förhållanden och fastställer därmed en övre gräns på C_{pk} (Kotz & Lovelace, 1998, s 52). Processer med $C_p < 1,33$ är inte dugliga. Processförbättringar bör fokuseras på att reducera processens variation. (Levinson Tumbelty, 1997, s 205 f)

När indextalet understiger 1,0 bör processen förändras. Detta kan exempelvis ske genom att använda en annan produktionsutrustning eller förändra toleransintervallet. Samtliga detaljer som produceras måste kontrolleras. (Kotz & Lovelace, 1998, s 37)

Processens spridning är lika stor som toleransvidden, när indextalet antar värdet 1,0. Det finns inget spelutrymme för förändringar av exempelvis medelvärdet. (Bökmark & Olausson, 1990, s 43) Processen producerar åtminstone 0,27 % felaktiga detaljer (Kotz & Johnson, 2002).

En process vars C_p värde befinner sig mellan 1,0 och 1,33 måste övervakas, eftersom defekta produkter kan förekomma. Då indextalet C_p överstiger 1,33 är det tillräckligt att inspektera de först tillverkade detaljerna. (Kotz & Lovelace, 1998, s 37)

3.4.2 Duglighetsindex C_{pk}

En process där C_{pk} är mindre än 1,0 är inte tillräckligt bra på att producera enheter inom toleransintervallet. Ett lågt värde indikerar att processens variation antingen är för stor och/eller att processens medelvärde inte är centrerat kring det nominella värdet. (Pearn & Chen, 1999) Ett högt C_p värde tillsammans med ett lågt C_{pk} värde, visar att processen inte är centrerad kring det nominella värdet (Montgomery, 2001, s 362 f). Om processen inte är väl centrerad kan processens variation medföra att några av de producerade detaljerna hamnar utanför toleransintervallet (Griffith, 1996, s 122). Om C_p och C_{pk} värdet är lågt ger detta en indikation om att processens naturliga variation är för stor (Montgomery, 2001, s 362 f).

En duglig process, med ett C_{pk} värde som överstiger 1,33 producerar 63 enheter utanför toleransintervallet per miljon (Griffith, 1996, s 203). Om processen är duglig räcker det att inspektera enheterna vid uppstart. En process med C_{pk} på 1,67 producerar en enhet per miljon utanför toleransgränserna. (Kotz & Lovelace, 1998, s 51 f)

3.5 Duglighetsstudiens tillförlitlighet

Deleryd (1998, s 61) har identifierat sex fundamentala krav som måste vara uppfyllda för att duglighetsstudien ska vara tillförlitlig.

3.5.1 Använd bra mätutrustning

Om inte tillförlitlig mätutrustning används vid studien, begränsas resultatets användbarhet (Deleryd, 1998, s 61). Mätutrustningens variation får inte uppta en alltför stor del av toleransområdet (Bökmark & Olausson, 1990, s 15). Om standardavvikelsen för mätfelet dividerat med standardavvikelsen för produkten överstiger 20 procent, måste mätfel tas med i beräkningen för dugligheten. Den totala variansen fås genom att addera mätutrustningens och processens varians. Konstanta mätfel påverkar inte indexet C_p , men har en signifikant inverkan på C_{pk} . (Kotz & Lovelace, 1998, s 239-244)

3.5.2 Statistisk jämvikt

Innan studien påbörjas måste processen befinna sig i statistisk jämvikt, det vill säga processen måste vara någorlunda förutsägbar (Kotz & Johnson, 2002). Om jämviktsvillkoret inte är uppfyllt är studiens resultat inte tillförlitlig. En sådan studie ger endast en ögonblicks bild över processen, men säger däremot ingenting om hur processen kommer att prestera i framtiden. (Deleryd, 1998, s 62) Med hjälp av styrdiagram är det möjligt att kontrollera om processen är stabil (Bothe, 1997, s 6).

3.5.3 Medveten datainsamling

Det är viktigt att fastställa vilken typ av variation som ska reflekteras i den insamlade datamängden. Vid en maskinduglighetsstudie mäts enheter som producerats under en kortare tidsperiod. I datamaterial som insamlats för en processduglighetsstudie ska alla variationer som kan förekomma i processen finnas representerade. Studien genomförs därför under en lägre tid. (Deleryd, 1998, s 62)

3.5.4 Använd flera duglighetsindex

Ett duglighetsindex kan indikera att processen är duglig, medan en annat index visar det motsatta. Detta beror på att indexen har olika egenskaper, de reagerar olika på förändringar av processens lokalisering och spridning. Därför är det bra att använda flera index. (Deleryd, 1998, s 63)

3.5.5 Använd konfidensintervall

Forskning visar att skattning av duglighet baserat på duglighetsindex är förknippat med stora fel, även om studien utförts med många mätvärden. Detta eftersom att skattningen av processens duglighet är baserad på ett begränsat antal mätningar från processen. Vilket kan leda till att en annan studie kan resultera i en annan uppskattning av dugligheten. (Deleryd, 1998, s 25)

Konfidensintervall är ett sätt att hantera denna osäkerhet och bör användas för att säkerställa de uppskattade nivåerna på dugligheten. (Deleryd, 1998, s 25)
Fler mätningar från processen ger upphov till en mer precis skattning av dugligheten, vilket medför ett smalare konfidensintervall (Lovelace & Kotz, 1998, s 41). En beskrivning om hur konfidensintervall beräknas, återfinns i bilaga 1, dessutom ges tabellerade konfidensintervall.

3.5.6 Kontrollera om datamaterialet är normalfördelat

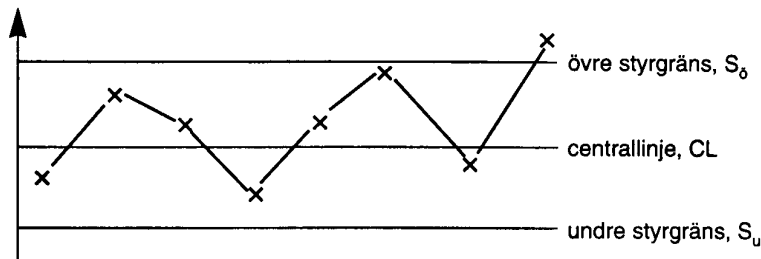
Innan duglighetsindex beräknas bör observationerna vara normalfördelade. Antagande om normalfördelning kan kontrolleras med hjälp av ett normalfördelningsdiagram. (Bothe, 1997, s 351)

3.6 Styrdiagram

Statistisk processtyrning (SPS) går ut på att styra processen mot ett målvärde och minimera variationer i tillverkningsprocesser med hjälp av statistiska metoder (Montgomery, 2001, s 154). Statistiska metoder används för att mäta, tolka och kontrollera produkternas kvalitet (Rowland & Wang, 2000).

Styrdiagram är ett hjälpmedel inom SPS som huvudsakligen används till att identifiera systematisk variation (Bothe, 1997, s 6). Diagrammen är lämpliga att använda som assistans, under arbetet med att få processen under kontroll och kapabla att möta givna specifikationer. Generellt sett är det bättre att kontrollera om processen är i statistisk jämvikt så tidigt i processen som möjligt (Montgomery, 2001, s 334).

Ett styrdiagram består av en centrollinje samt av en övre och en undre styrgräns, vilket visas i figur 3.4. Centrollinjen är en skattning av processens medelvärde och styrgränserna indikerar intervallet för processens normala varians. (Rowland & Wang, 2000)



Figur 3.2 Principen för ett typiskt styrdiagram. Observationer plottas in i diagrammet mellan styrgränserna (Källa: Bergman & Klefsjö, 2001, s 239).

Observationer som hamnar utanför styrgränserna indikerar att systematisk variation är närvarande (Rowland & Wang, 2000). Mönster som inte är slumpmässiga, är ett annat tecken på systematiska variationer (Bothe, 1997, s 6). Ibland går det inte att utesluta systematiska variationer från processen, som exempel vid verktygsslitage. Detta leder till att observationerna från processen bildar en trend. När systematisk variation är närvarande och tolereras består den totala variationen av den naturliga variationen samt av variationer som förorsakas av urskiljbara orsaker. (Kotz & Lovelace, 1998, s 253) För närmare beskrivning av styrdiagram, se bilaga 2.

3.7 Skeva fördelningar

Utfallet från en process är inte alltid normalfördelat, många processer har fördelningarna som är mer eller mindre skeva (Pyzdek, 1992, s 64). Chang med flera (2002) poängterar att mätningar från processer som konstruerar håll ofta tillhör skeva fördelningar. En skev fördelning ger upphov till en större procentuell andel produkter med mått utanför toleransgränserna (Deleryd, 1998, s 138).

När mängden observationer ökar blir de skattade C_p och C_{pk} värdena mer korrekt (Deleryd, 1998, s 138). C_{pk} är mer känsligt än C_p för avvikelser från antagandet om normalfördelning (Tang & Than, 1999). Indexet C_p kan användas vid skeva fördelningar om datamaterialet åtminstone är mellan 30 och 50 observationer. Skattning av C_{pk} ska dock undvikas om fördelningen är mycket skev. (Deleryd, 1998, s 138)

Datamaterialet kan transformeras när värdena från processen inte är normalfördelade, för att få ett approximativt normalfördelat material (Kotz & Lovelace, 1998, s 142). Transformeringsmetoder som kan vara lämpliga att använda då observationerna tillhör skeva fördelningar, visas i bilaga 3.

4 Presshärdning

Inledningsvis ges en översiktlig beskrivning av tekniken bakom HardTechs produktion. Därefter beskrivs tillverkningen av stötfångardetaljer mer ingående. Nedanstående information är inhämtat från samtal med anställda på företaget samt HardTechs hemsida på Internet.

4.1 Tekniken

HardTech tillverkar sina produkter i höghållfasthetsstål. Den höga hållfastheten ges av en presshärdningsteknik som baseras på varmformning och härdning av borstål.

En stor fördel med varmformning är att formstabiliteten är mycket god, vilket leder till att komplicerade detaljer kan tillverkas i ett stycke. Vid separat härdning av en redan formad detalj fås ofta stora formförändringar, om inte speciella härdfixturer används. Ytterligare en fördel är att presshärdat material har upp till tre gånger högre hållfasthet än ett konventionellt pressat material.

Borstålets materialegenskaper uppnås genom dess låga kolhalt. En hög kolhalt ger ett hårt men sprött material. En låg kolhalt resulterar i att materialet blir segt. En härdning av borstålet ger därmed upphov ett hårt och segt material.

4.2 Stötfångardetaljernas tillverkningsprocess

Tillverkningen sker i omgångar som internt på företaget kallas produktionskampanjer. Produktionen av stötfångardetaljer kan delas upp i fyra moment:

- Stansning av ämnen
- Uppvärmning av ämnen
- Varmformning och härdning av ämnen i pressverktyg
- Blästring

Inledningsvis stansas ämnesformen ut samt ett antal plana hål. Innan plåtämnet formas uppvärms det i en ugn. Hållfastheten uppnås genom uppvärmning av borstålet under en längre tid. I ugnen används en skyddsgas atmosfär, för att minska mängden glödskal. När de varma plåtämnen kommer i kontakt med syre, oxiderar stålet och ger upphov till glödskal. Det är nödvändigt att begränsa mängden glödskal som bildas, då beläggningen förorsakar att kontakten mellan

pressverktyget och materialet försämras. En dålig kontakt ger upphov till ett sämre härdat material.

Presshärtningsprocessen innebär att kall/varmvalsat borstål formas rödvarmt och härdas i ett tillverkningssteg. Under härdprocessen är verktygen sammanpressade i några sekunder och behålls kalla genom kylning. Stålämnena centreras före pressning med hjälp av två kragtappar som är belägna i den undre pressplattan. Innan själva stötfångardetaljen formas, skapas storleken på två monteringshål, ett runt och ett fyrkantigt hål. Kragtapparna formar en krage på de två plana hålen och fastställer därmed dess storlek.

Under presshårdning kan skillnader i hålens storlek uppstå mellan detaljerna, gavel och skena, på grund av att de har olika formningsdjup. En produkt med ett större formningsdjup har en svårare formning, detta kan leda att hålet deformeras. Mellan bilmodeller förekommer även skillnader, då hålen har olika avstånd till närmaste formningsradie. Ett stort avstånd till formningsradien gör att hålet blir stabilare under formningen.

Balkarna blåstras efter formning för att ta bort glödskalet. Varje produkt är unik och därför har varje enskild produkt sitt eget blåstringsprogram. Då blåstern kan ge upphov till förändringar, kontrolleras därefter hålens storlek med hjälp av en funktionstolk.

När felaktiga hål detekterats efter blåstring vidtas åtgärder vid härdlinjen, för att vanligtvis minska hålens storlek. Den första åtgärden som provas är att smörja och rengöra kragtappen. Rengöringen tar bort smutsansamlingar, i form av glödskalet, som samlats i smörjmedlet kring tappen. Smutsansamlingar kring tappen kan resultera i för stora hål. Om detta inte fungerar tillfredställande sker en centrerung av pressen, vilket innebär att pressens övre och undre pressplattor ställs in mot varandra. Det runda hålet kan deformeras om pressplattornas övre och undre del rör sig i sidled. En sista åtgärd som vidtas är slipning eller byte av kragtappen. En slipning av kragtappen medför att variationen mellan hålens storlek ökar.

5 Empiri

I detta kapitel redogörs för planeringen av duglighetsstudien och genomförande av denna.

