

CODEN:LUTMDN/(TMMV-5257)/1-75/2013

# Monte Carlo-simulering av tillverkningskostnaden

-En tillverkningsekonomisk studie ur ett statistiskt perspektiv



Franz Jarl

Niklas Hilding

Industriell produktion LTH, Lunds universitet

Lund 2013

---

## SAMMANFATTNING

DPM är ett tillverkningsföretag och underleverantör med primärt operationer baserade på förädlingsmetoden skärande bearbetning. DPM har under senare tid haft önskemål om att göra statistiska efterkalkyler av sin produktion. Fram till idag har företaget gjort efterkalkyler i begränsad omfattning, vilket innebär att förkalkylerade tillverkningskostnader dominerat besluten i samband med exempelvis offertgivning. Detta förhållande medger en utvecklingspotential genom att DPM kan stärka sin kostnadsmedvetenhet med hjälp av ett bättre statistiskt verktyg eller beräkningsmodell. Verktyget avser kunna optimera produktportfölj och tillhörande försäljning samtidigt som DPM kan finna optimala utvecklingsscenarier inom produktionen.

Monte Carlo-simulering har kommit att bli ett vanligt och användbart verktyg för att göra statistiska undersökningar på processer. Metoden har endast använts i begränsad omfattning inom det produktionsekonomiska området, särskilt när det gäller analys av s.k. nedbrutna tillverkningskostnader och i samband med prissättning. Föreliggande arbete syftar till att utveckla ett arbetsätt baserat på dynamisk simulering och därmed ta utvecklingen till en mer utökad och komplett nivå. Syftet med Monte Carlo-simulering är att erhålla fördelningsfunktioner över tillverkningskostnaden och därigenom kunna bestämma med vilken sannolikhet en viss kostnad eller vinst föreligger. Studien visar att Monte Carlo-simulering fungerar utmärkt för att undersöka produktionsekonomin i ett tillverkande företag. Från resultaten i rapporten kan det fastställas att somliga detaljer genererar vinst medan andra går med förlust. Vidare kan det utläsas att större variationer i produktionen förekommer, vilket leder till en högre kostnadsmedvetenhet.

Monte Carlo-simulering av tillverkningskostnaden kan vara mycket användbart för företag att genomföra. Metodiken kräver dock en djupare kunskap inom statistik och sannolikhetslära. Detta i kombination med ett gediget datainsamlande och produktionsteknisk kompetens kan bl.a. kvalitén på offerter och medvetenheten om tillverkningskostnader drastiskt öka. En annan slutsats är tillverkarna av affärssystem integrerar denna form av dynamisk simulering i sina system skulle den administrativa effektiviteten öka. En automatisk koppling mellan produktionsuppföljning, offertgivning och efterkalkyl skulle därigenom kunna möjliggöras, vilket skulle leda till en successivt ökad kvalitet och kunskap både produktionsutveckling och offertgivning.

Arbetet har fått en god respons från DPM vad det gäller uppföljning av detaljer i produktionen. Från att tidigare ha gjort efterkalkyler begränsad omfattning till att gå hela vägen och följa den statistiska metodiken i arbetet med hänsyn till variationer är ett stort och krävande steg. Att DPM nu gör efterkalkyler kommer att innebära en förbättring som förhoppningsvis leder till en mer optimerad produktportfölj med resurseffektivare produktion.

**ABSTRACT**

DPM is a manufacturing company within the metal cutting industry. A number of years ago there emerged a desire to make statistical calculations for its production. Until today, the company has not done any post-calculations, which means that they have based their cost calculations and sales prices on precalculated costs. The absence of post-calculations leads to lack of cost-consciousness that is required to optimize the product portfolio and sales.

Monte Carlo simulation has become a common and useful tool to make statistical studies of processes. The method has been little used in the production economic area until now and this report's meaning is to fill in the missing gaps and take it to a higher level. The purpose of the Monte Carlo simulation is to obtain the distribution functions of the cost of production and thereby determine the probability to a certain cost or profit.

The study shows that Monte Carlo simulation works well to investigate the production economics in a manufacturing company. From the results of the report it can be concluded that some details generates profits while others aren't. Moreover, it can be seen that great variances occurs in the production, which leads to a higher cost consciousness when recognized.

Monte Carlo simulation of the manufacturing cost can be very useful for companies to implement. The methodology requires a deeper knowledge of statistics. This, combined with the large amount of data collection can in many cases lead to absence of simulation. The conclusion is therefore that it would be best if manufacturers of information systems could adopt this method and implement it in their systems.

The work has received good response from DPM when it comes to follow-up on details in production. From having abstained completely from the post-calculations and go all the way to follow the statistical methodology of work, considering variations is a major and challenging step. If DPM can continue making post-calculations this will hopefully make the improvement that leads to a more optimized product portfolio with less products that contribute with losses.

## ERKÄNNANDE

*Projektet är utfört under hösten 2012 inom ramen för forskningen vid Industriell produktion LTH, Lunds universitet ingår i det strategiska forskningsområdet och forskningsprogrammet SPI (Sustainable Production Initiative), vilket är ett samarbete mellan Lunds universitet och Chalmers.*

*Arbetet är utfört i samarbete med företaget DPM.*

*Vi vill börja med att TACKA alla de personer och anställda vid DPM som varit delaktiga i projektet och som svarat på frågor då vi behövt assistans och experthjälp.*

*Ett speciellt TACK vill vi rikta till:*

**Simon Burgess** – Doktorand från Lunds Tekniska Högskola som varit ett bollplank och hjälpt oss mycket med den statistiska delen av arbetet.

**Christina Windmark** – handledare från Lunds Tekniska Högskola som hjälpt oss med teknisk konsultation.

**Jan-Eric Ståhl** – examinator och handledare vid Industriell produktion, LTH som bidragit med ovärderligt underlag till arbetet och är initiativtagare till grundidén om Monte Carlo-simulering av nedbrutna och detaljerade tillverkningskostnader.

*Men även andra berörda personer som ställt upp och granskat arbetet för att det ska nå bästa möjliga resultat.*

*Ett stort tack från författarna, TACK!*

---

## Innehållsförteckning

<b>Sammanfattning</b>	<b><i>i</i></b>
<b>Abstract</b>	<b><i>ii</i></b>
<b>Erkännande</b>	<b><i>iii</i></b>
<b>Symbollista</b>	<b><i>v</i></b>
<b>1 Inledning</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund	1
1.2 Problemformulering	2
1.3 Syfte	2
1.4 Målformulering	2
1.5 Avgränsningar	3
1.6 Målgrupp	4
1.7 Metod	4
<b>2 Teori</b>	<b>7</b>
2.1 Monte Carlo-simulering	7
2.2 Tillverkningskostnad	10
2.3 Statistiska fördelningar	15
<b>3 Företagsanalys</b>	<b>23</b>
3.1 Verksamhetsbeskrivning	23
3.2 Informationssystem	24
<b>4 Analys</b>	<b>27</b>
4.1 Indata	27
4.2 Antaganden	29
4.3 Fördelningsanpassning	30
4.4 Simulering	33
4.5 Artiklar	35
4.6 Familjer-Karaktäristiska detaljer	48
4.7 Beroenden	52
4.8 Verktyg för efterkalkylering	53
<b>5 Diskussion</b>	<b>55</b>
<b>6 Slutsatser</b>	<b>58</b>
<b>7 Referenser</b>	<b>60</b>
<b>Bilaga A</b>	<b>61</b>
<b>Bilaga B</b>	<b>73</b>

## SYMBOLLISTA

För att lättare beskriva modeller och funktioner knutet till frågeställningen så införs här en symbollista som vidare gäller genom hela rapporten. Använd denna sida som ett uppslagsverk och komplettering till det som omnämns i arbetet.

Bet.	Beskrivning	Enhet
k	Detaljkostnad för förädling i en planeringspunkt	kr/styck
$k_B$	Materialkostnad per detalj	kr/styck
$k_{CP}$	Maskintimkostnad under produktion	kr/h
$k_{CS}$	Maskintimkostnad vid stillestånd och omställning	kr/h
$k_{tot}$	Totala detaljkostnaden efter alla förädlingssteg	kr/styck
$k_D$	Lönekostnad	kr/h
$N_0$	Nominell seriestorlek	Styck
N	Totalt antal erforderliga ämnen, $N_0/(1-q_Q)$	Styck
$q_Q$	Andel kassationer	-
$q_B$	Materialspillfaktor	-
$q_s$	Andel produktionsstillestånd	-
$q_p$	Relativ taktförlust	-
$T_{SU}$	Ställtid (omställningstid)	Min
$T_{plan}$	Total planerad och betald tid	Timmar
$T_{SFK}$	Stilleståndstid med fri kapacitet	Min
$T_{pb}$	Total tid att tillverka en batch	Min
$t_0$	Nominell cykeltid per detalj	Min
$t_{avg}$	Genomsnittliga cykeltiden per detalj	Min
$t_p$	Produktionstid per detalj	Min
$t_{0V}$	Verklig cykeltid	Min
$U_{RB}$	Utnyttjandegraden vid reducerad beläggning	-
$\alpha$	Skevhetsparameter - Weibullfördelning	-
$\beta$	Skalparameter - Weibullfördelning	-
$\mu$	Väntevärdesparameter - Normalfördelning	-
$\sigma$	Standardavvikelse - Normalfördelning	-

---

# 1 Inledning

I detta kapitel kommer förutsättningen för examensarbetet att beskrivas. Bakgrund till varför studien påbörjats och vilka faktorer eller problem som skall utredas för att nå de syften och mål som diskuterats fram med de berörda parterna. I detta fall, institutionen för Industriell Produktion på LTH samt DPM.

Vidare kommer diskussioner med avseende på vad fokus i arbetet kommer att ligga, samt vilka avgränsningar som görs eller är nödvändiga att göras för att lyckas genomföra och nå de uppställda målformuleringarna.

Slutligen kommer ett resonemang om vilka olika målgrupper denna typ av studie riktar sig till samt metodiken för att utföra densamma.

## 1.1 Bakgrund

DPM är idag ett företag i framkant vad avser skärande bearbetning. Detta innefattar tillverkning av såväl kundspecifika detaljer och som precisionstillverkade detaljer. DPM har även en egen konstruktions- och utvecklingsavdelning vilket medför att de tar ett helhetsansvar, från idéstadiet till färdig produkt och serietillverkning. Företaget har drygt 200 anställda som arbetar med den dagliga verksamheten. 2011 hade DPM en omsättning på knappt 400 Mkr och visade på ett positivt resultat för andra året i rad.

I dagens industri är det vanligt att företag får offert- eller anbudsförfrågningar. Vid offertgivningen lämnar företaget då ett prisförslag, ofta utslaget som kostnad per detalj. Denna offert räknas ut med hänsyn till insamlad data, tidigare erfarenheter och antaganden. Beräkningarna bygger då på genomsnittliga värden eller mest förekommande värden vilket leder till att utfallet inte alltid blir lika då det faktiskt finns variationer i produktionen. Vanligtvis gör företag efterkalkyler och kan därigenom se hur utfallet skiljer sig från den initialt beräknade tillverkningskostnaden. Därefter kan hänsyn till efterkalkylerna tas vid nya offertberäkningar.

I dagsläget gör DPM inte några efterkalkyler men uttryckte ett önskemål om just detta för ett antal år sedan. Deras tanke var att undersöka det hela ur ett statistiskt perspektiv, både för att öka förståelsen för enskilda kostnadsdrivare samt få en bättre förståelse för hur stora variationer som egentligen förekommer i produktionen. Tidigare dolda parametrar kan då åskådliggöras och leda till en förändring av kostnadsbilden vilket i sin tur kan bidra till en större medvetenhet vid offertgivning.

DPM har idag ett stort antal artiklar i sin produktion och räknar med att ca 100 artiklar körs två gånger eller mer under ett och samma år. Resterande artiklar körs färre än 2 gånger per år och är därför mindre intressanta vid efterkalkylering då det ofta rör sig om reservdelar vilka många gånger har en god vinstmarginal.

---

Vid statistiska undersökningar är det fördelaktigt med mycket data och två batcher per år kan då te sig vara relativt skralt för att utgöra som underlag. I syfte att förbättra detta går det att utföra simuleringar som beror av fördelningarna på det dataunderlag som finns att tillgå. Därmed skall en så kallad Monte Carlo-simulering utföras, vilken bygger på fördelningsfunktionerna från den insamlade underlaget och kommer simulera data för 2000 batcher istället för som idag 2 batcher per år eller 8-10 batcher under perioden 2008-2012.

Dataunderlaget skall sedan användas för att räkna ut den förväntade tillverkningskostnaden vilket med andra ord betyder att tillverkningskostnaden kommer bygga på efterkalkyler eller data från tidigare batcher och därigenom bli mer exakt än den initialt beräknade tillverkningskostnaden som idag används vid offertgivning.

## 1.2 Problemformulering

DPM har för ett flertal år sedan önskat att göra statistiska efterkalkyler på sina producerade detaljer. Fram till idag så har inte vetskapen om hur detta skall genomföras funnits och därför har inte heller problemet kunnat lösas.

I dagsläget görs inga efterkalkyler och därmed kan det vara svårt att veta om prissättningen på produkterna ligger i fas med tillverkningskostnaden. Många faktorer påverkar den slutliga kostnaden hos en detalj, såsom stillestånd och kassationer. Då dessa faktorer har helt olika statistiska fördelningar kommer stora utmaningar vid hantering och framtagning av fördelningsfunktionerna att krävas.

Efterkalkylering innefattar ofta ett gediget arbete och i DPMs produktion ingår ett stort antal artiklar, vilket gör det än mer omfattande.

## 1.3 Syfte

I första hand är syftet med projektet att få en ökad förståelse för hur den produktionsekonomiska teorin kan konkretiseras och användas i verkligheten, i detta fall på DPM. Förståelsen kommer vidare att mynna ut i ett resultat som ska kunna användas av DPM. Företaget ska kunna ta vid där arbetet är avslutat och sätta sig in i rapporten tillräckligt gott för att själva dra fördel av arbetet och göra egna analyser och slutsatser inom området. Avdelningen för Industriell Produktion kommer även att ta del av rapporten och kommer att kunna hänvisa till den som en studie inom Monte Carlo-simulering av tillverkningskostnader. Detta material kommer till del att användas som studiematerial och vid föreläsningar inom fortsättningskursen Tillverkningssystem FK på LTH. Då området är begränsat utforskat finns stort hopp om att rapporten kan ligga till god grund för vidare forskning och utveckling.

## 1.4 Målformulering

Det huvudsakliga målet med arbetet är att Monte Carlo-simulera tillverkningskostnaden för en specifik detalj i produktionen. Diverse tekniska modeller kommer då att testas där den bäst lämpade för ändamålet kommer användas. Den statistiska



---

efterkalkyleringen skall vidare leda till en ökad medvetenhet för kostnadsvariationen i tillverkningen. En grupp detaljer skall väljas ut för att simuleras för att ta fram den exakta detaljkostnaden. Dessutom skall en ”familj”-analys leda fram till om karaktäristiska detaljer är användbart.

En mall skall tas fram för hur en simulering av kostandsparametrarna kan göras så att DPM kan ta del av både resultatet på utvalda detaljer men även utföra simuleringar själva på andra artiklar. Slutgiltigt är målet att en försäljare ska kunna påvisa med vilken sannolikhet det föreligger vinst av den utvalda detaljen för att skaffa sig mer förhandlingsmedel.

## 1.5 Avgränsningar

För att examensarbetet skall hålla sig inom ramen för målen, tid och mängd så har en del avgränsningar gjorts. Dessa avgränsningar är gjorda i samspråk med handledares erfarenheter för att ge rapporten maximal lämplighet.

- Alla beräkningar är gjorda med antagandet att det råder full beläggning i produktionen trots att så inte är fallet under t.ex. lågkonjunktur. Detta görs av anledningen att komplexiteten ökar så pass mycket att det inte väger upp nyttan av ett eventuellt genomförande.
- De mer komplexa detaljerna lämnas utanför studien och fokus läggs på inkörda detaljer med färre operationer. Detta görs för att underlätta arbetet samtidigt som tid då kan frigöras för att hinna studera fler detaljer.
- Kassationsandelen antas vara normalfördelad och uppskattas m.h.a personalens erfarenheter. Detta görs enbart av enkelhetens skull då normalfördelningens struktur är mer av intuitiv karaktär.
- Beräkningarna är gjorda från ett urval av 11 stycken detaljer från DPMs produktportfölj, vilka har varit aktiva i produktionen 2008-2012. Detta är gjort eftersom äldre data än så är mer bristfällig och därmed inte anses tillförlitlig i lika hög grad.

---

## 1.6 Målgrupp

Studien riktar sig framförallt till DPM, all data som använts kommer därifrån vilket gör den högst relevant för dem. Även institutionen för Industriell Produktion på LTH har stort intresse i rapporten och är ett resultat av ett samarbete dem och oss emellan. Dock bör målgruppen vara mycket större då det är ett nytt och vidgat sätt att se på hur tillverkningskostnaden varierar.

Långt ifrån alla i dagens tillverkningsindustri tar fram efterkylkyler. I synnerhet är det mindre vanligt bland medelstora- och småföretag. Ofta görs bara en förkalkyl som ligger till grund för offerten. Det egentliga utfallet kommer således inte att utredas och de stora kostnadsdrivarna upptäcks heller inte, vilket är av största vikt för att reducera kostnader i syfte att höja vinstmarginalen. Därmed bör denna studie vara intressant för i stort sett alla tillverkande företag. En begränsande faktor skulle emellertid kunna vara svårigheten att ta till sig den teoretiska biten med avseende på Monte Carlo-simulering av tillverkningskostnaden. Detta skulle i sin tur kunna göra den ointressant på grund av bristande kunskap för de ingående delarna.

## 1.7 Metod

Det finns flera olika sätt att genomföra ett examensarbete. För att ge en grundlig men relativt snabb förståelse för vilka metoder som finns och vilken metod som används i denna rapport så ges kort introduktion till detta nedan.

### 1.7.1 Beskrivande, utforskande, förklarande & problemlösande studier

Det finns fyra olika övergripande syften i ett arbete. Beroende på karaktär hos studien och arbetets mål så tar arbetet ståndpunkt ur någon av dessa. Ofta kombineras dock dessa till viss mån i arbetets gång. En beskrivande studie syftar till att beskriva hur verkligheten är och inte hur verkligheten borde se ut. Den utforskande studien utgör vanligtvis en inledande del i en större studie där det tas reda på om tidigare kunskaper finns och om dessa stämmer. Den förklarande studien går ut på att söka anledningar till orsaker och verkan, samt förklaringar till hur något som studerats fungerar eller utförs. Den problemlösande eller normativa studien syftar till att ta fram en lösning till det problem som definierats i problembeskrivningen (Mattsson & Örtenblad, 2008).

Det absolut vanligaste sättet att genomföra en vetenskaplig studie vid teknisk högskola är på ett problemlösande vis (Höst, Regnell, & Runeson, 2006). Likaså gäller för den här rapporten, framförallt i den del av arbetet då simuleringarna skall utföras. En mall kommer att presenteras för hur dessa simuleringar skall lösas. Då området för arbetet är helt utforskat så kommer arbetet även att innehålla en utforskande karaktär, speciellt i början då litteraturstudie utförs.

---

## 1.7.2 Deduktion och induktion

Metodikerna för att samla in data brukar delas in i två olika strategier. Den deduktiva strategin utgår ifrån att det lämpar sig bäst att börja med att samla in information och kunskap om teorin för att sedan samla in empiri och jämföra förväntningar med utfall. För den induktiva strategin däremot gäller motsatsen, alltså ”från empiri till teori” (Jacobsen, 2002).

Detta arbete har använt sig av en deduktiv strategi. Litteraturstudien i början av arbetet var nödvändig för att kunna hantera empiri då komplexiteten i lösningen av problemet var hög.