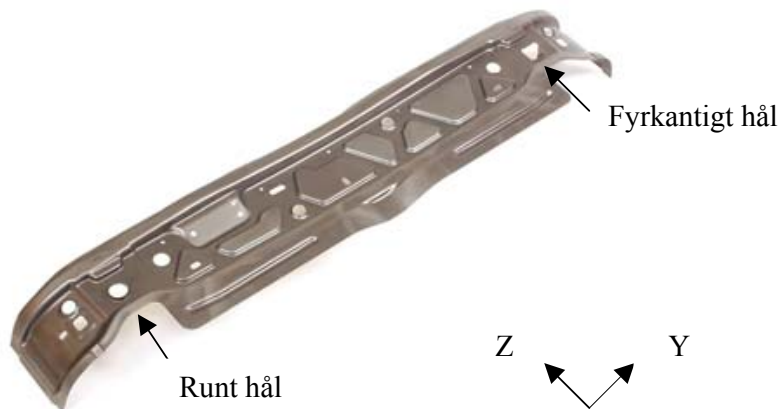
5.1 Planering av duglighetsstudie

Innan duglighetsstudien genomfördes var det nödvändigt att planera denna noga. För att kvantifiera en process duglighet, är det nödvändigt att förstå dess beteende.

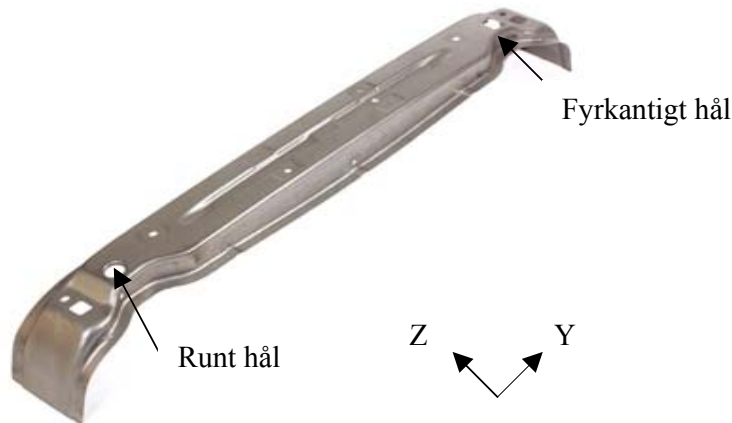
5.1.1 Produkterna

Duglighetsstudien baserades på några kritiska parametrar hos en stötfångare. De studerade parametrarna är storleken på ett runt och ett fyrkantigt hål. Hålen används av kunden vid montering och måste därför befinna sig inom ett givet toleransintervall. Två cylindriska armar fixerar stötfångardetaljen med hjälp av dessa hål.

En stötfångare består av en relativt platt gavel och en djupare formad skena, se bild 5.1 och 5.2. Det runda hålet är avsett för fixering i Y- och Z-led och det fyrkantiga för fixering i Z-led. Y-axeln är definierad längs stötfångaren och Z-axeln är vinkelrät mot Y-axeln. Produkterna som studerats är den bakre stötfångaren till bilmodellerna P1, P2 och P3.



Figur 5.1 En typisk gavel som här illustreras av P2 gavel.



Figur 5.2 En typisk skena som här illustreras av P2 skena.

Duglighetsstudien baserades på diametern som hade den största inskrivna cylindern i det runda hålet samt det fyrkantiga hålets minsta avstånd i Z-led.

5.1.2 Processerna

Både presshårdningen och blästringen undersöktes för att fastställa respektive processavsnitts inverkan på slutprodukten. Själva duglighetsstudien grundades på blästrade stötfångardetaljer. Oblästrade detaljer studerades för att avgöra om blästern förändrade hålens diameter.

Vid skattning av dugligheten är det viktigt att skilja på olika produktionsutrustningar, då ett processteg kan utföras av flera maskiner. Detta kan medföra att väntevärdet och standardavvikelsen skiljer sig mellan maskinerna. Varje produktionsutrustning utgör därmed sin egen process. (Kotz & Lovelace, 1998, s 233) Stötfångardetaljerna tillverkades av två pressverktyg, vilket föranledde att studien delades upp på respektive verktyg.

Processerna studerades vid ett flertal tillfällen under en längre tidsperiod, för att alla relevanta källor till variation skulle återges i datamaterialet. En långsiktig studie var även viktig med tanke på att det är en kund som köper hela produktionen och som därmed känner av processens långsiktiga variation.

5.2 Kontroll av statistisk jämvikt

En väl genomförd datainsamling och förutsägbara processer, var en av förutsättningarna för att skattningen av dugligheten skulle vara tillförlitligt.

5.2.1 Datainsamling

Datamängdens omfattning begränsades av tidsramen för examensarbetet och av respektive produkts tillverkningsfrekvens. Produkterna P1, P2 och P3 hade skilda tillverkningsfrekvenser, vilket medförde att underlaget till respektive produkts duglighetsstudie var olika. Datainsamlingen pågick under cirka 3 månader. Den relativt långa datainsamlingen har medfört att de flesta variationskällor finns representerade i underlaget.

Hål som producerats inom en kort tidsrymd hade liknande diametrar. Studien baserades därför på individuella observationer, för att öka sannolikheten att upptäcka de felaktiga detaljer som producerades. Var 300:e detalj analyserades närmare, för att erhålla nödvändiga mätdata och inte störa produktionen allt för mycket. Den första observationen i varje produktionskampanj utgjordes av den först producerade detaljen. Stötfångardetaljerna märktes, med ett nummer, direkt efter pressning för att veta detaljernas inbördes produktionsordning. Själva provuttagen skedde av operatörerna vid linjen, på grund av kampanjernas långa produktionstid.

Hålens diameter uppmättes, vid ett senare tillfälle, av en koordinatmätmaskin. Operatörerna åsattes att föra anteckningar över åtgärder som vidtagits på pressen, för att det skulle vara möjligt att identifiera systematisk variation. De erhållna anteckningarna från produktionen var av varierande resultat, vilket ledde till att det ibland var svårt att tolka processutfallet.

5.2.2 Val av styrdiagram

Styrdiagram användes för att kontrollera om processerna befann sig i statistisk jämvikt. Valet av styrdiagram stod mellan ett individuellt styrdiagram och ett EWMA-diagram, eftersom att de insamlade observationerna var kvantitativa. Det individuella diagrammet valdes för att det är effektivt på att detektera relativt stora medelvärdesförändringar, det vill säga förändringar som överstiger två standardavvikelser. Ekvationer för upprättande av diagram återfinns i bilaga 2.

5.2.3 Initiala styrdiagram

För att initialt upprätta ett styrdiagram krävdes åtminstone 20 till 25 observationer. Insamlad processdata innefattade detaljer som producerats med olika temperatur på kragtappen. Styrgränserna baserades endast på observationer som samlats in när processen hade en varm tapp, för att gränserna inte skulle bli för vida och därmed undgå att detektera förändringar av processen. Styrgränserna beräknades utifrån två till fyra kampanjer för att antalet varma observationer skulle överstiga 20.

I det initiala styrdiagrammet fastställdes processernas styrgränser som $\mu \pm 3\sigma$, där μ utgör medelvärdet och σ standardavvikelsen. Intervallet 6σ svarar mot processens naturliga variation.

5.2.4 Styrdiagram under drift

När styrgränserna var fastställda kontrollerades om processen var i statistisk jämvikt. Genom att upprätta styrdiagram över all insamlad processdata, undersöktes om processen var förutsägbar. Undersökningen avsåg att granska om resterande datamaterial tillhörde samma fördelning som styrgränserna. En förändring av väntevärdet eller standardavvikelse indikerar att processen inte längre befinner sig i statistisk jämvikt (Montgomery, 2001).

5.3 Bedöm processens duglighet

De sex grundläggande kraven som beskrivs under avsnitt 3.5 följdes så långt som möjligt, för att resultatet från duglighetsstudien skulle vara tillförlitlig. Dock har vissa avsteg från teorin varit nödvändiga. Tiden för examensarbetet tillät inte att göra nödvändiga korrigeringarna av processen. Allvarligaste avsteget från teorin, var processernas avsaknad av statistisk jämvikt.

5.3.1 Val av duglighetsindex

Valet att använda duglighetsindexet C_{pk} för att utvärdera processernas duglighet föll sig naturligt, eftersom kunden bedömer kvaliteten på de tillverkade produkterna utifrån indexet. Dessutom var indexet lämpligt att använda, då toleransintervallets mitt sammanföll med processens nominella värde.

Indexet C_p , användes för att avgöra vilken potential som processerna hade att tillverka enheter inom toleransintervallet. De två indexena kompletterade varandra och gav tillsammans en bra indikation på processens duglighet, med avseende på spridning och medelvärde.

5.3.2 Duglighetsstudiens datamaterial

En duglighetsstudie bör baseras på åtminstone 50 mätvärden (Deleryd, 1998; Kotz & Lovelace, 1998, s 245). Samtliga produkter hade ett datamaterial som översteg 50 observationer. Lägst tillverkningsfrekvens och därmed minst insamlat datamängd hade P1. Skattning av duglighet gjordes utifrån 65 observationer. P3 som hade störst tillverknings frekvens hade ett underlag på 105 observationer.

För att bedöma dugligheten hade idealet varit att slumpvis välja ut detaljer från varulagret till studien. Detta var inte möjligt, eftersom defekta detaljer upptäcks och korrigeras innan detaljerna lagerförs. Dugligheten skattades utifrån samma datamaterial som styrdiagram under drift.

5.3.3 Kontroll av normalfördelning

Duglighetsindex förutsatte att datamaterialet var normalfördelat, eftersom att skattningen av dugligheten baserades på den bakomliggande fördelningen. Det är svårt att jämföra duglighetsindex som beräknats utifrån skilda fördelningar. Normalfördelningsdiagram upprättades för att undersöka om det insamlade materialet var normalfördelat. Shapiro-Wilks test användes, för att verifiera resultatet.

5.3.4 Analys av dugligheten

Höga värden på duglighetsindexen eftersträvades, då indexenas värde representerade andelen defekta produkter som producerades. Ett vanligt krav är att duglighetsindexet ska överstiga 1,33 för att processen ska anses vara duglig. Om den sanna dugligheten åtminstone ska vara 1,33, måste den skattade dugligheten anta ett högre värde. Hur högt det skattade indexet måste vara beror på antalet mätvärden som utgör grunden för skattningen. Värdet som det skattade indexet måste uppfylla tas fram med hjälp av konfidensintervallets lägsta nivå. Det lägsta kravet på C_{pk} hos finns tabellerade i bilaga 1. För att den sanna dugligheten skulle uppfylla duglighetskravet fastställdes att det skattade värde på C_{pk} måste överstiga 1,6 för de studerade produkterna.

6 Resultat och analys

I detta kapitel redovisas resultaten och analysen av duglighetsstudierna som genomförts på de sex produkterna. I kapitlet benämns det runda och det fyrkantiga kraghålet som K1 respektive K2. Dessutom förkortas pressverktyg ett till V1 och verktyg två till V2.

6.1 Kontroll av statistisk jämvikt

Utifrån fastställda styrgränser kontrollerades om processerna var i statistisk jämvikt. Innan styrgränserna beräknades var det nödvändigt att kontrollera om observationerna var normalfördelade.

6.1.1 Kontroll av normalfördelning

Antagandet om normalfördelning visade sig vara lämpligt, för de flesta hål som analyserades. Två hål uppvisade skeva fördelningar. En transformering av datamaterialet var nödvändig för att observationerna skulle bli approximativt normalfördelade. Dessa transformeringar finns beskrivna i appendix A.1. Nackdelen med att transformera processdata var att resultaten blir mer svårtolkade.

Ingen transformering skedde av håldiametrar som från början var approximativt normalfördelade. Processdata kan inte vara perfekt normalfördelat, vilket gör att det är tillräckligt med approximativt normalfördelade observationer (Bothe, 1997, s 351).

6.1.2 Styrdiagram under drift

Upprättade styrdiagram kunde konstatera att de flesta processer inte befann sig i statistisk jämvikt. Flera observationer hamnade utanför styrgränserna. Undantagen som befann sig i statistisk jämvikt presenteras i tabell 6.1.

Tabell 6.1 Hål som befann sig i statistisk jämvikt

PRODUKT	HÅL	VERKTYG
P2 gavel	Runt	1
P3 gavel	Fyrkantigt	2
P3 skena	Fyrkantigt	2

6.1.3 Urskiljbara orsaker

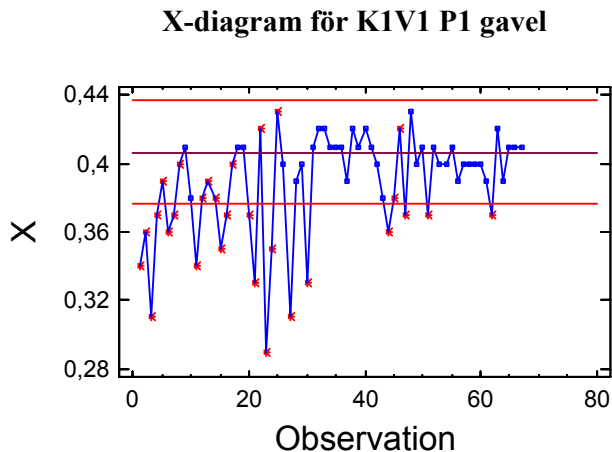
Det primära syftet med styrdiagram är att identifiera urskiljbara variationer (Doty, 1996, s 16). Värden som hamnade utanför styrgränserna undersöktes närmare, för att därmed försöka identifiera de urskiljbara orsakerna till variation. I styrdiagrammen kunde följande urskiljbara orsaker identifieras:

- Temperatur
- Smutsansamling
- Slipning
- Rekonditionering
- Verktygsförslitning
- Fel blästringsrecept

De urskiljbara orsaker till variation som identifierades illustreras nedan, av några utvalda exempel.

6.1.3.1 Kragtappens temperatur

Många larpunkter, i styrdiagrammen, kunde förklaras av produktionsstopp eller att observationen var den först producerade enheten i respektive kampanj. Larpunkterna orsakades av en varierande temperatur hos kragtappen. Dessa punkter visas i figur 6.1. Håldiametern minskade då tappen antog en lägre temperatur.