## 1.7.3 Kvalitativ och kvantitativ

Vid en kvantitativ studie samlas sådan data in som kan räknas eller klassificeras t.ex. antal, andel, längd, ålder etc. För att bearbeta kvantitativ data så kan statistisk analys användas. Den kvalitativa studien utgörs istället av beskrivningar som är detaljrika och nyanserade. För att analysera kvalitativa data så krävs det sortering och kategorisering (Höst, Regnell, & Runeson, 2006)

Detta examensarbete kommer mestadels att bestå av kvantitativ analys då indata är mätbart och kan anges i siffror. Kvaliteten på indata är undantaget där det inte går att sätta värde på hur bra den är.

## 1.7.4 Primär och sekundärdata

Datainsamling kan delas upp i två typer: primärdata och sekundärdata. Primärdata innefattar t.ex. intervjuer, enkäter och observationer som är direkt anknutna till studiens syfte. Sekundärdata å andra sidan kan vara litteratur och företagsmaterial som är framtaget tidigare i andra syften än det aktuella och måste då alltså inte beröra det aktuella arbetet (Jacobsen, 2002).

Rapportens huvudsakliga primärdata kommer från DPM affärssystem och MPS-system samtidigt som en del data har tagits från intervjuer med handledare och arbetare i produktionen på DPM. Sekundärdata kommer mestadels från kurslitteratur, vetenskapliga artiklar samt internt företagsmaterial.

---

### 1.7.5 Giltighet

En studies giltighet kan delas upp i tre olika kategorier, reliabilitet, validitet och representativitet. Reliabilitet talar om hur pass tillförlitlig insamlad data är och hur väl gjord analysen är med hänsyn taget till slumpmässiga variationer. Validiteten i en rapport säger hur träffsäker rapporten är. D.v.s. hur nära mäts det vad som avser att mätas? Slutligen så ska rapporten vara representativ på så sätt att slutsatserna är objektiva och generella (Höst, Regnell, & Runeson, 2006).

Författarna till rapporten kan ses som externt anlitade av DPM vilket ökar reliabiliteten avsevärt. Detta gör att intervjuer med personal kan få högre träffsäkerhet då inga andra faktorer eller känslor påverkar i samma grad. Rapporten måste räknas som mycket representativ då arbetet är utfört utan tidigare kontakt med företaget samtidigt som oberoende litteratur har studerats i största möjliga mån. Då det visat sig starkt intresse från både DPM och högskolans sida gällande rapportens resultat så får det indikera på relativt hög validitet.

---

## 2 Teori

Teoridelen som följer ligger till grund för den ämnesfördjupning som krävs för att genomföra arbetet. Källor består mestadels av vetenskapliga artiklar och studentlitteratur, samtidigt som författarnas lyfter fram egna intressanta fakta för att bygga upp teorin. Teorin är uppdelad i tre huvudsakliga delar, Monte Carlo-simulering, tillverkningskostnad och statistiska fördelningar.

Monte Carlo-simulering tar upp fakta för hur denna metod fungerar och hur den kan användas med avseende på speciellt tillverkningskostnad. Nästa del om tillverkningskostnad handlar om hur detaljkostnaden kan beräknas vid tillverkning, hur formeln är uppbyggd och hur dynamiska kostnader hanteras. Den sista delen om statistiska fördelningar ger en ökad förståelse i hur olika fördelningar är uppbyggda och hur dessa kan användas. Det tas även upp teori kring hur uppskattning av data kan göras för att i slutändan kunna utföra simuleringar.

### 2.1 Monte Carlo-simulering

Monte Carlo simulering går ut på att utifrån ett slumpmässigt urval beskriva detta med en viss matematisk fördelning. Ett antal variabler som då valts ut för att göra en statistisk beräkning kan därför få olika fördelningar beroende på utfallet. I detta fall görs Monte Carlo-simulering på de utvalda variabler som beskrivs i teoridelen om kostnadsmodellen. När dessa variabler är valda simuleras varje tillhörande fördelning fram med vald storlek efter noggrannhet och behov. I denna del följer en närmre beskrivning om Monte Carlo-simuleringens historia, vilka användningsområden metoden har och om hur den kan användas inom det aktuella arbetsområdet, tillverkningskostnad (Ståhl, Development of Manufacturing Systems-The link between technology and economics, 2013)

#### 2.1.1 Användning

Simulering i sig är ursprungligen ett ord taget från latinets *simulo* vilket betyder att låtsas. Simulering i sig betyder alltså att verkligheten ersätts med t.ex. en matematisk modell vilken man då kan göra beräkningar på istället för att beskriva verkligheten (Rydén & Lindgren). Monte Carlo-metoden kommer från början från 1940-talet då John von Neumann, Stanislaw Ulam och Nicholas Metropolis arbetade med kärnvapensprojektet "Manhattan project". De tog fram den första modellen för det som skulle kallas Monte Carlo-simulering. Namnet Monte Carlo är tagit från det kända Monte Carlo Casino. Ett kasino där Ulams farbror ofta spelade bort sina pengar (Metropolis, 1987).

Då någon har velat undersöka en komplicerad process eller ett system så har det varit vanligt under lång tid att använda sig av Monte Carlo-simulering. Sprickbildning i material eller en produktionsprocess är exempel på lämpliga sådana. Simulering av särskilda processer har varit nödvändigt då det har kommit att bli för

---

komplikerat att beräkna det önskade utan en modell som tar hänsyn till slumpmässig inverkan osv. Genom att avbilda verkligheten i en modell som hanterar slumpantal och på så sätt kan hantera olika händelser så kan det ge en uppfattning om hur utfallet blir i det långa loppet. I takt med att datortekniken har gått framåt så har även Monte Carlo-metoden utvecklats. Användbart har det även blivit på senare år att använda tekniken för att beräkna statistiska fördelningar som t.ex. styrkefunktioner för statistiska test (Rydén & Lindgren).

## 2.1.2 M.C.-simulering av tillverkningskostnaden

Utbudet av litteratur rörande Monte Carlo-simulering av nedbrutna tillverkningskostnader är tämligen undermålig. Dock behandlar Jan-Eric Ståhl detta ämne i sin bok "Development of Manufacturing Systems, -the link between technology and economics" (Ståhl, Development of Manufacturing Systems- The link between technology and economics, 2013). I denna påvisas en modell eller ett tillvägagångssätt för hur metoden kan utföras, steg för steg på ett utförligt vis. Teorin som följer är direkt kopplad till innehållet i denna boken.

Vidare har Åkerberg m. fl. (Åkerberg & Zacchi, 2000) gjort Monte Carlo-simuleringar på tillverkningskostnaden då de undersökt produktionen vid framställning av mjölksyra från vetemjöl. Syftet med en Monte Carlo-simulering i det fallet var att göra en känslighetsanalys över den framtagna kostnadsdatan.

### 2.1.2.1 Statistiska fördelningsfunktioner och dess parametrar

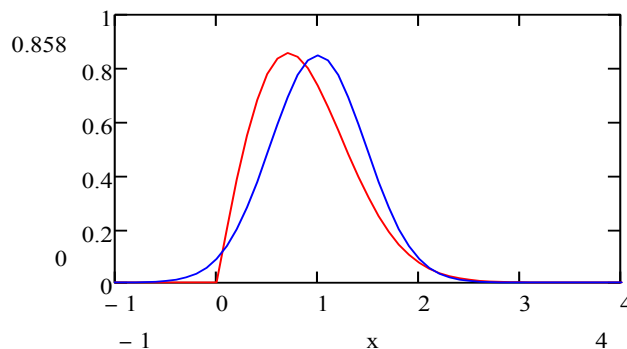
De vanligaste fördelningarna innehåller två konstanter  $\alpha$  och  $\beta$  för att bestämma formen, vilket påvisas i avsnittet om fördelningar. Weibull och normal-fördelning är två fördelningar som kan beskriva många statistiska samband och är praktiska för att beskriva parametrar i tillverkningskostnadsmodellen (Ståhl, Development of Manufacturing Systems- The link between technology and economics, 2013).

En parameter kan beskrivas statistiskt med hjälp av en mängd historisk data där fördelningens konstanter anpassas. Dock kan det ofta vara brist på bra data och kvalificerade antaganden kan då bli nödvändiga för att så nära som möjligt beskriva den önskade parametern.

För att lösa ut en parameters utseende med hänsyn till form och storlek så krävs minst två kända förhållanden. Två okända kräver matematiskt alltid minst två ekvationer och samband. För att ett bra resultat skall uppnås i praktiken så behöver ett visst antal frågor ställas så att den mest lämpade fördelningsfunktionen kan väljas därtill och Jan-Eric Ståhl har tagit fram en modell för hur dessa frågor kan se ut (Ståhl, Development of Manufacturing Systems- The link between technology and economics, 2013).

- Är frekvensfunktionen *symmetrisk* eller *asymmetrisk*, se figur 2.1.

- Vilket är värdet på det **mest förekommande utfallet** på den aktuella parametern, t.ex.  $t_0=10$  min?
- Vilket är det **minsta värdet** som erfarenhetsmässigt uppträder på den aktuella parametern, t.ex.  $t_0=8$  min?
- Vilket är det **största värdet** som erfarenhetsmässigt uppträder på den aktuella parametern, t.ex.  $t_0=14$  min?
- Vilket är **medelvärdet** på parameterns utfall?



**Figur 2.1** Täthetsfunktioner för symmetrisk (Normalfördelning, blå kurva) samt asymmetrisk (Weibullfördelning, röd kurva).

Att svara på mer än två av dessa frågor är inte riktigt och det kan vara så att några frågor är mer lämpade att svara på än andra beroende på situationen. Däremot kommer ekvationssystemet att bli överbestämt om det tas i beaktning vilket inte är bra. I vissa fall så kan frågorna dessutom sammanfalla som t.ex. då fördelningen är symmetrisk så kommer det mest förekommande utfallet och medelvärdet att vara detsamma.

### 2.1.2.2 Bestämning av konstanter

I det fallet det finns en större mängd data att grunda statistiken på så bestäms den valda fördelningen genom att anpassa den till experimentell data. Den empiriska fördelningen itereras då fram med konstanterna  $\alpha$  och  $\beta$  med förslagsvis minsta kvadratmetoden eller Most likelihood-metoden. Då minsta kvadratmetoden används så kommer ett relativt fel att uppstå eftersom alla punkter omöjligen kan ligga på linjen, d.v.s. modell och verklighet överensstämmer till 100 %. Felet kan uppskattas i procent för att på så sätt få förståelse för hur nära ”verkligheten” den framtagna kurvan är. Alla avvikelser mellan punkt och linjen summeras då ihop och ger felet.

I praktiken kan det vara svårt att alltid ha tillgång till kvantitativ data och i dessa fall måste antaganden göras för att uppskatta hur utfallet kan se ut. Intervju av personal kan t.ex. generera det mest förekommande värdet  $f_{\max}$  hos utfallet  $x$ . Har täthetsfunktionen  $f(x)$  ett maximum så kan detta användas för att lösa ut  $\alpha$  och  $\beta$  genom att sätta andraderivatan av tillhörande fördelningsfunktion  $F(x)$  till 0.

---

Största ( $x_{\max}$ ) respektive minsta ( $x_{\min}$ ) kända utfall kan även användas att ta fram konstanterna  $\alpha$  och  $\beta$ . Sannolikheten för att  $x_{\max}$  eller  $x_{\min}$  skall inträffa måste antas vara kända för att använda detta. Fördelningsfunktionen  $F(x)$  sätts då till antagen sannolikhet samtidigt som  $x_{\max}$  eller  $x_{\min}$  löses ut ur ekvationen.

Genom att använda sig av två av möjligheterna på framtagna värden av  $f_{\max}$ ,  $x_{\max}$  eller  $x_{\min}$  så kan  $\alpha$  och  $\beta$  lösas ur fördelningsfunktionen. I nästan alla fall ger  $f_{\max}$  och  $x_{\max}$  det bästa resultatet på fördelningsfunktionen då vissa fördelningsfunktioner även begränsas av 0 vilket ger ytterligare en punkt för förbättring.

### 2.1.2.3 Ansättning och val av parametrar – karakteristisk detalj

Kvaliteten på indata varierar mer eller mindre alltid. I vissa fall kan bra data vara tillgänglig och i andra fall inte. Ofta finns inte data tillgänglig, då detaljen i fråga aldrig heller har tillverkats. Tidigare erfarenheter kan då vara till stor hjälp för att ansätta en detaljs parametrar. Teori kring karaktäristisk detalj (Windmark, Andersson, & Ståhl, 2013) och dess principer är en metod som kan vara till stor hjälp. Denna metod bygger i korthet på att en ny detalj som t.ex. aldrig har tillverkats ska kunna jämföras till utseendet och produktionsprocessen med detaljer som har samma egenskaper. Dessa ”lika” detaljer kan då ligga till grund för att beräkna tillverkningskostnaden med relativt hög säkerhet för den otestade detaljen.

Den statistiska skattningen av de olika variablerna i kostnadsfunktionen kan baseras på olika mängd data, men när simulering ska göras så måste antalet data vara lika stor. För att lösa det så kan parametrarna bestämmas för varje tillhörande fördelningsfunktion och därefter slumpa fram en vektor med önskad längd som har formen av respektive fördelning.

## 2.2 Tillverkningskostnad

På ett eller annat sätt måste en tillverkningskostnad för produkterna eller detaljerna som ett företag producerar räknas ut. Hur detta görs kan skilja sig från företag till företag och troligen kan de olika metoderna lämpa sig bättre eller sämre beroende på verksamhet.

Det viktigaste är kanske inte vilken metod som används utan istället att företaget är konsekvent i sitt användande av metod. Detta för att göra det möjligt att utföra jämförelser mellan produkter och dess lönsamhet. När väl en tillverkningskostnad är uträknad kommer denna ligga till grund för beslutsfattande. Exempelvis offertarbete och kan även användas för att se vad eller vilken del av produktionen som skall förbättras för att nå en lägre tillverkningskostnad.

Nedan kommer kostnadsmodellen som används i detta arbete att presenteras. Den bygger på Professor Jan-Eric Ståhls arbete inom området tillverkningsystem vid avdelningen för Industriell Produktion på Lunds Tekniska Högskola (Ståhl,



---

Industriella Tillverkningsystem del II - Länken mellan teknik och ekonomi, 2011).

## 2.2.1 Kostnadsmodellen

$$\begin{aligned}
 k = & \frac{k_B}{N_0} \left[ \frac{N_0}{(1 - q_Q)(1 - q_B)} \right]_b + \frac{k_{CP}}{60N_0} \left[ \frac{t_0 N_0}{(1 - q_Q)(1 - q_P)} \right]_{c1} \\
 & + \frac{k_{CS}}{60N_0} \left[ \frac{t_0 N_0}{(1 - q_Q)(1 - q_P)} \frac{q_S}{(1 - q_S)} + T_{su} \right]_{c2} \\
 & + \frac{k_D}{60N_0} \left[ \frac{t_0 N_0}{(1 - q_Q)(1 - q_S)(1 - q_P)} + T_{su} \right]_d
 \end{aligned}
 \tag{Ekvation 2.1}$$

Som synes är kostnadsmodellen uppdelad i fyra kostnadstermer, vilka utförligt beskrivs nedan.

### 2.2.1.1 Kostnadsterm b

**Kostnadsterm b** redogör för materialkostnaden per detalj.  $k_b$  står för kr per detalj och innefattar den initiala kostnaden, exempelvis kostnaden av ett gjutämne som sedan vidareförädlas och svarvas. Hänsyn tas till de kasserade detaljerna och den nominella seriestorleken  $N_0$  divideras med kassationsandelen  $q_Q$ . En materialspillfaktorn  $q_B$  finns även med i modellen och kan vara intressant att studera då mycket spill uppkommer i tillverkningen. Det ses lätt att då  $q_B$  samt  $q_Q$  blir stort ökar den totala kostnaden  $k$ .

### 2.2.1.2 Kostnadsterm c1

**Kostnadsterm c1** representerar utrustningskostnaden per detalj då maskinerna är i bruk.  $k_{CP}$  står för utrustningskostnaden under drift per timma, vilket även inkluderar verktygskostnader och andra omkostnader i produktionen. Produkten  $t_0 N_0$  är den nominella produktionstiden för en batch och hänsyn tas även här till kassationsandelen  $q_Q$ . För att kompensera för eventuella taktförluster i produktionen divideras även  $t_0 N_0$  med taktförlusten  $q_P$ .

### 2.2.1.3 Kostnadsterm c2

**Kostnadsterm c2** beskriver utrustningskostnaden vid stillestånd och omställning av maskin ( $T_{su}$ ).  $k_{CS}$  uttrycks i kr per timma och till skillnad från kostnadsterm c1 ingår inte kostnader för skärvätskor, el vid drift och verktygskostnader i denna term men självklart övriga omkostnader.

---

#### 2.2.1.4 Kostnadsterm d

**Kostnadsterm d** står för lönekostnaden inklusive omkostnader för personal.  $k_D$  anges i kronor per timma och inbegriper all tid, så som stillestånd, förädlingstid samt ställtid.

#### 2.2.1.5 Kostnadsmodellen vid reducerad beläggning

Reducerad beläggning eller överkapacitet av ett tillverkningssystem kan ses både som något negativt och positivt. En överkapacitet i produktionen kan bidra till en effektivare användning av personalens tid och kan enligt Ståhl (Ståhl, Industriella Tillverkningssystem del II - Länken mellan teknik och ekonomi, 2011) leda till minskade köer och väntetider. Något som i förlängningen bidrar till en reducerad ledtid för batchen. I ett längre perspektiv måste dock de producerade detaljerna bära kostnaden för överkapaciteten.

Beräkning för den reducerade beläggning kan göras enligt nedan där  $T_{Plan}$  är all planerad betald tid och  $T_{SFK}$  är stilleståndstiden med fri kapacitet.

$$U_{RB} = \frac{T_{Plan} - T_{SFK}}{T_{Plan}} = 1 - \frac{T_{SFK}}{T_{Plan}} \quad \text{Ekvation 2.2}$$

$$T_{SFKb} = \frac{1 - U_{RB}}{U_{RB}} T_{pb} \quad \text{Ekvation 2.3}$$

Genom att se den reducerade beläggningen som en ställtid eller ett stillestånd kan ekvation 2.3 läggas till på kostnadstermerna c2 respektive d i ekvation 2.1, vilket ger följande kostnadsmodell.

$$\begin{aligned} k = & \frac{k_B}{N_0} \left[ \frac{N_0}{(1 - q_Q)(1 - q_B)} \right]_b + \frac{k_{CP}}{60N_0} \left[ \frac{t_0 N_0}{(1 - q_Q)(1 - q_P)} \right]_{c1} \\ & + \frac{k_{CS}}{60N_0} \left[ \frac{t_0 N_0}{(1 - q_Q)(1 - q_P)} \frac{q_S}{(1 - q_S)} + T_{su} + \frac{1 - U_{RB}}{U_{RB}} T_{pb} \right]_{c2} \\ & + \frac{k_D}{60N_0} \left[ \frac{t_0 N_0}{(1 - q_Q)(1 - q_S)(1 - q_P)} + T_{su} + \frac{1 - U_{RB}}{U_{RB}} T_{pb} \right]_d \end{aligned} \quad \text{Ekvation 2.4}$$

---

## 2.2.2 Kostnadsmodellen vid flera förädlingssteg

Vid tillverkning passerar ofta detaljerna flera förädlingssteg. Kostnadsmodellen inbegriper endast ett förädlingssteg och därmed måste modellen beräknas för varje steg. Tillvägagångssättet för att räkna ut den totala tillverkningskostnaden  $k_{tot}$  för en detalj med två förädlingssteg skulle då bli uppdelad i två steg enligt nedan.