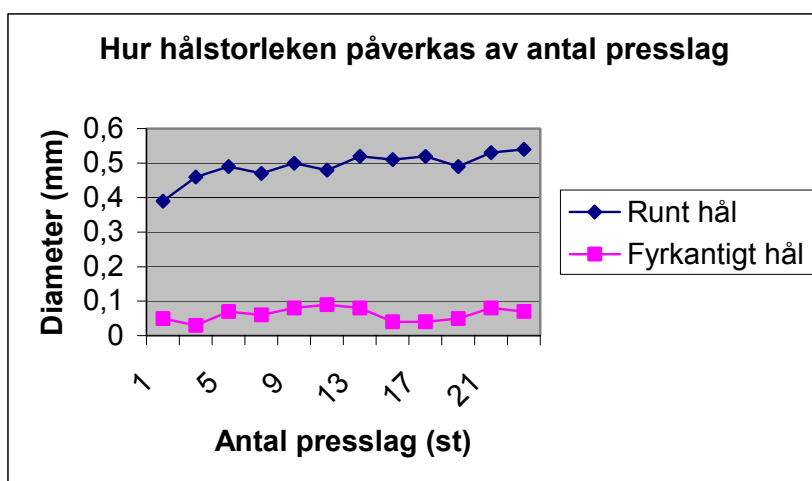


Figur 6.1 Många produktionsstopp, under observationerna 1-30, medförde att kragtappen var sval och gav därmed upphov till en mindre diameter (anges i mm) hos det runda hålet.

Det första stickprovets diameter hade vanligtvis ett betydligt lägre värde, än kampanjens resterande stickprov. Korta produktionsstopp som exempelvis

smörjning av tappen, gav upphov till en svalare tapp. Kragtapparna svalnade till rumstemperatur, redan efter några minuters produktionsstopp. Många korta produktionsstopp förekom under de först studerade kampanjerna av P1 gavel, vilket kan ses i figur 6.1. Dessa stopp illustreras i figuren av observationerna 1 till 30.

En undersökning genomfördes för att fastställa hur temperaturen variation inverkar på hålens storlek. För varje presslag ökade kragtappens temperatur. Det runda hålet var känsligare än det fyrkantiga hålet för temperaturvariationer på kragtappen, vilket illustreras i figur 6.2 av P1 skena. Runda hålets diameter ökade med 0,15 mm efter 23 presslag. En produkt tillverkas under ett presslag. Storleken på det fyrkantiga hålet var oberoende av antal presslag och därmed av kragtappens temperatur.



Figur 6.2 Hur antal presslag och därmed kragtappens temperatur inverkar på respektive håls diameter.

Kragtappen till det fyrkantiga hålet hade en något lägre arbetstemperatur, än det runda hålets motsvarande tapp. Den lägre temperaturen förorsakades av att tappens bättre kontakt med pressverktyget och därmed dess kylkanaler.

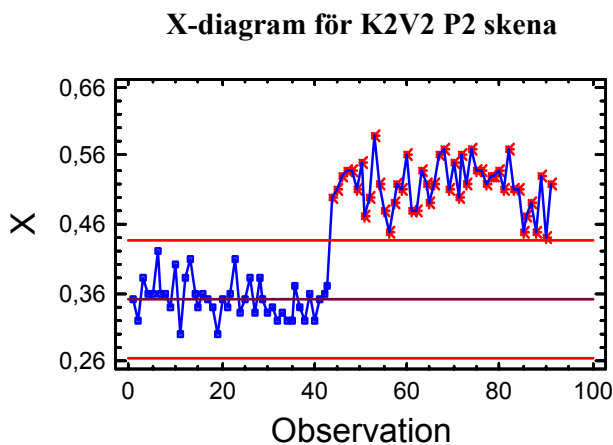
6.1.3.2 Smutsansamling

Smutsansamlingar, i form av glödska, kunde identifieras som en urskiljbar orsak till variation. Glödska som fastnade omkring kragtappen gav upphov till ökad hålstorlek. När smutsen avlägsnades från kragtappen, förändrades processens medelvärde. Skenornas fyrkantiga hål var känsligast för smutsansamlingar.

6.1.3.3 Slipning av kragtappen

Slipning av kragtappen föll ut som en urskiljbar orsak. Vid produktionsproblem handslipas kragtappen, då denna var monterad i pressverktyget, för att korrigera processutfallet.

Medelvärde, på P2 skenas fyrkantiga hål, förändrades när nya tappar monterats in i verktyget. Processens medelvärde ökade med 0,17 mm och steg därmed till toleransintervallets övre del, vilket kan ses i figur 6.3. Kragtappen byttes ut efter observation 43. Processen gav upphov till flera fördelningar; en fördelning när tapparna var nya och en annan då tapparna var äldre.



Figur 6.3 Förändringen av diametern (anges i mm) hos P2 skenas fyrkantiga hål efter byte av kragtapp vid observation 43.

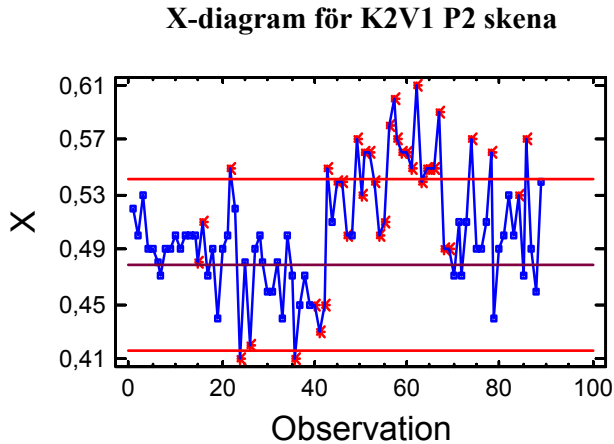
Tappen hade slipats ned mellan 0,10 och 0,30 mm. Nedslipningen var som störst högst upp på kragtappen. Då kragen formas längre ned på tappen påverkades inte hålen av den största slipningen.

6.1.3.4 Rekonditionering

När pressverktyget rekonditionerades monterades nya kragtappar i verktyget, vilket medförde att hålets medelvärde ökade. Medelvärdetsförändringen var speciellt tydlig hos P2 skena. Detta berodde på att P2 skena hade slipade kragtappar innan verktyget rekonditionerades. Vid en normalförslitning, av tappen, var förändringen av det runda hålets medelvärde liten.

Skenornas fyrkantiga hål hade ett medelvärde på 0,53 mm, när kragtappen var ny. Det höga medelvärdet resulterade i att processens naturliga spridning överskred den övre toleransgränsen på 0,59 mm. En tydlig höjning av

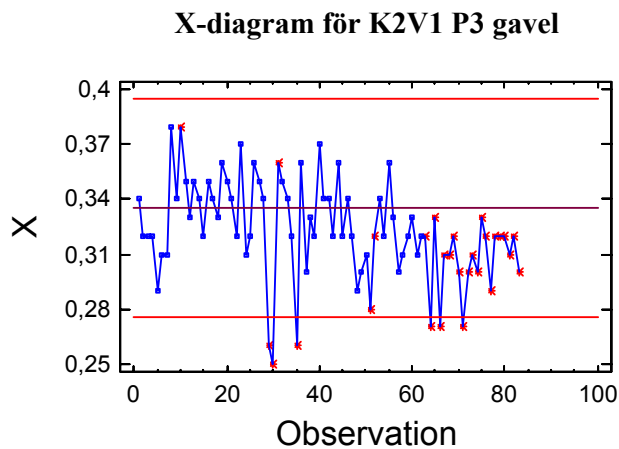
medelvärdet, efter rekonditioneringen, syns i P2 skenas X-diagram i figur 6.4. Där rekonditioneringen skedde efter observation 42.



Figur 6.4 P2 skenas verktyg 1 rekonditionerades efter observation 42, vilket ledde till att hålets medelvärde (anges i mm) ökade.

6.1.3.5 Verktygsförslitning

Det var osäkert, i början av projektet, om hålets storlek påverkades av verktygsförslitningar på kragtappen. En neråtgående trend som var orsakad av en försliten tapp, går att utläsa ur P3 gavelns X-diagram i figur 6.5.



Figur 6.5 Den neråtgående trenden hos P3 gavelns diameter (anges i mm) på det fyrkantiga hålet berodde på verktygsförslitning.

Att bekräfta hur länge tappen varit i produktion var inte möjligt. Troligtvis har denna byts ut vid den föregående rekonditioneringen. Förslitningen av tappen tenderade att öka ju längre produktionen fortgår.

6.1.3.6 Fel blästringsrecept

Ett felaktigt blästringsrecept användes under en kampanj av P2 gavel. I de upprättade styrdiagrammen hos det fyrkantiga hålet förekom observationer utanför styrgränserna. Dessa observationer berodde troligtvis på det felaktiga blästringsreceptet.

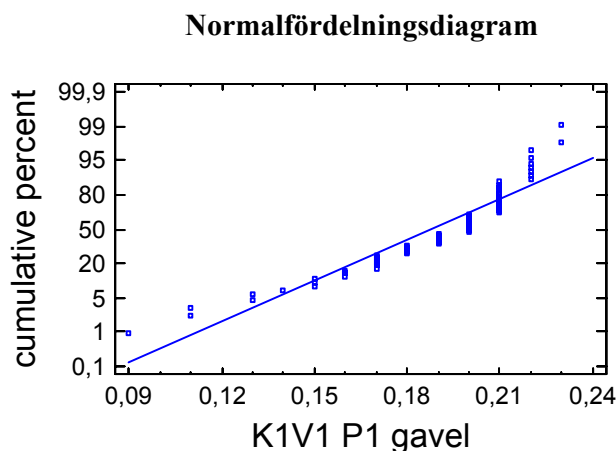
6.2 Kontroll av normalfördelning

Det var nödvändigt att kontrollera om datamaterialet, som utgjorde grunden till duglighetsstudien, var normalfördelat.

Duglighetsindexen förutsatte att datamaterialet var normalfördelat. Fler mått hamnar utanför toleransgränserna, om parametern tillhör en skev fördelning istället för en normalfördelning. I appendix A.2 ges en sammanställning över hålens fördelningar.

6.2.1 Runt hål

Diametern hos det runda hålet tillhörde generellt en negativt skev fördelning. Observationerna var inte normalfördelade då de, i nio fall av tolv, inte anslöt till en rät linje i normalfördelningsdiagrammet. Shapiro-Wilks bekräftade dessutom att hålen inte var normalfördelade. Exempel på ett runt hål som tillhörde en skev fördelning är P1 gavel, i figur 6.6.

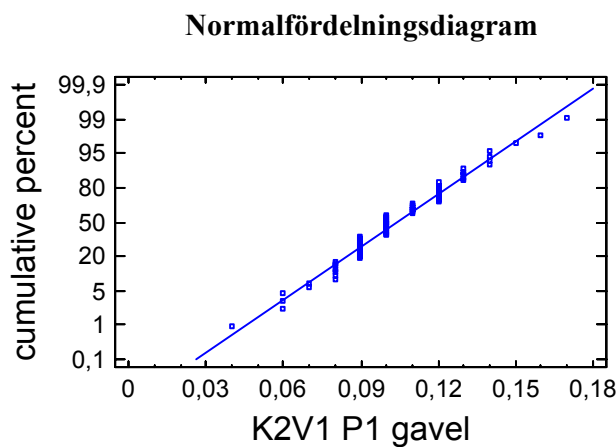


Figur 6.6 Observationerna till P1 gavelns diameter, hos det runda hålet, anslöt inte till normalfördelningsdiagrammets referenslinje.

Den negativt skeva fördelningen som bildades var en indikation på att temperaturen varierade under produktionen. Detaljer som produceras innan kragtappen uppnått arbetstemperatur tillhörde flera fördelningar. Medan en varm process gav upphov till normalfördelade observationer.

6.2.2 Fyrkantigt hål

Det fyrkantiga hålets diameter kunde, i nio fall av tolv, anses tillhöra en normalfördelning. Normalfördelningsdiagrammet i figur 6.7, över diametern till P1 gavel, uppvisar en rät linje. Detta indikerade att datamaterialet var normalfördelat.



Figur 6.7 Observationer över P1 gavels storlek, hos det fyrkantiga hålet, anslöt till normalfördelningsdiagrammets referenslinje.

6.3 Skattning av dugligheten

Processen måste befinna sig i statistisk jämvikt innan duglighetsstudien genomförs, eftersom inga slutsatser kan dras om en ostabil process. En duglighetsstudie över en ostabil process ger endast en ögonblicksbild och framtida värden kan därmed inte uppskattas. (Deleryd, 1998, s 16 f) Det visade sig att ett flertal produkter inte var i statistisk jämvikt, trots detta genomfördes beräkning av duglighetsindex. Således kan inte de beräknade indextalen ge önskad prognostisering av framtiden. Samtliga håls skattade duglighet finns återgivna i appendix A.3.

6.3.1 Potentiell duglighet

Skattningen av skenornas potentiella duglighet C_p , gav ett blandat resultat. Den potentiella dugligheten översteg för det mesta kravet på 1,6. Gavlarna hade en hög skattad potentiell duglighet, det vill säga indextalet översteg väsentligt kravet. Skattningen av C_p antog ett högre värde hos gavlarna än hos skenorna, vilket berodde på att gavlarnas hål hade en mindre spridning.

Det runda hålet hade i de flesta fall en bra potentiell duglighet. P2 gavel (verktyg 1) hade högst skattad duglighet och P2 skena (verktyg 2) hade den lägsta. Den skattade dugligheten för det runda hålet var troligtvis överskattad, då observationerna inte var normalfördelade.

De fyrkantiga hålen hade en bättre potentiell duglighet, än de runda hålen. Av de fyrkantiga hålen hade P3 gavel (verktyg 2) den högst skattade dugligheten och P2 skena (verktyg 2) hade den lägsta.

6.3.2 Verklig duglighet

I de flesta fall var de skattade värdena på den verkliga dugligheten C_{pk} inte acceptabel, vilket indikerade att processerna inte var dugliga. För de flesta produkter understeg, skattningen av den verkliga dugligheten, kravet på 1,6.

Vanligtvis hade det fyrkantiga hålen inte ett tillräckligt högt skattat värde på indextalet. Totalt var fyra runda och ett fyrkantigt hål dugliga. Av dessa hål var det endast observationerna till P2 gavels runda hål som var i statistisk jämvikt, oberoende och någorlunda normalfördelad. Processer som var dugliga sammanställs i tabell 6.2.

Tabell 6.2 Processer som var dugliga.

PRODUKT	HÅL	$C_p > 1,6$	$C_{pk} > 1,6$	NORMAL-FÖRDELAD
P1 gavel	K1V1	Ja	Ja	Nej
P2 gavel	K1V1	Ja	Ja	Nej
P3 gavel	K1V1	Ja	Ja	Ja
P3 gavel	K2V2	Ja	Ja	Ja
P3 skena	K1V2	Ja	Ja	Nej

6.3.3 Konfidensintervall

Skattade värden på duglighetsindex kan variera mycket från det sanna värdet. Konfidensintervall användes för att verifiera de skattade indextalen. Processerna var dugliga om konfidensintervallets undre gräns översteg ett minimum värde. De satta kraven, på processerna, finns återgivna i appendix A.4.

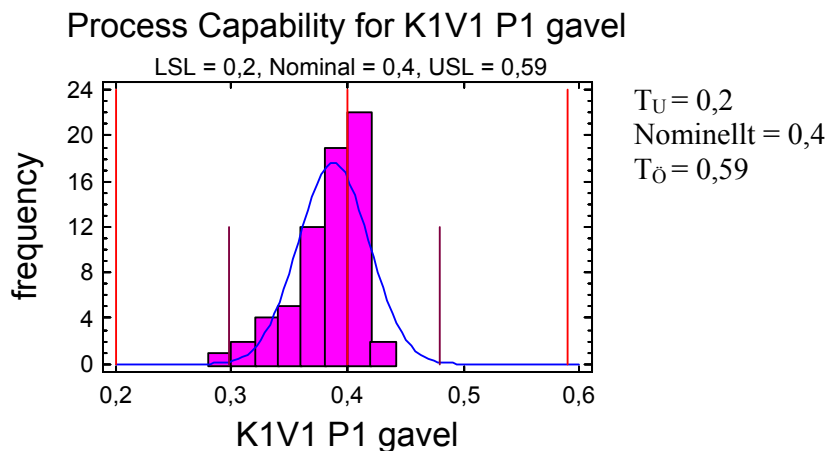
Konfidensintervallen för de runda hålen var förmodligen missvisande, då dessa inte var normalfördelade. Runda hål som hade en undre gräns som översteg, med god marginal, de satta kraven och kunde därmed anses som dugliga trots avsaknad av normalitet. De flesta fyrkantiga hål var normalfördelade och konfidensintervallen gav därmed en säkrare uppskattning inom vilket intervall den skattade dugligheten kunde variera. Konfidensintervallet styrker att de processer som fanns dugliga i avsnitt 6.3.2, var kapabla att producera produkter inom specifikationsgränserna.

6.3.4 Analys av dugligheten

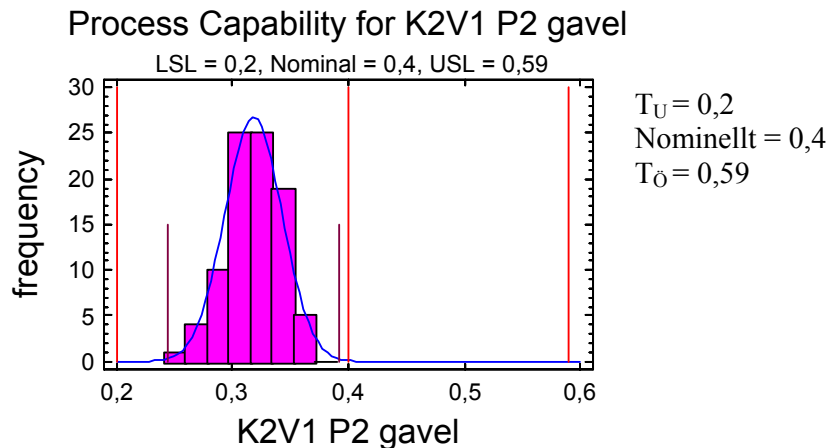
Nedan beskrivs faktorer som påverkade processernas skattade duglighet. Hålens nominella värde var 0,40 mm. Godkända hål kunde variera mellan 0,20 och 0,59 mm.

□ Hålens fördelning

Processutfallet från det runda hålet tillhörde generellt en negativt skev fördelning, medan utfallet från det fyrkantiga hålet var normalfördelat. Kraven på duglighetsindexena bör höjas då observationer inte var normalfördelade, för att få processer som var dugliga. Hålens fördelningar illustreras i figurena nedan.



Figur 6.8 Det runda hålet tillhörde vanligtvis en negativt skev fördelning.



Figur 6.9 Det fyrkantiga hålet tillhörde vanligtvis en normalfördelning.

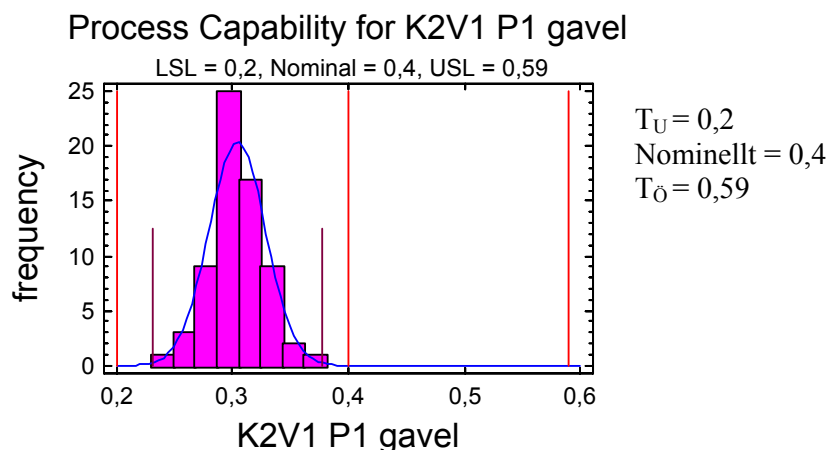
De vanligaste duglighetsindexen förutsatte att datamaterialet var normalfördelat. Duglighetsindexet C_{pk} och beräknade konfidensintervall ger missvisande resultat om datamaterialet inte är normalfördelat. De runda hålens duglighet var därmed överskattad.

□ **Medelvärdeets centrering**

Det runda hålets medelvärde var väl centrerat, kring det nominella värdet. Skenornas medelvärde hamnade precis ovanför nominellt värde och gavlarna strax under nominellt värde.

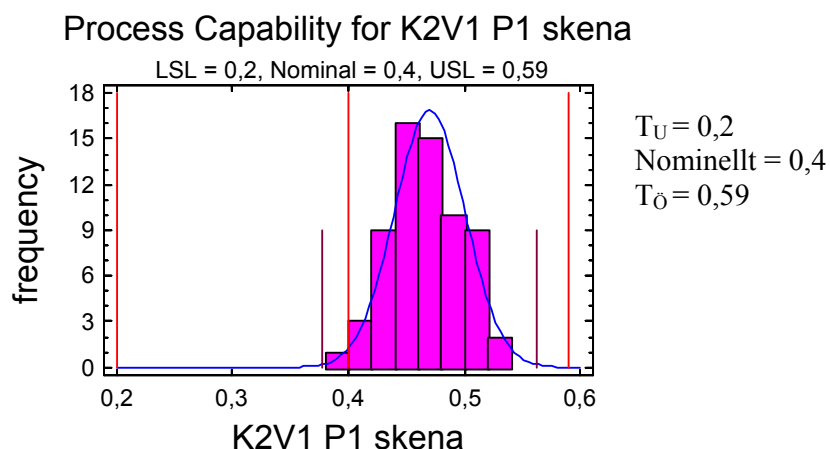
Den skattade potentiella dugligheten C_p för det fyrkantiga hålet, var ofta mycket bra och då speciellt gavlarnas duglighet. Processerna var inte dugliga, då C_{pk} understeg minimum kravet. Orsaken till de låga C_{pk} värden berodde på att medelvärdet inte var centrerat. Vid ett dåligt centrerat medelvärde kan processens naturliga spridning överskrida toleransgränserna.

Medelvärdet på gavlarnas fyrkantiga hål var centrerat i toleransintervallets undre del. Medelvärde var förskjutet 0,10 mm under nominellt värde, vilket illustreras av P1 gavel i figur 6.10.



Figur 6.10 Gavlarnas medelvärde, på det fyrkantiga hålet, var förskjutet mot toleransintervallets undre del.

Skenornas medelvärde var förskjutet mellan 0,07 och 0,10 mm mot toleransintervallets övre del, vilket visas i figur 6.11. En del fyrkantiga hål hade en naturlig variation som överskred toleransintervallet övre gräns. Kragtappen hade samma dimension, oavsett om den var beläget i en gavel eller en skena. Skillnaden mellan hålets storlek var förorsakad av detaljernas formning. Vid formningen av skenorna skedde en töjning av materialet, som var närmast hålet, vilket medförde att hålets storlek ökade.

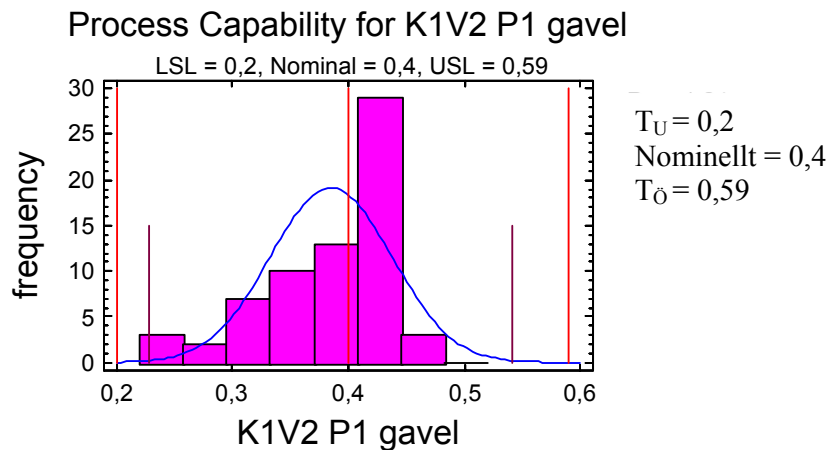


Figur 6.11 Skenornas medelvärde, på det fyrkantiga hålet, var förskjutet mot den övre delen av toleransintervallet.

□ **Stor spridning**

En förutsättning för dugliga processer är att processens naturliga variation är mindre än toleransintervallet. Den naturliga variationen beräknas som sex gånger standaravvikelsen. Om den naturliga toleransen är den samma som den specificerade toleransen finns det inget utrymme för inkörningsproblem eller externa variationer, som exempelvis variationer i ingångsmaterialet. Om processens medelvärde förflyttas av någon anledning kommer även dess variation att förflyttas. (Griffith, 1996, s 133)

Det runda hålet hade oftast en större spridning än det fyrkantiga hålet. Spridningen hos P1 gavelns runda hål kan ses i figur 6.12. Processens naturliga variation sträckte sig över större delen av toleransintervallet. En minde förändring av medelvärdet skulle resultera i ett stort antal defekta detaljer. Processens naturliga variation illustreras, i figuren, av det innersta intervallet. Det yttersta intervallet, i figuren, utgörs av toleransgränserna.

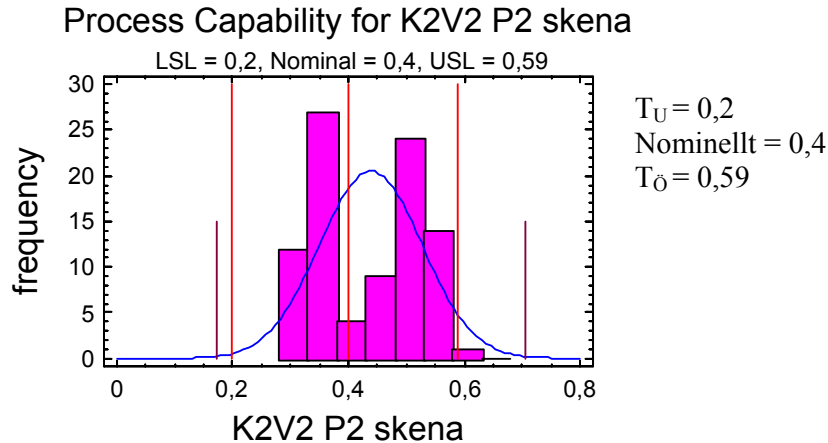


Figur 6.12 Det runda hålet till P1 gavel uppvisar en stor spridning.

□ **Slipning av kragtapp**

Processens totala duglighet blev sämre om kragtappen slipades, eftersom att spridning i datamaterialet ökade. Den totala spridningen ökade vid slipning, av P2 skenas tapp, vilket kan urskiljas i figur 6.13. Processens naturliga spridning överskred toleransintervallet. De yttre gränserna i figuren visar processens naturliga spridning.

Flera fördelningar fanns dessutom representerade i datamaterialet. Processen var centrerad omkring två medelvärden; det vänstra utgjordes av hål som producerats av en slipad kragtapp och det högra av hål som producerats av en ny tapp.



Figur 6.13 Det fyrkantiga hålet till P2 skena uppvisade flera fördelningar, då kragtappen slipats.

□ Skillnader mellan verktygen

Produktionen av stötfångardetaljer sker med hjälp av två pressverktyg som rekonstruerades vid olika tillfällen, för att undvika större produktionsstörningar. Verktygen hade därmed olika förslitningsgrader. Vilket kunde förklara skillnaden mellan verktygens duglighet.