### 2.2.2.1 Steg1.

$$\begin{aligned}
 \mathbf{k}_1 = & \frac{k_B}{N_{01}} \left[ \frac{N_{01}}{(1-q_{Q1})(1-q_{B1})} \right]_b + \frac{k_{CP1}}{60N_{01}} \left[ \frac{t_{01}N_{01}}{(1-q_{Q1})(1-q_{P1})} \right]_{c1} \\
 & + \frac{k_{CS1}}{60N_{01}} \left[ \frac{t_{01}N_{01}}{(1-q_{Q1})(1-q_{P1})} \frac{q_{S1}}{(1-q_{S1})} + T_{su1} \right]_{c2} \\
 & + \frac{k_{D1}}{60N_{01}} \left[ \frac{t_{01}N_{01}}{(1-q_{Q1})(1-q_{S1})(1-q_{P1})} + T_{su1} \right]_d
 \end{aligned} \tag{Ekvation 2.5}$$

Noterbart för de båda stegen är att de ingående parametrarna inte nödvändigtvis har samma värde. Till exempel kan taktförlusten skilja sig mellan steg1 och steg2 liksom även batchstorleken och det är alltså därför som indexen skiljer sig i de båda modellerna.

### 2.2.2.2 Steg2.

$\mathbf{k}_1$  från ekvation 2.5 tas med in i beräkningen för nästa steg. Med detta förfaringssätt tas det hänsyn till att detaljen förädlats och därmed blir exempelvis en kassarad detalj en högre kostnad i steg 2 än i steg 1. Den totala kostnaden  $k_{tot}$  för detaljen kan sedan räknas ut på följande sätt.

$$\begin{aligned}
 k_{tot} = & \frac{\mathbf{k}_1}{N_{02}} \left[ \frac{N_{02}}{(1-q_{Q2})(1-q_{B2})} \right]_b + \frac{k_{CP2}}{60N_{02}} \left[ \frac{t_{02}N_{02}}{(1-q_{Q2})(1-q_{P2})} \right]_{c1} \\
 & + \frac{k_{CS2}}{60N_{02}} \left[ \frac{t_{02}N_{02}}{(1-q_{Q2})(1-q_{P2})} \frac{q_{S2}}{(1-q_{S2})} + T_{su2} \right]_{c2} \\
 & + \frac{k_{D2}}{60N_{02}} \left[ \frac{t_{02}N_{02}}{(1-q_{Q2})(1-q_{S2})(1-q_{P2})} + T_{su2} \right]_d
 \end{aligned} \tag{Ekvation 2.6}$$

Om modellen för reducerad beläggning istället används görs samma typ av steg och räkningarna kommer inte skilja sig mer än att ekvation 2.3 läggs till på termerna c2 och d. Det är dock bra att ha i åtanke att likt i ovanstående exempel införa index på den tillagda ekvationen, detta för att även den reducerade beläggningen kan skilja mellan maskinerna.

---

### 2.2.3 Dynamiska kostnader

Vid i stort sett all produktion förekommer variationer. Det kan vara skillnad i ställtid från gång till annan liksom att kassationsandelen ökar på grund av slitna verktyg, undermåligt råmaterial eller bristande utbildning hos maskinoperatörer vilket bidrar till en försämrad kvalitet på den tillverkade detaljen.

Ståhl med flera (Ståhl, Gabrielson, Andersson, & Jönsson, 2013) redogör för just denna typ av problematik med avseende på stillestånd och påpekar att  $q_S$ ,  $q_Q$ ,  $q_P$  samt  $T_{SU}$  är parametrar som normalt sett bygger på medelvärden från specifika perioder. Detta leder i sin tur till en medeldetaljkostnad. Något som bidrar till en övergripande förståelse om tillverkningen för en detalj men det säger absolut inget om den grad av variation som finns i produktionen.

Idag finns ingen utarbetad metod för att komma till rätta med dessa variationer i produktionen. Detta leder till att företag kan komma att göra förluster på vissa lämnade offerter. Likväl kan det faktiskt vara så att detaljen går fortare att producera, utan ökade kassationer vilket i så fall bidrar till en större vinst än beräknat. För att förebygga förluster relaterade till felkalkylerade kostnader beroende på variationer i produktionen är det viktigt att konsekvent göra efterkalkyler. Efterkalkyler gör företag mer medvetna om rådande kostnadssituation och de håller sig samtidigt mer uppdaterade om prestandan på sin maskinpark. Sämre cykeltider kan till exempel bero på att maskinen inte kan köras på fullfart och därmed genereras en taktförlust vilket ger högre tillverkningskostnader.

### 2.2.4 Karaktäristisk Detalj/Familj

En karaktäristisk detalj är en fiktiv detalj som kan representera ett urval av liknande detaljer då de har likartade produktionsprocesser. Denna fiktiva detalj kan då innehålla värden för efterfrågan, ställtid, cykeltid och genomsnittlig batchstorlek etc. som beskriver alla detaljer. Dessa detaljer kan då bilda en gemensam familj med stora fördelar hanteringsmässigt. Christina Windmark (Windmark, Andersson, & Ståhl, 2013) drar slutsatsen i sin avhandling att avvikelsen mellan en slumpvis utvald detalj från en familj och den karaktäristiska detaljen från familjen är väldigt låg i de fall där likheterna är stora. Inom industrin är det vanligt att göra beräkningar och uppskattningar i samband med produktionsdesign och planering på en eller några få befintliga produkter som får representera hela sortimentet. Med användning av den karaktäristiska detaljen är det möjligt att ta alla produkter i beaktande på ett effektivare vis. En karaktäristisk detalj kan även användas för att utföra beräkningar på outvecklade produkter som kan hänföras till en specifik familj. På så sätt kan en noggrannare förkalkyl göras med högre träffsäkerhet för eventuell vinst.

---

## 2.3 Statistiska fördelningar

Statistik är ett omfattande ämne och är grundstommen till detta examensarbete. En central del av arbetet handlar om hur olika kostnadsparametrar är statistiskt fördelade och därför skall det i detta kapitel gås igenom normalfördelningar samt Weibullfördelningar. Att just normalfördelningen används beror till stor del på dess enkelhet, både med avseende på dess utseende samt vid beräkning. Weibullfördelningen används främst på grund av dess styrka att kunna anpassas och likna flera andra fördelningar. Vidare kommer två metoder för anpassning av data till fördelningar att presenteras, minsta kvadrat-metoden samt maximum Likelihood-metoden. Teorin kring ovan nämnda delar har till största del erhållits från läroboken *Sannolikhetsteori och statistikteori med tillämpningar*. (Blom, Enger, Englund, Grandell, & Holst, 2005)

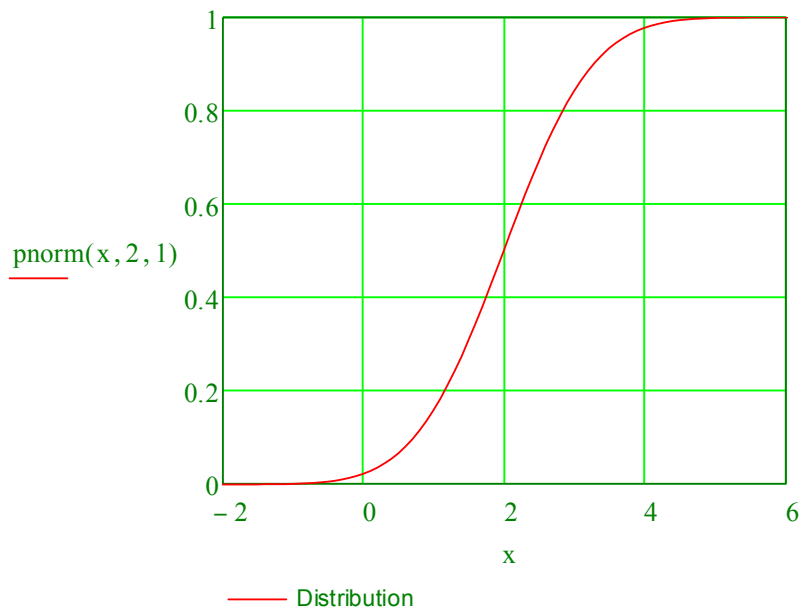
### 2.3.1 Normalfördelning

Normalfördelningen som även ibland kan kallas för Gauss-fördelning en av de allra viktigaste inom statistiken. Dess struktur och form (figur 2.1 och figur 2.2) gör att den är användbar inom många statistiska sammanhang. Faktum är att stora delar av statistiken bygger på just normalfördelningen. Det är t.o.m. ett empiriskt faktum att många storheter är approximativt normalfördelade. Detta beror på Centrala gränsvärdesatsen som innebär att summan av många ungefär oberoende och ungefär likafördelade stokastiska variabler är approximativt normalfördelade. Förutom detta så är normalfördelningen dessutom relativt matematiskt enkel, vilket gör att den blir lättare att hantera.

Om den stokastiska variabeln  $X$  har täthetsfunktionen enligt ekvation 2.7, där  $\mu$  och  $\sigma$  är givna tal ( $\sigma > 0$ ), sägs  $X$  vara normalfördelad

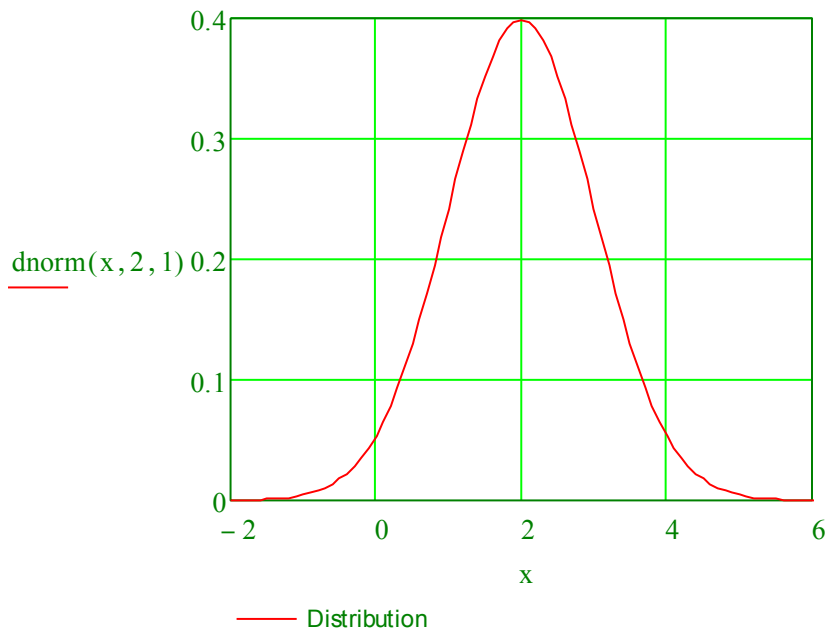
$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad \begin{array}{l} -\infty < x \\ < \infty \end{array} \quad \text{Ekvation 2.7}$$

Fördelningsfunktionen, alltså den primitiva funktionen till täthetsfunktionen ser ut enligt figur 2.1. Ur fördelningsfunktionen kan det grafiskt och matematiskt enkelt och lätt utläsas med vilken sannolikhet något kommer att inträffa. T.ex. sannolikheten att variabeln  $x$  kommer att vara mellan 2 och 4 är nästan 50 % (exakt 47.725 %).