6.4 Initiera förbättringar

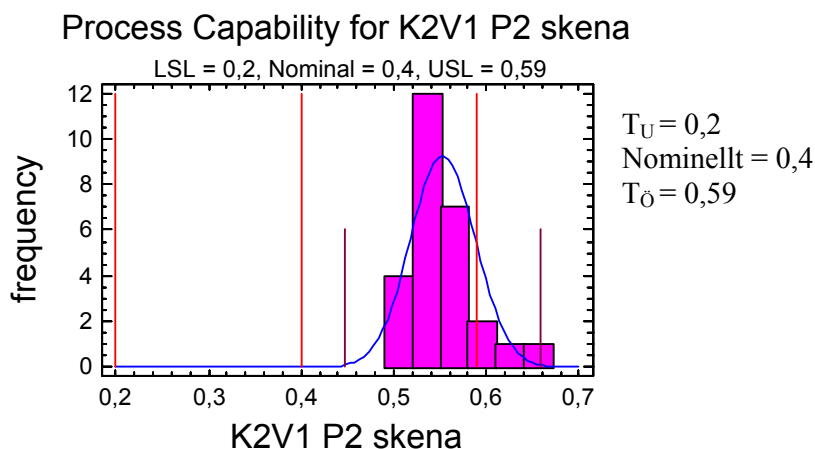
För dugligare processer krävs först och främst stabila processer. Utöver detta kan processerna förbättras eller toleransintervallet utökas. Processerna kan bland annat förbättras genom att minska hålens spridning och/eller centrera dess medelvärde.

Genom att minska kragtappens dimension undersöktes möjligheten att centrera medelvärdet på skenornas fyrkantiga hål. Ett annat alternativ som beaktades vara att utöka hålens toleransintervall.

6.4.1 Förbättrad duglighet genom en förändrad diameter på kragtappen

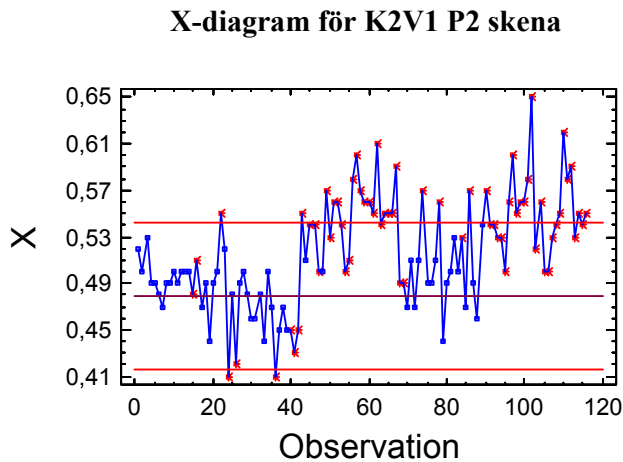
Skenornas fyrkantiga hål, låg generellt i toleransintervallets övre del. Samtliga håls medelvärden var inte centrerade och avvek därmed från det nominella värdet, vilket gav otillfredsställande C_{pk} värden.

I ett försök att förbättra dugligheten byttes P2 skenas kragtapp (verktyg 1) ut mot en tapp som hade 0,10 mm mindre diameter. Målet var att minska medelvärdet med 0,10 mm. Resultatet blev inte den önskade centreringen av medelvärdet, vilket kan ses i duglighetshistogrammet i figur 6.14.



Figur 6.14 Processen gav upphov till en ökad diameter, då en ny kragtapp monterats in i verktyg 1.

Kragtappens diameter hade slipats ned 0,10 mm, men processen gav upphov till ett förhöjt medelvärde. Samtliga insamlade observationer från pressverktyget visas i figur 6.15. Efter rekonditioneringen av pressverktyget ökade hålets storlek. Medelvärdet minskade därefter något, vilket förmodligen berodde på att en mindre slipning vidtagits. Pressverktyget rekonditionerades efter observation 43. Medelvärdet ökade, efter observation 89, då den ordinarie kragtappen byttes ut mot en tapp vars diameter var 0,30 mm.



Figur 6.15 Samtliga insamlade observationer för P2 skenas fyrkantiga hål från verktyg 1, där diametern anges i mm.

Hålens medelvärde som verktyg ett hade producerat var högre än verktyg två. Pressverktyg nummer två hade en ordinarie kragtapp på 0,40 mm. Detta visade att rekonditioneringen hade större inverkan på hålen, än vad som tidigare kunnat identifieras. Den stora inverkan på hålen var orsakad av en ökad friktion mellan verktyget och materialet. Vid en rekonditionering svetsas pressverktygets form och därmed återställs denna till nominell geometri. Efter rekonditionering gav formen upphov till ökade töjningar i materialet omkring hålet, vilket resulterade i en ökad hålstorlek.

6.4.2 Förbättra dugligheten genom större toleransintervall

Processernas duglighet kan förbättras genom att utöka toleransintervallet. Genom att utöka toleransintervallet utlovar företaget inte mer än vad det kan prestera. Det befintliga toleransintervallet är 0,39 mm. Beräkningar av erforderade toleransintervall har gjorts utifrån definitionen av C_p och den största spridningen som förekom hos stötfångardetaljernas respektive hål.

Toleransintervall som behövdes var 0,65 mm på det runda hålet och 0,60 mm på det fyrkantiga hålet. Detta under förutsättning att P2 skena, som delvis hade producerats med en slipad kragtapp, exkluderats från beräkningarna. Då P2 skena inkluderas i beräkningarna var toleransintervallet som behövdes 0,95 mm på runda hålet och 1,10 mm på det fyrkantiga hålet.

Det minsta hålet som observerats hade en diameter på 0,21 mm. Den undre gränsen till toleransintervallet fastställdes därför till 0,20 mm. Toleransintervallet som därmed behövdes för det runda och det fyrkantiga hålet var 0,20-0,85 respektive 0,20-0,80.

6.5 Blästerns inverkan

Blästerns inverkan på stötfångardetaljernas hål, studerades i huvudsak med hjälp av en skena och en gavel. Studien undersökte om blästern hade olika inverkan på stötfångardetaljerna. Blästerns inverkan på de studerade hålen finns återgiven i appendix A.6 och A.7.

6.5.1 Skena

P2 skena valdes att studeras närmare, eftersom att processens utfall förändrades dramatiskt efter rekonditionering. Slipade kragtappar kunde identifieras som orsaken till hålens medelvärdesförändring. Dessutom genomfördes verifierande försök med P1 skena.

6.5.1.1 Slipad kragtapp

Blästerns inverkan på hål som producerats med en slipad kragtapp, studerades med hjälp av P2 skena. Inverkan på det fyrkantiga hålet var stor, medelvärdet förändrades med 0,24 respektive 0,32 mm. Hålet ökade som mest med 0,36 mm efter blästring, vilket var mycket då hela toleransintervallet var 0,39 mm. Spridningen efter blästring minskade till hälften på verktyg ett och var i stort sett oförändrad på verktyg två. Skillnaden mellan verktygen förmodades bero på skillnader i materialets hårdhet. Vid närmare studier kunde detta inte bekräftas.

Det runda hålet var stabilt under blästring, det vill säga medelvärdet och spridningen förändrades inte speciellt mycket, efter att produkten blästrats.

6.5.1.2 Verifierande försök med slipad kragtapp

För att verifiera resultaten från ovanstående avsnitt, studerades även P1 skena. Den slipade kragtappen, från P2 skena, monterades in i P1 skena.

Hålen som producerades var betydligt mindre än P2 skenas motsvarande hål. I medeltal var storleken 0,06 mm, detta var inte acceptabelt då hålen åtminstone måste vara 0,20 mm. Skillnaden mellan verktygen berodde på att kragtappen befunnit sig på olika nivåer i respektive pressverktyg och därmed hade formningen skett på olika höjder på tappen.

Höjdskillnaden berodde troligen på att verktygen var olika slipade vid studien. Vid en rekonditionering slipas pressverktyget. Platsen där tappen är monterad, måste slipas ned i samma omfattning som verktyget i övrigt. En annan tänkbar orsak till höjdskillnaden, var att kragtappen hade höjts upp i P2 skenas pressverktyg med hjälp av en bricka som placerats under tappen. Genom en uppmätning av kragtappens höjd i respektive verktyg, kunde dessa teorier verifieras då kragen formades 3 mm längre upp hos P1.

Det runda hålets diameter hade ökat i genomsnitt med 0,015 mm och det fyrkantiga hålet hade ökat med 0,16 mm efter blästring. Spridningen hos de två hålen var i stort sett densamma. Förändringarna av hålens diameter var som störst 0,15 och 0,19 mm hos det runda och det fyrkantiga hålet.

6.5.1.3 Nya kragtappar

Medelvärdet hos P2 skenas fyrkantiga hål hos förändrades med 0,13 och 0,12 mm efter blästring, då verktyget hade rekonditionerats. Spridningen ökade med 0,025 hos bägge verktygen. De individuellt största förändringarna var 0,19 och 0,17 mm. Blästern hade ingen större inverkan på det runda hålets medelvärde. Hålet förändrades som mest med 0,10 respektive 0,07 mm.

6.5.1.4 Verifierande försök

För att verifiera blästerns inverkan på hål som producerats med en ny kragtapp, studerades P1 skena. Det runda hålets medelvärde förändrades inte efter blästring, men standardavvikelsen ökade något. Det fyrkantiga hålet ökade sitt medelvärde med 0,23 mm, men spridningen var relativt oförändrad.

6.5.2 Gavel

Blästerns inverkan på gavlar, studerades med hjälp av P3 gavel. Det runda hålets diameter förändrades i medeltal med 0,03 och 0,02 mm och spridningen ökade något efter blästring. Den individuellt största förändringen av diametern var 0,14 och 0,18 mm.

Det fyrkantiga hålets medelvärde minskade däremot med 0,03 mm och spridningen ökade. Den individuellt största förändringen hos det fyrkantiga hålet var en minskning av håldiametern med 0,12 och 0,29 mm.

I medeltal förändrades hålen inte speciellt mycket efter blästring. Det förekommer dock enstaka avvikande värden. Dessa kan vara orsakade av att hålet slumpmässigt träffats av en större mängd stålkulor under blästringen. En annan trolig orsak kan vara att detaljerna varit för länge i blästern.

7 Slutsatser och rekommendationer

I följande kapitel presenteras de viktigaste slutsatserna. Dessutom ges rekommendationer hur de identifierade problemen ska åtgärdas.

7.1 Statistisk jämvikt

För att kunna prediktera de framtida processutfallen var det viktigt att insamlad processdata var stabil och normalfördelad.

7.1.1 Styrdiagram

De upprättade individuella styrdiagrammen visade att processerna inte var i statistisk jämvikt. Processerna påverkas således av urskiljbara orsaker. Variationskällor som kunde identifieras var:

- Temperatur
- Smutsansamling
- Slipning
- Rekonditionering
- Verktygsförslitning
- Fel blåstringsrecept

Kragtappens varierande temperatur var den största variationskällan och därmed orsaken till att flera processer inte var i statistisk jämvikt. Materialet i kragtappen krympte vid produktionsstopp. En svalare tapp gav upphov till en minskad diameter. Diametern hos den först producerade detaljen tenderade att vara mindre än kampanjens övriga observationer. Detta på grund av att tappen hade rumstemperatur vid produktionsstart. Genom att stabilisera kragtappens temperatur är det möjligt att minska spridningen hos det runda hålet.

Pressverktyg nummer två tenderade att producera störst hål. En orsak till detta kan vara att verktyg två var besvärligare att rengöra under pågående produktion, därmed ökade smutsansamlingarna kring kragtappen. Resultat från studien indikerade att det fyrkantiga hålet påverkades mer, än det runda av smuts. Skenornas fyrkantiga hål var betydligt större än gavlarnas motsvarande hål. Detta var förorsakat av töjning av materialet, omkring hålet, vid formning. Skenornas fyrkantiga hål hade överlag ett högt medelvärde. Hålens övre styrgräns befann sig vid toleransintervallets övre gräns. En liten förändring av medelvärdet, orsakad exempelvis av ansamling av glödskalet i fett kring kragtappen, kunde leda till att för stora hål producerades. Rengöring är en viktig åtgärd för att eliminera smutsens inverkan på hålen. För att ta bort glödskalet

kring tappen är det nödvändigt att gnugga bort smutsen. En rengöringsanordning bör konstrueras för ordentlig rengöring av kragtapparna.

Slipning av kragtappen tenderade vara en förekommande lösning på produktionsproblem. Medelvärde på skenornas runda hål och fyrkantiga hål ökade med 0,14 mm respektive 0,17 mm, då en ny kragtapp monterats in i verktyget. En del fyrkantiga hål som producerades var utanför den övre toleransgränsen. En förändring av processens medelvärde eller standardavvikelse leder till att processen inte längre är förutsägbar. En slipning av kragtappen bör i allra möjligaste mån undvikas. Om slipning kan undvikas, minskar processernas totala variation.

Under datainsamlingen rekonditionerades ena pressverktyget till P2 skena och gavel. Skenan uppvisade stora medelvärdesförändringar, hålen ökade, efter rekonditionering. Detta berodde på att nya kragtappar monterats in i pressverktyget och att verktyget dessutom hade en nominell passform. Vid ett nyrekonditionerat verktyg hade skenans runda och fyrkantiga hål ett medelvärde på 0,42 mm respektive 0,53 mm. Medelvärde på gavelns runda hål förändrades inte då verktyget rekonditionerats. Det fyrkantiga hålet ökade med 0,09 mm. Gavelns nyrekonditionerade verktyg gav i medeltal upphov till runda hål och fyrkantiga hål på 0,34 mm respektive 0,36 mm.

Kragtappens dimension påverkar hålen och en åverkan på tappen ger således förändringar av dess storlek. Under pågående produktion har tappen en långsam förslitning. För att öka kunskapen om tappens inverkan på hålen bör en närmare uppföljning ske av dess livstid. Intressanta aspekter att registrera är när kragtappens tas i bruk, åtgärder som vidtas och orsaken till den vedertagna åtgärden.