**Figur 2.2** Fördelningsfunktion med  $\mu=2$ ,  $\sigma=1$ .

Täthetsfunktionens form enligt figur 2.2 talar mer om hur spridningen och tätheten ser ut precis som det låter. Som bilden visar så är kurvan symmetrisk vilket innebär att kurvan är en spegelbild av sig själv på de båda sidorna om medelvärdet  $\mu$ .



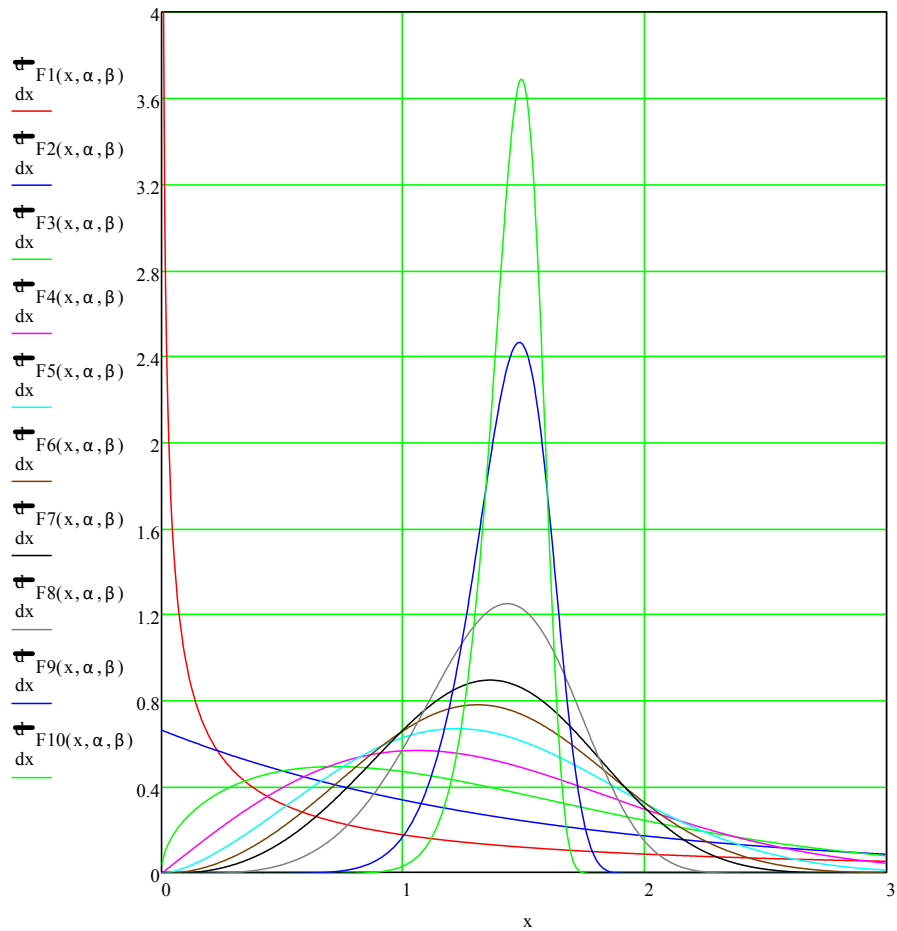
**Figur 2.3** Täthetsfunktion med  $\mu=2$ ,  $\sigma=1$ .

### 2.3.2 Weibullfördelning

Fördelningen har kommit att kallas för Weibull efter den svenske fysikern och hållfasthetsspecialisten Waloddi Weibull. Användbarheten inom tillförlitlighetsteknik vid analys av livslängder och utmattningsgränser har visat sig vara stor. Genom att ge  $\alpha$  olika värden så kan en mängd olika former fås fram (se figur 2.3 och figur 2.4).  $\beta$ -parametern har enbart beroende på skalan och kan därmed inte heller påverka formen eller skevheten på kurvan.

Om den stokastiska variabeln  $X$  har täthetsfunktionen enligt ekvation 2.8, där  $\alpha$  och  $\beta$  är positiva tal, sägs  $X$  vara Weibull-fördelad.

$$f_X(x) = \begin{cases} \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-(x/\beta)^\alpha} & \text{om } x > 0 \\ 0 & \text{om } x \leq 0 \end{cases} \quad \text{Ekvation 2.8}$$



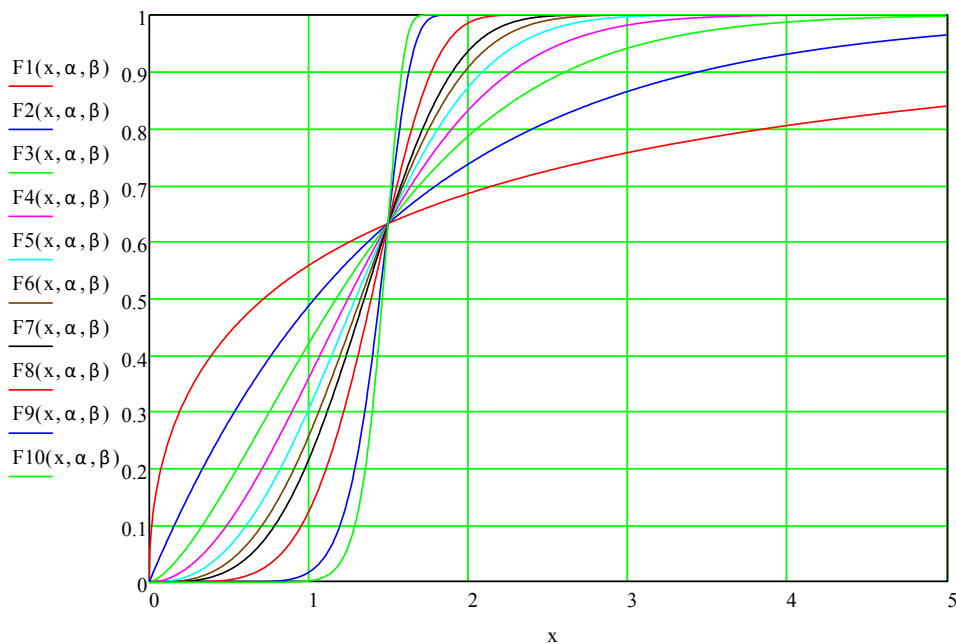
**Figur 2.4** Täthetsfunktion med parametrar enligt tabell nedan.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
$\alpha$	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	5	10	15
$\beta$	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

**Tabellbeskrivning:** Fördelningsfunktionen är som synes mycket enklare till utseendet (figur 2.4) och matematiskt (ekvation 2.9) att använda. Därför kan det vara praktiskt i många fall att använda fördelningsfunktionen för att göra de statistiska beräkningarna.

$$F_X(x) = \begin{cases} 1 - e^{-(x/\beta)^\alpha} & \text{om } x \geq 0 \\ 0 & \text{om } x < 0 \end{cases} \quad \text{Ekvation 2.9}$$





**Figur 2.5** Fördelningsfunktion med samma parametrar som figur 2.3

Den stora skillnaden mellan normalfördelningen och weibull-fördelningen är att weibull-fördelningen kan likna många andra fördelningar vilket är dess stora styrka (se figur 2.3). I fallet då  $\alpha=1$  fås specialfallet exponentialfördelning och för  $\alpha=2$  Rayleigh-fördelningen. Då  $3 < \alpha < 3.5$  så blir fördelningen approximativt symmetrisk och påminner därför om normalfördelningen.

### 2.3.3 ML-metoden

För att anpassa data till en fördelning finns olika metoder att använda sig av. Enligt Blom med flera (Blom, Enger, Englund, Grandell, & Holst, 2005) är den viktigaste av dessa Maximum-likelihood-metoden, förkortat ML-metoden. Idén kan spåras redan under början av 1800-talet hos den franska matematikern Adrien-Marie Legendre, men den som mer systematiskt både undersökte och namngav metoden var Ronald Fisher (1890-1962).

Idén bakom ML-metoden är att skattningen skall vara det värde som gör mätdata-underlaget så troligt som möjligt, mer konkret beskrivet låter man funktionen anta alla värden i utfallsrummet och väljer därefter parametervärden som ger mätdata högst sannolikhet. Detta innebär implicit att det skattade värdet kommer bero av mätdataunderlaget.

I datorprogram så som Matlab används ML-metoden för exempelvis funktionsanpassning och anpassning till data. En vidare beskrivning för metoden än den ovan

---

kommer inte ges i detta arbete då teorin är alltför komplicerad (Blom, Enger , Englund, Grandell, & Holst, 2005).

### 2.3.4 MK-metoden

I början av 1800-talet infördes Minsta-Kvadrat-metoden av Gauss i samband med kartering av Tyskland. Metoden bygger på att minimera avståndet mellan en kurva och punkt. Rent matematiskt kan det beskrivas enligt nedan.