Vid ett tillfälle hade P2 gavel blåstrats med ett felaktigt recept. Detta resulterade i att detaljernas diameter ökade något. En del larmorsaker i styrdiagrammen kunde dock inte fastställas.

7.1.2 Styrdiagram för att styra processen

För närvarande används inte styrdiagram i tillverkningen för att styra och förbättra processerna. Hålen kontrolleras med hjälp av funktionstolkar, efter blåstring. Nackdelen med detta är att många felaktiga detaljer redan har producerats, innan processen korrigeras.

Individuella styrdiagram är lämpliga att införa vid hårdlinjen för att kunna åtgärda processerna innan defekta detaljer har producerats. Hålstorleken skulle kunna fastställas med hjälp av graderade funktionstolkar, för att få indikationer när processen är på väg att förändras. Att basera styrdiagram på medelvärde

från ett antal observationer rekommenderas inte. Detta eftersom att ett medelvärde inte kan jämföras med de givna toleransgränserna.

Provtagningen bör ske kontinuerligt, förslagsvis en gång varannan timme, under respektive produktionskampanj av operatörerna. Detta fordrar att operatörerna får kunskap och förståelse för statistisk processtyrning. Viktigt är att datainsamlingen återger processen på ett representativt sätt. Det vill säga att provtagningen inte exempelvis bara sker vid produktionsstopp, byte av skiftlag, arbetsrotationer eller vid andra förekommande delar av produktionen. Processens status måste noggrant dokumenteras, för att på så sätt kunna identifiera eventuella onormalt stora variationer. Dessutom är det nödvändigt att processens och kragtappens status kan sammankopplas med en individuell observation. När processerna har blivit stabila är det ofta tillräckligt med bevakning i början av varje kampanj.

7.2 Normalfördelning

Det runda hålets diameter var mer känsligt, än det fyrkantiga hålet för de förändringar som skedde av tappens diameter i varmt och kallt tillstånd. Den skeva fördelningen hos det runda hålet som därmed uppkom berodde på att flera fördelningar fanns representerade i datamaterialet. Observationerna var dock normalfördelade vid en varm process. Processutfallet från det fyrkantiga hålet var i de flesta fall normalfördelat.

7.3 Duglighet

Då de studerade processerna inte befann sig i statistisk jämvikt, bör en första insats vara att vidta åtgärder för att göra dem stabila och därefter beräkna duglighetsindex. Processdata från det runda hålet kommer förmodligen att ansluta bättre till en normalfördelning då processerna är stabila.

Den skattade potentiella dugligheten C_p översteg många gånger minimum kravet på 1,6. Samtliga insamlade observationer översteg den undre toleransgränsen, trots detta var inte processerna dugliga. Processerna verkliga duglighet C_{pk} antog ett för lågt värde. Vilket förorsakades av att observationerna hade för stor variation och inte var väl centrerade kring det nominella värdet. Duglighetsindexet C_{pk} ska inte användas om processutfallet är mycket skevt, eftersom att resultatet blir missvisande. Då nästan samtliga runda hål tillhörde en skev fördelning överskattades dugligheten för dessa processer.

Det låga C_{pk} värdet berodde vanligtvis på en för stor spridning hos det runda hålet och att medelvärde hos det fyrkantiga hålet inte var centrerat. För att minska spridningen och därmed förbättra processernas duglighet, krävs förändringar av pressverktygen. Inverkan från temperaturen på kragtappen måste kompenseras genom att alltid ha en varm eller alltid en kall tapp.

Det fyrkantiga hålet har bäst förutsättningar att bli duglig. En förändrad diameter hos kragtappen förefaller kunna lösa problemet, när det gäller centreringen av medelvärdet. Skenornas medelvärde var beläget mellan nominellt värde och den övre toleransgränsen. Gavlarnas medelvärde var lokaliserat mellan nominellt värde och den undre toleransgränsen. Medelvärdet på det fyrkantiga hålet hos gavlarna och skenorna behöver öka respektive minska sin diameter med 0,10 mm. Detta kan åtgärdas med ett kragtapps byte, där gavlarna behöver en större och skenorna en mindre tapp.

I ett försök att göra processerna stabila byttes den ordinarie kragtappen, till det fyrkantiga hålet hos P2 skena, mot en som var 0,10 mm mindre. De resulterande hålen blev större istället för mindre. Pressverktyget, där den mindre kragtappen monterades, var nyrekonditionerat. Studien fastslog därmed att pressverktygets inverkan på hålet var större än en nedslipning av kragtappen på 0,10 mm. Vilket leder till slutsatsen om att olika kragtappar bör användas. Förmodligen är det nödvändigt att använda en mindre kragtapp än 0,30 mm vid ett nyfräst verktyg. När verktyget förslits bör en tapp med något större diameter användas.

Ett annat sätt att få mer dugliga processer är att utöka toleransintervallet. Om inga slipningar av kragtappen förekommer skulle det runda hålet behöva ett toleransintervall på 0,65 mm och det fyrkantiga 0,60 mm. Då slipning är en förekommande del i produktionen behövs ett toleransintervall på 0,95 mm respektive 1,10 mm.

Allkontrollen på håldiametrarna bör, framför allt, behållas så länge processen inte är i statistisk jämvikt. Dessutom är det viktigt att processerna är dugliga innan det är möjligt att avskaffa kontrollen.

7.4 Blästers inverkan

Det runda hålet var relativt stabilt, det vill säga blästern hade en mindre inverkan på diametern. Blästringen hade däremot en stor inverkan på det fyrkantiga hålet, eftersom det har en svagare konstruktion.

Vid nya kragtappar ökade medelvärdet, efter blästring, på skenornas runda och fyrkantiga hål med 0,01 mm och 0,13 mm. Det runda hålet förändrades som

mest med 0,08 mm. Den största uppmätta individuella förändringen av skenornas fyrkants hål var 0,19 mm. Det fyrkantiga hålet förändrades mycket i blästern, då denna producerats av en slipad kragtapp. I medeltal ökade hålet med 0,32 mm och den individuellt största förändringen var 0,36 mm. Blästern tenderar att ha en mindre inverkan på hål som producerats med en ny kragtapp.

Gavlarnas påverkades inte i samma utsträckning som skenorna av blästern, vilket var orsakat av att de har ett mildare blästringsprogram. Det runda och det fyrkantiga hålet förändrades i medeltal med 0,02 mm och -0,03 mm efter blästring. De individuellt största förändringarna hos hålen var 0,18 mm respektive -0,29 mm. Gavlarnas fyrkantiga hål tenderade att minska under blästring, medan skenornas hål generellt ökade sin diameter under blästring.

Blästerns inverkan på hålen tenderar vara ganska slumpmässig. Det är svårt att generalisera blästerns inverkan på hålen, då de genomförda studierna hade vitt skilda resultat. De enstaka större förändringarna kan vara orsakade av att balkarna varit för länge i blästern.

8 Diskussion

I rapportens avslutande kapitel diskuteras arbetets resultat, datainsamling, validitet och reliabilitet. Kapitlet avslutas med förslag till fortsatt arbete.

8.1 Arbetets resultat

Det primära syftet med en duglighetsstudie är att erhålla den kunskap om processerna som behövs för att göra dem dugliga. Det huvudsakliga syftet med denna studie var att fastställa om processerna var dugliga. Syftet uppfylldes främst med hjälp av styrdiagram och genomförda duglighetsstudier. Styrdiagrammen indikerade en mängd problemområden som behöver elimineras eller kompenseras. Resultaten från duglighetsstudierna understöder styrdiagrammens resultat. Syftet med rapporten har uppfyllts och resultatet redovisas under kapitel 6 och 7.

Vid projektets start var processernas beteenden relativt okända, vilket har lett till att studien har tvingats revideras om vid ett flertal tillfällen, då utfallen från processerna inte varit de väntade. Detta har lett till att en ökad förståelse för dess beteenden har uppnåtts.

8.2 Datainsamling

Intervallerna mellan stickproven baserades på antal producerade detaljer för att förenkla provtagningen för operatörerna. Alternativet var att ta ut stickprov med jämna tidsintervall, efter samtal med operatörerna förkastades denna idé. Nackdelen, med att intervallerna emellan stickproven baseras på antal producerade detaljer, var att produktionens driftstatus endast har en tidsmässig uppföljning. För att kompensera detta åsattes operatörerna att fylla i enkäter om åtgärder som vidtas på pressen, vilket inte alltid fungerade allt för väl. Fördelen med denna metod var att var lättare att följa upp när smörjning av kragtapparna skett, då denna åtgärd inte loggas i driftstatusen. Uttag från produktionen försvåras av att det är många operatörer som arbetar vid hårdlinjen, dessutom sker en arbetsrotation under skiftet. Det hade förmodligen varit bättre att ta ut stickprov varannan timme, för att få bättre information om åtgärder som vidtagits och tidpunkter för problem som förekommit under kampanjen.

8.3 Validitet och reliabilitet

Det är viktigt att rapportens resultat har hög reliabilitet och validitet, det vill säga att dess tillförlitlighet och giltighet är hög. Framför allt är det viktigt att datainsamlingen har hög giltighet. Förundersökningen påverkade datainsamlingens validitet i en positiv riktning. Validiteten har påverkats negativt genom att stickprov ibland har tagits ut vid andra tidpunkter än de angivna.

Ytterligare ett sätt att stärka duglighetsstudiens validitet var att beakta de grundläggande förutsättningarna för duglighetsstudiens tillförlitlighet, som beskrivs i avsnitt 3.5.

En koordinatmätmaskin användes för att mäta diametern vilket gjorde att mätningarna blev operatörsoberoende. Risken för mätfel minskade betydligt och därmed ökade reliabiliteten. Märkningen av stötfångardetaljernas avlägsnades vid mätningen, vilket påverkar reliabiliteten negativt då en ommätning av en enskild detalj inte kunde genomföras vid tveksamheter angående resultatet.

Processerna studerades under en lägre tidsperiod, vilket medförde att de flesta orsaker till störningar finns representerade i datamaterialet. Därför kunde en bra bedömning om processernas stabilitet göras. Validiteten på undersökningen påverkades i positiv riktning, då resultatet diskuterades med insatt personal. Utöver detta har verifierande försök vidtagits, vilket ökar reliabiliteten ytterligare.

Duglighetsindexen har skattats utifrån processer som inte befann sig i statistisk jämvikt, vilket inverkar negativt på duglighetsstudiens validitet. Det övergripande syftet med en duglighetsstudie är att öka kunskaper om processerna för att kunna göra förbättringar. Teoretiska kunskaper om hur duglighetsstudier ska utföras för att vara tillförlitliga har använts. De vedertagna metoderna har kunnat identifiera inverkan på faktorerna på processerna. Vilket leder till att studiens validitet kan anses vara hög, trots att de skattade värdena inte var tillförlitliga.

8.4 Förslag till fortsatt arbete

Vid studium av processernas stabilitet var det möjligt att konstatera att processerna inte befann sig i statistisk jämvikt. Ett flertal källor till systematisk variation kunde identifieras. En första åtgärd som bör vidtas är att eliminera eller kompensera för de variationskällor som har blivit identifierade. Dessutom för att minska processernas spridning är det även viktigt att undersöka närmare variationskällor som inte kunnat identifieras. Processerna skulle kunna övervakas genom att införa SPS direkt vid pressen. För grundläggande information om SPS hänvisas till Montgomery (2001). Hålets dimensioner mäts med graderade funktionstolkar. Ett annat angreppssätt som skulle kunna användas är statistisk försöksplanering på pressen för att identifiera vilka faktiska faktorer och samspel som inverkar på processen.

Det har visat sig att rekonditioneringen av pressverktygen inverkar på hålets storlek. För att undersöka hur faktor inverkar på hålen är det nödvändigt med en mer ingående studie. Undersökningen skulle kunna utföras med hjälp av olika dimensioner på kragtappen då verktyget är nytt respektive mer slitet. Intressant skulle vara att undersöka processutfallet i ett nyrekonditionerat pressverktyg då kragtappen är 0,20 mm mindre än tappens nominella värde.

Blästerns inverkan tenderar vara ganska slumpmässig, för att verkligen fastställa detta krävs en mer ingående studie av blästern. Det skulle dessutom vara intressant att studera hur blästringstiden inverkar på hålstorleken. Förändringar i blästern kan även vara orsakade av att spänningar byggs in i materialet vid formningen som sedan frigörs vid blästring. Huruvida spänningar påverkar hålets dimensioner är av intresse att studera. För detta examensarbete fanns inte de ekonomiska förutsättningarna för att genomföra studien.

Referenser

Böcker

- Bell, J. (1993). *Introduktion till forskningsmetodik*. Lund: Studentlitteratur.
- Bergman, B. & Klefsjö, B. (2001). *Kvalitet från behov till användning*. Lund: Studentlitteratur.
- Bergman, B. & Klefsjö, B. (1995). *Kvalitet från behov till användning*. Lund: Studentlitteratur.
- Bothe, D.R. (1997). *Measuring process capability*. London: McGraw-Hill.
- Bökmark, P. & Olausson, M. (1990). *Grunder för statistisk processtyrning; en handbok*. Uppsala: Mekanförbundet.
- Carlsson, B. (1997). *Grundläggande forskningsmetodik för medicin och beteendevetenskap*. Stockholm: Liber.
- Chrysler Corporation, Ford Motor Company & General Motors Corporation (1995). *Statistical process control; Reference manual*.
- Deleryd, M. (1998). *Enhancing the industrial use of process capability studies*. Doktorsavhandling. Luleå tekniska universitet. Luleå: Universitetstryckeriet.
- Doty, L. A. (1996). *Statistical process control*. New York: Industrial press inc.
- Griffith, G.K. (1996). *Statistical process control methods for long and short runs*. Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press.
- Holme, I.M. & Solvang, B. (1997). *Forskningsmetodik; om kvalitativa och kvantitativa metoder*. Lund: Studentlitteratur.
- Kotz, R. & Lovelace C.R. (1998). *Process capability indices in theory and practice*. New York: Arnold.
- Levinson, W.A. & Tumbelty, F. (1997). *SPC essentials and productivity improvement; a manufacturing approach*. Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press.