Ett antal mätdata eller observationer finns att tillgå

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$$

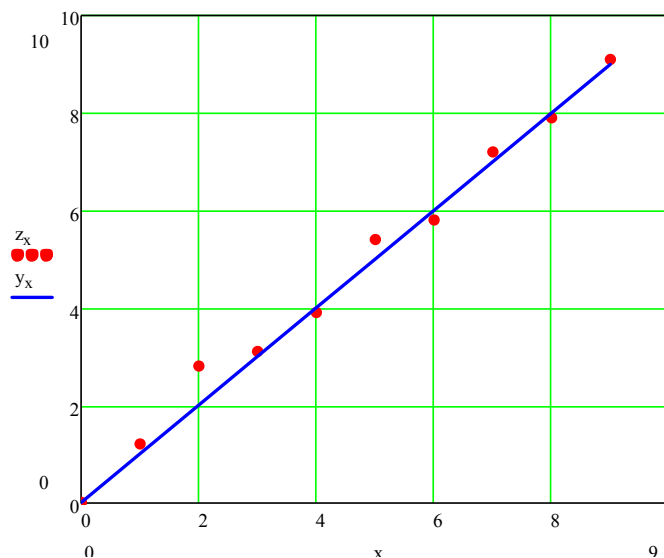
Kurvan som söks kommer från funktionen

$$y = f(x, b)$$

Kurvan som söks skall minimera b enligt nedan

$$\sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i, b)]^2$$

En illustration av resultatet efter användning av MK-metoden ser ut enligt figur 2.6. Den blå linjen är anpassad till mätdataunderlaget, de röda prickarna.



**Figur 2.6** Illustration över minsta kvadratmetoden, den blå linjen är anpassad till mätdataunderlaget.

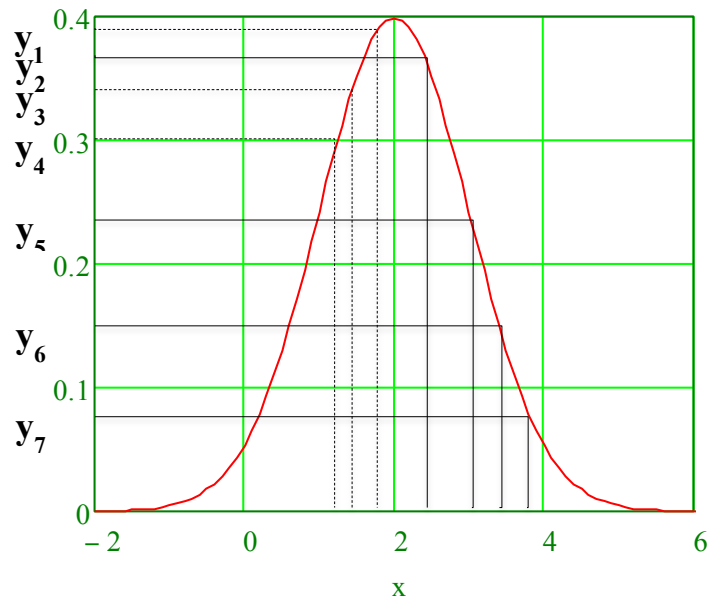
---

### 2.3.5 Verifiering av fördelningsfunktioner

För att kunna välja vilken fördelning som passar bäst till indata så måste någon form av poängsättning göras. I detta arbete så används ett program skrivet i Matlab vilket använder sig av en poängsättning som kallas för NLogL. NLogL är en förkortning för Negativt Logaritmisk likelihood vilket också skulle kunna kallas för omvänt logaritmisk då den jobbar omvänt i förhållande till LogL (logaritmisk likelihood). LogL respektive NLogL ger alltså samma resultat bara det att en hög poäng är bäst för LogL och låg poäng bäst för NLogL. Proceduren eller lösningen blir då som följer:

- ML-metoden återger de bästa parametrarna för respektive fördelningsfunktion.
- Alla y-värden i täthetsfunktionen multipliceras med varandra för de x-värden som motsvarar indata.
- Produkten för de olika fördelningarna symboliserar då den poängsättning som ger den bäst lämpade fördelningen.
- Vid användande av NLogL väljs den fördelning med lägst poäng.

I figur 2.6 ges ett exempel på en normalfördelad täthetsfunktion där y-värdena har markerats för sju stycken motsvarande indatavärden på x-axeln. Produkten av dessa ger alltså poängen enligt LogL-metoden där ett högt värde är önskat för en passande funktion.



*Figur 2.7 Grafisk illustration över hur LogL-metoden fungerar.*

---

---

## 3 Företagsanalys

I detta avsnitt återges en nulägesbeskrivning och analys för hur DPMs produktion ser ut. Första delen ger en kort inblick i hur DPMs verksamhet ser ut operationellt sett. En närmre beskrivning görs kring hur produktionsflödet och de tillverkade detaljers processer kan se ut. I samma avsnitt återges även fördelar och nackdelar med cellvis produktion, respektive ”stand alone” vilket DPM använder. Slutligen beskrivs och analyseras även DPMs informationssystem kort och hur de använder dessa verktyg för att styra och mäta sin produktion.

### 3.1 Verksamhetsbeskrivning

I denna del om verksamhetsbeskrivningen kommer den operationella delen av produktion att behandlas och beskrivas. Detta för att oinvidiga personer skall kunna få en inblick i hur det dagliga arbetet fortgår på DPM. Som nämnts så kommer det bara avse den operationella produktionsdelen, med andra ord kommer inte avdelningar för kvalitét och liknande att behandlas i detta avsnitt.

Produktionen är uppdelad i fem grupper, Grupp 1-5. Grupp 1 och Grupp 2 ansvarar för de initiala processtegen. Därefter följer härdning av detaljerna i mer eller mindre samtliga fall, i vissa enstaka fall sker inte härdning.

Efter härdning kommer produkterna till Grupp 3. Sista steget för produkterna är Grupp 4 där detaljerna fullbordas.

DPM innefattas som tidigare nämnts även av Grupp 5. Denna grupp är av ett speciellt slag och är enligt deras egna utsagor relativt ovanlig. Här görs de nya prototyperna som med tiden förhoppningsvis skall tas i produktion. Om verktyg av någon anledning inte finns att köpa i standardiserat format så tillverkas och utformas även de i denna grupp. En mer djupgående analys av denna grupp kommer inte ske i detta arbete då det inte inryms inom ramen för vad som skall undersökas.

På DPM finns två ansvariga produktionsledare som löpande har kontakt med den operativa personalen i de olika grupperna. Detta sker i synnerhet varje morgon då ett möte hålls. Under mötet görs en analys av föregående dag samt en nulägesanalys. Vid genomgångarna används TAK-tal som utgångspunkt för att visa på vilka resultat de olika grupperna presterat. Dessa TAK-tal ger svar på *Takt*, *Anläggningsutnyttjande* och *Kvalitétsutbyte* (Ståhl, Industriella Tillverkningssystem del II - Länken mellan teknik och ekonomi, 2011) och hämtas ifrån DPM informationssystem Axxos som kommer beskrivas mer ingående längre fram rapporten.

Även om TAK-talen ger svar på mycket så är det inte heltäckande (Gazdziak, 2010) och information om exempelvis framtida omställningar av maskiner måste informeras och diskuteras igenom.

---

### 3.1.1 Produktionscell eller ”stand-alone”?

Cellvis produktion går ut på att placera maskiner i grupper om två eller fler. Då det är placerade i cell kan detaljerna röra sig automatiskt mellan maskinerna i cellen och lager mellan dessa undviks.

DPM har anammat fördelarna med produktionsceller vilket innebär (Das, 2008):

- Reducerad total ställtid
- Förbättrade cykeltider
- Minskade lagerkostnader
- Kvalitetsförbättringar

Samtidigt så för produktionsceller vissa begränsningar eller nackdelar med sig så som:

- Minskad flexibilitet
- Minskat maskinutnyttjande
- Ökad konsekvens vid haveri

DPM har dock valt att även använda sig av ”stand-alone” maskiner, där de anser att fördelar i framförallt flexibilitet är stora.

Då cellvis produktion används så räknas det inte längre per maskin. Istället räknas hela cellen som en maskin vilken får bära den totala kostnaden för de inkluderade maskinerna. Förbättringsarbetet läggs därmed på cellerna i sin helhet och den personal som ansvarar för cellen att maximera TAK-talet och minska kostnaderna.

## 3.2 Informationssystem

### Informationssystem

Under senare år har informationssystem fått ett allt större inflytande hos företag verksamma inom alla områden. Industrin har kommit att bli mer komplex i takt med internets utveckling och högre krav då företag verkar över större områden internationellt och nationellt, samt krav på lägre pris. Att då kunna styra de interna nyckeltalen i sin verksamhet har fått en enorm betydelse för industrin (Williamson, Harrison, & Jordan, 2004).

Lika viktigt som det är att använda sig av informationssystem, lika viktigt är det att använda det korrekt utan några som helst omständigheter. När ett företag väl har adopterat ett system så blir de dessutom snabbt beroende av det och då gäller det att kunna lita på de framtagna nyckeltalen och att dessa baseras på korrekta indata. Arbeten och rapporter som denna måste ta förgivet att indata går att lita på. Avviker eller felar indata så kommer det inte att visa sig, vilket i sin tur ger upphov till en begränsning i studien.

---

DPM använder sig i dagsläget av två olika informationssystem, ett ”styrande” och ett ”mätande”. Dessa två system jobbar bredvid varandra men inte integrerat. Det styrande systemet är ett material och produktionsstyrningssystem (MPS). Där planeras orders som skall produceras, produktionsdata matas in för respektive batch och detta blir sedermera styrande när produktionen väl sätts igång. Systemet används inte för att ta fram nyckeltal eller siffror för att mäta hur väl produktionen fungerar. För att ”mäta” används affärssystemet Axxos. Detta har till uppgift att ta fram kalkyler på hur bra produktionen är. Systemet mäter tider, andelar, stycken osv. för att ta fram önskade kalkyler. Dessa används då som underlag till de förbättringsarbeten som kan genomföras så att bl.a. tillgängligheten, anläggningsutbytet och kvalitén (TAK) kan förbättras.

För att ta fram statistisk data på produktionen som i detta arbete så är Axxos till ovärderlig hjälp. Data har i DPM fall mätts och sparats sedan 2008 vilket ligger till grund för de statistiska resultaten. I systemet kan till exempel. genomsnittsdata för alla producerade batcher mellan 2008 och 2012 tas fram och göra statistisk analys på.