Lundahl, U. & Skärvad, P-H. (1999). *Utredningsmetod för samhällsvetare och ekonomer*. Lund: Studentlitteratur.

Montgomery, D.C. (2001). *Introduction to statistical quality control*. Chichester: Wiley.

Pyzdek, T.(1992). *Pyzdek's guide to SPC: volume two applications and special topics*. Milwaukee. Wisconsin: ASQC-Quality Press.

Artiklar

Chang, Y.S., Choi, I.S. & Bai, D.S. (2002). Process capability indices for skewed populations. *Quality and reliability engineering international*. 18. 383-393.

Kotz, S. & Johnson, N.L. (2002). Process capability indices; a review, 1992-2000. *Journal of quality technology*, Vol 34, Nr 1.

Spiring, F., S., Cheng, Yeung, A. & Leung, B. (2002). Discussion till Kotz, S. & Johnson, N.L. (2002)

Pearn, W.L. & Chen, K.S. (1999). Making decisions in assessing process capability index C_{pk} . *Quality and reliability engineering international*, Vol 15, s 321-326.

Rowland, H. & Wang, L.R. (2000). An approach of fuzzy logic evaluation and control in SPC. *Quality reliability engineering international*, Vol 16, s 91-98.

Tang, L.C. & Than, S.E. (1999). Computing process capability for non-normal data; a review and comparative study. *Quality and reliability engineering international*, Vol 15, s 339-353.

Internet

SSAB Hardtech (juni, 2003). URL: <http://www.ssabhardtech.se> (2003-06-25)

Ordlista

Blästring	Processavsnittet, efter presshårdning, som avlägsnar glödskal.
Duglighet	Hur bra processerna är på att producera enheter inom toleransgränserna.
Fördelning	En fördelning karaktäriseras av dess <ul style="list-style-type: none">□ Lokalisering: Datamaterialets medelvärde.□ Spridning: Spannet mellan det minsta och största värdet.□ Form: Variationens mönster, det vill säga är processutfallet symmetrisk, skev med mera.
Glödskal	Beläggning som uppkommer då stål oxiderar. En oxidation sker då varmt stål kommer i kontakt med syre.
Kragtapp	Kragtappen formar hålens diameter. Tappen är monterad i den undre pressplattan.
Naturlig spridning	Det är normalt att processen varierar inom ett intervall. Den naturliga spridningen beräknas som 6 gånger standardavvikelsen.
Naturlig variation	Variation i processen som förorsakas av källor som ständigt är närvarande i processen.
Nominellt värde	Processens målvärde.
Normalfördelning	En symmetrisk, klockformad frekvensfunktion, som har medelvärdet i mitten. Formen på normalfördelningen beror på om spridningen är stor eller liten.

Ordlista

Presshårdning	Processavsnittet där stötfångardetaljerna formas och hårdas.
Pressverktyg	Pressverktyget formar plana plåtämnen till stötfångardetaljer. Verktyget består av två pressplattor.
Rekonditionering	Ett större underhåll av pressverktyget, där bland annat kragtapparna byts ut och verktyget återfår sin nominella geometri.
Slipning av kragtapp	Handslipning av kragtappen, under pågående produktion, då tappen är monterad i pressverktyget.
Sneda fördelningar	En kännetecknas av att frekvensfunktionen har en svans åt antingen höger eller vänster.
SPS	Statistisk processtyrning, SPS, används till att övervaka och styra processen så att systematisk variation inte uppkommer i processen.
Standardavvikelse	Hur mycket mätvärdena avviker från medelvärdet i genomsnitt.
Styrgränser	Intervall mellan styrgränserna visar processens naturliga variation. Beräkningar av styrgränserna baseras på processens standardavvikelse.
Systematisk variation	Urskiljbar variation som förorsakas av sporadiskt närvarande variationskällor.
Toleransintervall	De producerade enheternas mått kan variera inom ett tillåtet intervall. Fastställs av exempelvis kunden.

Bilagor

Bilaga 1 – Konfidensintervall

I nedanstående avsnitt ges en presentation hur konfidensintervall beräknas. Konfidensintervallet för C_{pk} är besvärligt att beräkna, därför är intervallet vanligtvis tabellerad.

B1.1. Beräkning av konfidensintervall

Montgomerys (2001, s 368 f) definition av ett $100(1-\alpha)$ % konfidensintervall för C_p och C_{pk} presenteras nedan. Ett konfidensintervall på 95 %, innebär att risken är $\alpha = 0,05$ att få en skattad duglighet, vars värde befinner sig utanför intervallet.

$$\hat{C}_p \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha/2, n-1}^2}{n-1}} \leq C_p \leq \hat{C}_p \sqrt{\frac{\chi_{\alpha/2, n-1}^2}{n-1}}$$

där skattningen av C_p är $\hat{C}_p = \frac{T_{\bar{o}} - T_U}{6s}$

$$\hat{C}_{pk}^2 \left[1 - Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{9n\hat{C}_{pk}^2} + \frac{1}{2(n-1)}} \right] \leq C_{pk} \leq \hat{C}_{pk}^2 \left[1 + Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{9n\hat{C}_{pk}^2} + \frac{1}{2(n-1)}} \right]$$

där skattningen av C_{pk} beräknas som $\hat{C}_{pk} = \min\left(\frac{T_{\bar{o}} - \bar{x}}{3s}, \frac{\bar{x} - T_U}{3s}\right)$

$\chi_{1-\alpha/2, n-1}^2$ och $\chi_{\alpha/2, n-1}^2$ är den lägre $\alpha/2$ och den övre $\alpha/2$ procenten av chi-två fördelningen med $n-1$ frihetsgrader. Konstanten n utgör antalet insamlade observationer från processen. Chi-två fördelningen finns tabellerade, i avsnitt B1.2. Vid beräkning av ett konfidensintervall skattas σ med s och inte med \bar{R}/d_2 .

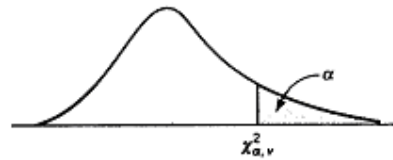
Spridningen s beräknas enligt Bergman och Klefsjö (1995, s 482):

$$s = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n-1}}$$

där x_1, x_2, \dots, x_n är observationer från processen och \bar{x} observationernas medelvärde.

B1.2. Tabellerade värden från Chi-två fördelningen

Tabell B1.1 Chi-två fördelning (Källa: Montgomery, 2001, s 754).



ν	α								
	0.995	0.990	0.975	0.950	0.500	0.050	0.025	0.010	0.005
1	0.00 +	0.00 +	0.00 +	0.00 +	0.45	3.84	5.02	6.63	7.88
2	0.01	0.02	0.05	0.10	1.39	5.99	7.38	9.21	10.60
3	0.07	0.11	0.22	0.35	2.37	7.81	9.35	11.34	12.84
4	0.21	0.30	0.48	0.71	3.36	9.49	11.14	13.28	14.86
5	0.41	0.55	0.83	1.15	4.35	11.07	12.38	15.09	16.75
6	0.68	0.87	1.24	1.64	5.35	12.59	14.45	16.81	18.55
7	0.99	1.24	1.69	2.17	6.35	14.07	16.01	18.48	20.28
8	1.34	1.65	2.18	2.73	7.34	15.51	17.53	20.09	21.96
9	1.73	2.09	2.70	3.33	8.34	16.92	19.02	21.67	23.59
10	2.16	2.56	3.25	3.94	9.34	18.31	20.48	23.21	25.19
11	2.60	3.05	3.82	4.57	10.34	19.68	21.92	24.72	26.76
12	3.07	3.57	4.40	5.23	11.34	21.03	23.34	26.22	28.30
13	3.57	4.11	5.01	5.89	12.34	22.36	24.74	27.69	29.82
14	4.07	4.66	5.63	6.57	13.34	23.68	26.12	29.14	31.32
15	4.60	5.23	6.27	7.26	14.34	25.00	27.49	30.58	32.80
16	5.14	5.81	6.91	7.96	15.34	26.30	28.85	32.00	34.27
17	5.70	6.41	7.56	8.67	16.34	27.59	30.19	33.41	35.72
18	6.26	7.01	8.23	9.39	17.34	28.87	31.53	34.81	37.16
19	6.84	7.63	8.91	10.12	18.34	30.14	32.85	36.19	38.58
20	7.43	8.26	9.59	10.85	19.34	31.41	34.17	37.57	40.00
25	10.52	11.52	13.12	14.61	24.34	37.65	40.65	44.31	46.93
30	13.79	14.95	16.79	18.49	29.34	43.77	46.98	50.89	53.67
40	20.71	22.16	24.43	26.51	39.34	55.76	59.34	63.69	66.77
50	27.99	29.71	32.36	34.76	49.33	67.50	71.42	76.15	79.49
60	35.53	37.48	40.48	43.19	59.33	79.08	83.30	88.38	91.95
70	43.28	45.44	48.76	51.74	69.33	90.53	95.02	100.42	104.22
80	51.17	53.54	57.15	60.39	79.33	101.88	106.63	112.33	116.32
90	59.20	61.75	65.65	69.13	89.33	113.14	118.14	124.12	128.30
100	67.33	70.06	74.22	77.93	99.33	124.34	129.56	135.81	140.17

 ν = degrees of freedom.

B1.3. Tabellerade konfidensintervall för C_{pk}

Tabellen nedan visar vilket minimivärde som det skattade C_{pk} värdet måste uppfylla för att det verkliga C_{pk} ska till 95 % överstiga det önskade värdet på dugligheten.

Tabell B1.2 Minimivärden för det skattade C_{pk} värdet, där processen är duglig under 95 % av tiden (Källa: Kotz & Lovelace, 1998, appendix 8.5). Kolumnen längst till vänster visar det önskade C_{pk} värdet. N står för antalet observationer som utgör underlaget till duglighetsstudien.

C_{PK}	N = 10	N = 20	N = 30	N = 40	N = 50	N = 75	N = 100	N = 125	N = 150	N = 200	N = 250
1,0	1,80	1,46	1,35	1,29	1,25	1,20	1,17	1,15	1,13	1,11	1,10
1,1	1,96	1,60	1,48	1,41	1,37	1,31	1,28	1,26	1,24	1,22	1,21
1,2	2,12	1,73	1,61	1,54	1,49	1,43	1,39	1,37	1,35	1,33	1,32
1,3	2,29	1,87	1,73	1,66	1,61	1,55	1,51	1,48	1,47	1,44	1,42
1,4	2,45	2,01	1,86	1,78	1,73	1,66	1,62	1,59	1,58	1,55	1,53
1,5	2,62	2,14	1,99	1,90	1,85	1,78	1,73	1,71	1,69	1,66	1,64
1,6	2,78	2,28	2,12	2,03	1,97	1,89	1,85	1,82	1,80	1,77	1,75
1,7	2,94	2,42	2,24	2,15	2,09	2,01	1,96	1,93	1,91	1,88	1,86
2,0	3,44	2,83	2,63	2,52	2,45	2,35	2,30	2,26	2,24	2,20	2,18

Bilaga 2 - Styrdiagram

Styrdiagram kan i huvudsak delas in i variabel- och attributdiagram. Ett variabelstyrdiagram konstrueras utifrån data som har numeriska mått, som exempelvis längd, bredd eller temperatur. Det är även möjligt att konstruera styrdiagram för attributdata, där datamaterialet utgör exempelvis antal felaktiga enheter i en provgrupp eller antal fel per kontrollerad enhet. Innan ett styrdiagram konstrueras är det nödvändigt att kontrollera om datamaterialet är oberoende och normalfördelat. (Montgomery, 2001, s 459)

Ett variabeldiagram är nästan alltid bäst att använda inför en duglighetsanalys (Montgomery, 2001, s 329). Medelvärdesdiagrammet och det individuella styrdiagrammet är två styrdiagram för variabeldata. Diagrammen är bra på att visar stora förändringar, av storleken 2σ eller större, i processens medelvärde. Små skift på $1,5\sigma$ eller mindre är däremot svåra att upptäcka. (Bothe, 1997, s 16) Om styrdiagrammet ska identifiera små skift av processens medelvärde är det bättre att använda ett EWMA eller Cusum diagram (Montgomery, 2001, s 249).

B2.1. Medelvärdes- och spridningsdiagrammet

Det mest frekvent använda variabla styrdiagrammet är medelvärdesdiagrammet, \bar{x} . R diagrammet som är ett spridningsdiagram brukar användas tillsammans med medelvärdesdiagrammet. (Bothe, 1997, s 16 f)

Spridningsdiagrammet visar om variationen inom provgrupperna är konstant, från grupp till grupp (Montgomery, 2001). En provgrupp måste ha producerats under samma villkor, för att minska inomgruppsvariationen (Pyzdek, 1992). För att starta upp ett styrdiagram krävs det minst mellan 20 och 25 provgrupper (Montgomery, 2001, s 208).

Styrgränserna för \bar{x} beräknas enligt Montgomery (2001) som

$$\text{Övre styrgräns: } S_{\bar{o}} = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

$$\text{Centrallinje: } \bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{x}_i}{k}$$

$$\text{Undre styrgräns: } S_{\bar{u}} = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

Medelvärdet av observationerna betecknas \bar{x} och medelvärdet av provgrupperna $\bar{\bar{x}}$. Beräkningen av centrollinjen baseras på k provgrupper. R är variationsvidden inom en provgrupp, det vill säga skillnaden mellan det största och minsta värdet i provgruppen, och \bar{R} är medelvärdet av k R -värden.

Styrgränserna för R diagrammet är enligt Montgomery (2001, s 210):

$$\text{Övre styrgräns: } S_{\bar{O}} = D_4 \bar{R}$$

$$\text{Centrallinje: } \bar{\bar{R}} = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{k}$$

$$\text{Undre styrgräns: } S_{\bar{U}} = D_3 \bar{R}$$

Konstanterna A_2 , D_3 och D_4 baseras på antalet observationer i varje provgrupp och finns tabellerade i avsnitt B2.3.

B2.2 Styrdiagram för individuella mätvärden

Då provgruppen består av ett enskilt mätvärde kan ett individuellt X -diagram upprättas. (Montgomery, 2001, s 249f) Individuella styrdiagram brukar upprättas vid korta produktionsserier, förstörande provtagning eller där individuella mätningar är nödvändiga eller dyra (Griffith, 1996, s 20). Inom kemi- och processindustrin är det tillräckligt med ett mätvärde vid varje observation, eftersom att produkter som har producerats nära varandra tidsmässigt är nästan helt identiska. Styrgränserna för det individuella X diagrammet beräknas enligt Montgomery (2001, s 249 f) som

$$\text{Övre styrgräns: } S_{\bar{O}} = \bar{\bar{x}} + Z_{\alpha/2} \frac{\overline{MR}}{d_2}$$

$$\text{Centrallinje: } \bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{k}$$

$$\text{Undre styrgräns } S_{\bar{U}} = \bar{\bar{x}} - Z_{\alpha/2} \frac{\overline{MR}}{d_2}$$

där Z vanligtvis väljs till 3 och konstanten d_2 finns tabellerad i avsnitt B2.3.

Vid styrdiagram för individuella mätvärden används ofta det flytande medelvärdet, av två på varandra följande observationer, för att övervaka processens varians. Det flytande medelvärdet definieras som $MR_i = |x_i - x_{i-1}|$. En del anser att ett MR diagram inte kan ge bra indikationer om hur processens varians förändras. (Montgomery, 2001, s 253)

B2.3. Konstanter

För provgrupper upptill 10 finns konstanterna A_2 , D_3 , D_4 och d_2 tabellerade i nedanstående tabell. I Montgomery (2001, s 761) finns konstanterna tabellerade för provgruppsstorlekar upptill 25.

Tabell B2.1 Konstanter som används vid konstruktion av styrdiagram (Källa: Montgomery, 2001, s 761).

PROVGRUPPENS STORLEK	A_2	D_3	D_4	D_2
2	1,880	0	3,267	1,128
3	1,023	0	2,575	1,693
4	0,729	0	2,282	2,059
5	0,577	0	2,115	2,326
6	0,483	0	2,004	2,534
7	0,419	0,076	1,924	2,704
8	0,373	0,136	1,864	2,847
9	0,337	0,184	1,816	2,970
10	0,308	0,223	1,777	3,078

Bilaga 3 – Transformerings vid skeva fördelningar

Processdata är ofta inte normalfördelade, utan de tillhör ofta skeva fördelningar. Ett positivt skevt material transformeras för att komprimera den högra svansen. En transformering av ett negativt skevt material syftar till att komprimera den vänstra svansen. (Bothe, 1997, s 417) För att observationerna ska bli approximativt normalfördelade finns ett antal transformerings, se tabell B3.1, som kan användas.

Tabell B3.1 Transformerings som kan vidtas vid skeva fördelningar (Källa: Bothe, 1997, s 417).

SKEVHET	TRANSFORMERING
Positiv med undre gräns noll	$\log x, \ln x, \sqrt{x}, \sqrt[3]{x}, -1/\sqrt{x}, -1/x$
Positiv med undre gräns b	$\log(x-b), \sqrt{x-b}, \sqrt[3]{x-b}$
Negativ	x^2, x^3
Negativ med en övre gräns	$\log[x/(1-x)], \ln[x/(1-x)], \arcsin \sqrt{x}$

Appendix

Appendix - Processdata

Nedan presenteras resultat från genomförda studier. I kapitlet benämns det runda och det fyrkantiga kraghålet som K1 respektive K2. Dessutom förkortas pressverktyg ett till V1 och verktyg två till V2.

A.1 Transformerade styrgränser

Hål som tillhörde skeva fördelningar och således erfordrade transformering för att bli approximativt normalfördelade, visas i tabellen nedan.

Tabell A.1 Hål som hade skeva fördelningar.

PRODUKT	HÅL	FÖRDELNING	TRANSFORMERING
P2 gavel	K2V2	Positivt skev	$\log(K2V2-0,24)$
P2 skena	K1V2	Negativt skev	$\log(1/K1V2-2,7)$

A.2 Kontroll av normalfördelning

I nedanstående tabell visas en sammanställning över runda hål som var normalfördelade.

Tabell A.2 Runda hål som var normalfördelade.

PRODUKT	HÅL
P1 skena	K1V2
P3 gavel	K1V2
P3 skena	K1V1

Fyrkantiga hål som inte var normalfördelade finns sammanställda i nedanstående tabell. Att P2 skena K2V2 inte var normalfördelat berodde på att datamaterialet härstammar från två olika normalfördelningar, på grund av den slipade kragtappen.

Tabell A.3 Fyrkantiga hål som inte var normalfördelade.

PRODUKT	HÅL
P1 skena	K2V2
P2 gavel	K2V2
P2 skena	K2V2

A.3 Skattad duglighet

Nedan redovisas processernas skattade duglighet, uppdelad på respektive produkt.

A.3.1 Gavel

Tabell A.4 Den skattade dugligheten hos P1 gavel.

PRODUKT	HÅL	$C_p > 1,6$	$C_{pk} > 1,6$	DUGLIG
P1 gavel	K1V1	Ja	Ja	Ja
P1 gavel	K1V2	Nej	Nej	Nej
P1 gavel	K2V1*	Ja	Nej	Nej
P1 gavel	K2V2*	Ja	Nej	Nej

* Observationerna var normalfördelade

Tabell A.5 Den skattade dugligheten hos P2 gavel.

PRODUKT	HÅL	$C_p > 1,6$	$C_{pk} > 1,6$	DUGLIG
P2 gavel	K1V1	Ja	Ja	Ja
P2 gavel	K1V2	Ja	Nej	Nej
P2 gavel	K2V1*	Ja	Nej	Nej
P2 gavel	K2V2	Nej	Nej	Nej

* Observationerna var normalfördelade

Tabell A.6 Den skattade dugligheten hos P3 gavel.

PRODUKT	HÅL	$C_p > 1,6$	$C_{pk} > 1,6$	DUGLIG
P3 gavel	K1V1	Ja	Ja	Ja
P3 gavel	K1V2*	Ja	Nej	Nej
P3 gavel	K2V1*	Ja	Nej	Nej
P3 gavel	K2V2*	Ja	Ja	Ja

* Observationerna var normalfördelade

A.3.2 Skena

Tabell A.7 Den skattade dugligheten hos P1 skena.

PRODUKT	HÅL	$C_p > 1,6$	$C_{pk} > 1,6$	DUGLIG
P1 skena	K1V1	Nej	Nej	Nej
P1 skena	K1V2*	Ja	Nej	Nej
P1 skena	K2V1*	Ja	Nej	Nej
P1 skena	K2V2	Nej	Nej	Nej

* Observationerna var normalfördelade

Tabell A.8 Den skattade dugligheten hos P2 skena.

PRODUKT	HÅL	$C_p > 1,6$	$C_{pk} > 1,6$	DUGLIG
P2 skena	K1V1	Ja	Nej	Nej
P2 skena	K1V2	Nej	Nej	Nej
P2 skena	K2V1*	Nej	Nej	Nej
P2 skena	K2V2	Nej	Nej	Nej

* Observationerna var normalfördelade

Tabell A.9 Den skattade dugligheten hos P3 skena.

PRODUKT	HÅL	$C_p > 1,6$	$C_{pk} > 1,6$	DUGLIG
P3 skena	K1V1*	Ja	Nej	Nej
P3 skena	K1V2	Ja	Ja	Ja
P3 skena	K2V1*	Ja	Nej	Nej
P3 skena	K2V2*	Ja	Nej	Nej

* Observationerna var normalfördelade

A.4 Konfidensintervall

Processernas respektive duglighet har skattats utifrån 65 till 105 observationer. Beräkningen av det verkliga C_{pk} bygger på N observationer. I nedanstående tabell redogörs för hur stor det skattade C_{pk} värdet måste vara, för att det sanna C_{pk} värdet ska vara 1,3.

Tabell A.10 Om det verkliga C_{pk} ska uppfylla 1,3 måste den skattade dugligheten anta ett större värde (Källa: Kotz & Lovelace, 1998). N står för antalet observationer som utgör underlaget till duglighetsstudien.

PRODUKT	INSAMLADE OBSERVATIONER (ST)	N (ST)	VERKLIGT $C_{PK} = 1,3$
P1 gavel	67	50	1,61
P2 gavel	89 respektive 91	75	1,55
P3 gavel	81 och 83	75	1,55
P1 skena	65 och 66	50	1,61
P2 skena	89 respektive 91	75	1,55
P3 skena	105	100	1,51

A.5 Utökade toleransintervall

Toleransintervallet som erfordras erhålls av $T_{\bar{O}} - T_U = \hat{C}_p * 6\sigma$. Det skattade C_p beräknas utifrån toleransintervallets understa gräns

$$\hat{C}_p = C_p \sqrt{\frac{n-1}{\chi^2_{1-\alpha, n-1}}}$$

där n är antalet observationer. Chi-två fördelningen $\chi^2_{1-\alpha, n-1}$ finns tabellerad i bilaga B1.2.

I tabellerna nedan visas en sammanställning över framräknade toleransintervall som krävs för att erbjuda kunden en potentiell duglighet på 1,33 respektive 1,67 för respektive håll.

Tabell A.11 Beräknade toleransintervall som erfordras, då P2 skena var exkluderad.

HÅL	$C_p = 1,33$	$C_p = 1,67$
K1 skena	0,47	0,59
K2 skena	0,47	0,59
K1 gavel	0,51	0,64
K2 gavel	0,46	0,58

Tabell A.32 Beräknade toleransintervall som erfordras, då P2 skena var inkluderad.

HÅL	$C_p = 1,33$	$C_p = 1,67$
K1 skena	0,74	0,93
K2 skena	0,86	1,08

A.6 Blästerns inverkan på skenor

Följande avsnitt redovisar blästerns inverkan på skenornas hål.

A.6.1 Hål som producerats med slipad kragtapp

Nedan återges blästerns inverkan på samtliga hål till P2 skena som producerats med en slipad kragtapp.

Tabell A.13 Skillnad mellan blästrade och oblästrade detaljer före rekonditionering.

PRODUKT	HÅL	MEDEL (MM)	STD	FÖRÄNDRING (MM)
P2 skena	K1V1	0,03	-0,020	-0,03 till 0,10
P2 skena	K1V2	0,03	-0,001	-0,01 till 0,07
P2 skena	K2V1	0,24	-0,016	0,18 till 0,36
P2 skena	K2V2	0,32	-0,005	0,27 till 0,36

För att verifiera blästerns inverkan på hål som producerats med en slipad kragtapp studerades P1 skena. Resultatet från denna studie visas i nedanstående tabell.

Tabell A.14 Skillnad mellan blästrade och oblästrade detaljer anges i mm. Kolumnen förändring visar den minsta respektive den största individuella förändringen av en håldiameter.

PRODUKT	HÅL	MEDEL (MM)	STD	FÖRÄNDRING (MM)
P1 skena	K1V1	0,015	-0,017	0 till 0,15
P1 skena	K2V1	0,16	0,0006	0,2 till 0,19

A.6.2 Nya kragtappar

En sammanställning över blästerns inverkan på hål som producerats av nya kragtappar återges nedan.

Tabell A.15 Skillnad mellan blästrade och oblästrade detaljer anges i mm. Kolumnen förändring visar den minsta respektive den största individuella förändringen av en håldiameter.

PRODUKT	HÅL	MEDEL (MM)	STD	FÖRÄNDRING (MM)
P2 skena	K1V1	0,01	0,004	-0,10 till 0,08
P2 skena	K1V2	0	-0,007	-0,03 till 0,04
P2 skena	K2V1	0,13	0,025	0,05 till 0,19
P2 skena	K2V2	0,12	0,025	0,05 till 0,17

Verifierande försök på blästerns inverkan på hålen redovisas i nedanstående tabell på P1 skena.

Tabell A.16 Skillnad mellan blästrade och oblästrade detaljer.

PRODUKT	HÅL	MEDEL (MM)	STD
P1 skena	K1V1	0,004	0,060
P1 skena	K2V1	0,23	0,004

A.6.3 Blästermängd

I tabellen nedan återges skillnaden mellan mycket och lite blästermedel i bufferten före blästern.

Tabell A.17 Visar skillnaden mellan mängden blästermedel i buffert (mycket – lite blästermedel).

PRODUKT	HÅL	MEDEL (MM)	STD
P2 skena	K1V1	0,02	-0,04
P2 skena	K2V1	-0,017	-0,004

A.7 Blästerns inverkan på gavlar

I tabell A.18 ges en sammanställning över skillnaden mellan blästrat och oblästrade gavlar. Gavlarnas hål hade en tendens att minska under blästringen.

Tabell A.18 Skillnad mellan blästrade och oblästrade detaljer anges i mm. Kolumnen förändring visar den minsta respektive den största individuella förändringen av en håldiameter.

PRODUKT	HÅL	MEDEL (MM)	STD	FÖRÄNDRING (MM)
P3 gavel	K1V1	0,02	0,0005	0 till 0,14
P3 gavel	K1V2	0,01	0,0185	-0,2 till 0,18
P3 gavel	K2V1	-0,03	0,0032	-0,12 till 0
P3 gavel	K2V2	-0,03	0,0415	-0,29 till 0,05