---



---

## 4 Analys

I denna del kommer analysen och den använda metoden i arbetet att presenteras. I första delen om indata tas det upp varifrån data kommer och hur den har behandlats för att bli tillämpbar för Monte Carlo-simulering. Därefter kommer ett avsnitt om vilka antaganden som har gjorts, varför och hur de har förbättrat arbetet. Delen om fördelningsanpassning handlar om hur indata har behandlats och anpassats till fördelningar med tillhörande parametrar och program som har använts för att utföra detta. Simuleringsdelen tar upp hur metoden för att göra Monte Carlo-simulering går till i detta arbete. Därefter kommer en större resultatdel med först alla artiklar som undersökts. Tillverkningskostnaderna visas i grafer och tabeller med tillhörande analys för respektive detalj. Därefter analyseras resultat och teori om familjer och karaktäristisk detalj. Beroenden i produktionen analyseras därefter och exempel ges på hur beroendet kan påverka den slutliga kostnaden. Till slut analyseras de verktyg för efterkalkylering som passar DPM, och hur de kan dra nytta av de resultat som presenteras i detta arbete.

### 4.1 Indata

Som tidigare nämnts använder sig DPM sig utav informationssystem, Axxos samt ett material- och produktionsstyrningssystem (MPS). Data som används i denna rapport har främst tagits från Axxos men även till viss del från MPS-systemet. Dataunderlaget som hämtats från de olika informationssystemen är följande.

#### Indata Axxos

- Cykeltid ( $t_0/q_P$ )
- Stopptid ( $q_S$ )
- Ställtider (Tsu)
- Batchstorlekar ( $N_0$ )

#### Indata MPS

- Kassationer ( $q_Q$ )
- Härdkostnad ( $k_{Härd}$ )
- Materialkostnad ( $k_B$ )

I Axxos ges inte direkt de parametrar som söks, därmed krävs en del beräkningar som visas nedan.

$$q_P = 1 - \frac{t_0}{t_v} \quad \text{Ekvation 4.1}$$

Taktförlusten  $q_P$  räknas ut enligt ekvation 4.1.  $t_0$  har definierats som den bästa cykeltiden som kan erhållas från dataunderlaget under åren 2008-2012. Sämre cykeltider än  $t_0$  kommer i och med det bidra till en taktförlust  $q_P$ .

$$q_S = \frac{\text{Stopptid}}{\text{Total planerad produktionstid}} \quad \text{Ekvation 4.2}$$

Stilleståndsandelen  $q_S$  är okomplicerad att räkna ut, stopptid samt total planerad produktionstid ges direkt i rapporten från Axxos.

---

Ställtiden  $T_{su}$  samt batchstorleken  $N_{\theta}$  hämtas direkt från Axxos-rapporten från respektive batch.

Kassationsandel  $q_Q$  har trots bra informationssystem varit svår att få fram. Till viss del finns den registrerad i MPS-systemet och till viss del i Axxos vilket just är problemet. DPM har inte varit konsekventa i sitt val av vilket system som skall användas då kassationer registreras. Därmed har en överläggning gjorts med produktionsledaren på DPM. Kassationer för alla förädlingssteg ( $q_{total}$ ) för den sökta detaljen har beräknats. Därefter har följande beräkningar gjorts i syfte att få ett genomsnittligt värde på kassationsandelen per förädlingssteg.

$$q_{Qmedel} = 1 - (1 - q_{total})^{\frac{1}{n}} \quad \text{Ekvation 4.3}$$

Den genomsnittliga kassationsandelen per förädlingssteg ses i ekvation 4.3. För att konkretisera det hela, säg att den totala kassationsandelen för en detalj som passerar tre förädlingssteg/maskiner är 5 %. Den genomsnittliga kassationsandelen per förädlingssteg/maskin blir då ca 1.69 %. Detta stämmer inte helt med verkligheten men torde ändå vara representativt nog för att utgöra som grund i kostnadsmodellen.

Materialkostnaden,  $k_B$ , för de olika smidesgodsen är fast och har tagits fram ifrån MPS-systemet. Liksom materialkostnaden så är härdkostnaden,  $k_{Härd}$  fast och återfinns i MPS-systemet.

Syftet med att hämta dessa data är att den skall ingå i kostnadsmodellen och ligga till grund för de simuleringar som görs med avseende på Monte Carlo-simulering av tillverkningskostnaden. Inom statistik är det vedertaget att data aldrig skall förändras och därmed skall det tillhandahållna dataunderlaget utgöra grund för den statistiska analysen utan att ha idealiserats. Dock skall det tilläggas att författarna av detta arbete i samråd med produktionsledarna, valt att bortse från material som direkt anses missvisande. Denna missvisade dataunderlaget kan enligt produktionsledarna hänvisas till bristande kunskap om hur rapporteringen skall ske i Axxos och har i stort sett bara uppkommit på de batcher som gjordes i början av år 2008, då systemet började användas.

Utöver den ovan presenterade dataunderlaget så krävs det ytterligare information om produktionen för att kunna fullborda kostnadsmodellen, ekvation 2.1. Följande söks

- $k_{CP}$  (*maskintimkostnaden under produktion*)
- $k_{CS}$  (*maskintimkostnaden under stillestånd*)
- $k_D$  (*Lönekostnad för operatör*)

---

$k_{CP}$  eller maskintimkostnaden under produktion har tillhandahållits av fabrikschefen. Detta dataunderlag använder sig DPM utav i sina förkalkyler och finns lättillgänglig.  $k_{CS}$  är däremot inget som de använder sig av idag och därmed fick beräkningar göras, vilka visas nedan.

$$k_{CS} = k_{cp} - \frac{\text{direkta kostnader}}{\text{antalet beläggningstimmer per år}} \quad \text{Ekvation 4.4}$$

$k_{CS}$  räknas ut enligt ekvation 4.4. Direkta kostnader kan exempelvis vara verktygskostnad, skärvätska, med andra ord kostnader som uppkommer endast då maskinen körs. Antalet beläggningstimmar är det totala antalet timmar maskinen beräknas vara i drift per år.

Även  $k_D$  använder sig DPM av vid förkalkyleringen och därmed var dessa givna. I stort har det inte varit något problem att få tag på data, DPM är ett föredömligt företag på många plan och detta är ett av dem. Analyser kan givetvis göras med avseende på huruvida värden stämmer överens med verkligheten eller ej. Fabrikschefen har dock en stor erfarenhet från produktionen och då det är han som gjort grunden för de kalkyler som dataunderlaget hämtats ifrån så torde denna väl stämma överens med det verkliga utfallet i produktionen.

## 4.2 Antaganden

Liksom många andra undersökningar har det under arbetets gång gjorts en del antaganden för att förenkla arbetet utan att försämra resultat. I vissa fall kan det dessutom göra rapporten än mer relevant utifrån frågeställning, mål och intressenternas förväntningar. I denna del tas dessa antaganden upp, varför de har gjorts och hur det förbättrar eller förenklar arbetet.

Då området för rapporten mer eller mindre är ny för vetenskapen, finns det anledning att inte göra arbetet för komplext. Det kan liknas vid talesättet ”Ska man lära sig att åka skidor så börjar man inte i den svarta backen”. Det absolut viktigaste är att komma ner för backen för skidåkaren, eller få fram ett resultat som är korrekt och förståeligt i rapporten. Därför har det valts att fokusera på enklare detaljer i DPMs produktion. Med enklare menas detaljer med färre arbetsmoment, enklare geometri och detaljer som tillverkas relativt ofta med säker indata. Detta leder ofta till en detalj med en mindre komplex design. Det har även antagits att artiklar som liknar varandra kommer kunna bidra till att analysen kring familjer och karaktäristiska detaljer blir mer korrekt.

Kassationsandelar för olika detaljer i produktionen har inte kunnat fastställas med önskad noggrannhet i arbetet. Detta av den anledningen att kassationer inte har kunnat hänföras till varje order som de andra parametrarna. P.g.a. detta så har istället genomsnittliga kassationer tagits fram med hjälp av produktionsledares kunskap och MPS-systemet. Dessa genomsnittliga värden har därefter antagits ha normalfördelade egenskaper med mycket låg spridning för att slumpa fram värden

---

så rimliga som möjligt i simuleringen. Inget kan heller sägas om hur spridningen för dessa genomsnittliga värden ser ut.

Hela arbetet och alla kostnadsberäkningar utgår från att det är full beläggning i produktionen. Det tas alltså ingen hänsyn till lågkonjunktur eller dylikt som orsakar lägre beläggning. Detta hade krävt en mycket omfattande analys för att utföra och därför får läsaren istället ha detta i åtanke när resultaten studeras.

Genom hela arbetet antas det enbart att utfallet hos indata följer normalfördelning eller Weibullfördelning. Anledningen är främst att beräkningarna i Mathcad inte ska bli för komplexa. Tidsåtgången för att ta hänsyn till alla fördelningar hade blivit stor. Handledare har godkänt detta antagande och menar att det mest troliga utfallet kommer följa dessa fördelningar eller ligga i närheten.

### 4.3 Fördelningsanpassning

Avsnittet om fördelningsanpassning är uppdelat i två delar. Artiklar respektive Familjer. I den första delen, Artiklar, redogörs hur fördelningarna bestäms för respektive artikels indata. Avsnittet om familjer är uppbyggt på liknande vis, de små skillnaderna och förändringarna i tillvägagångsättet beskrivs i denna del.

#### 4.3.1 Artiklar

För att kunna göra en fördelningsanpassning så behövs data. Som nämnts tidigare så har DPM sitt informationssystem Axxos, där mestadelen av dataunderlaget hämtats. Från år 2008 har systemet i stort sett varit inkopplat och inkört på de flesta maskinerna och data har tagits från varje enskild batch som körts under åren 2008 till och med hösten 2012. Indataunderlaget som finns beskriven i tidigare kapitel har sedan samlats i vektorer. Ett exempel på en vektor med data kan ses nedan. Vektorn består av ställtider från cell2 för artikel B.

Art.nr B
Tsu (ställtid)
1119.6
430.8
475.2
812.4
100.2
361.8
255.6
244.8
192.6
255.6
616.2
366.6
237

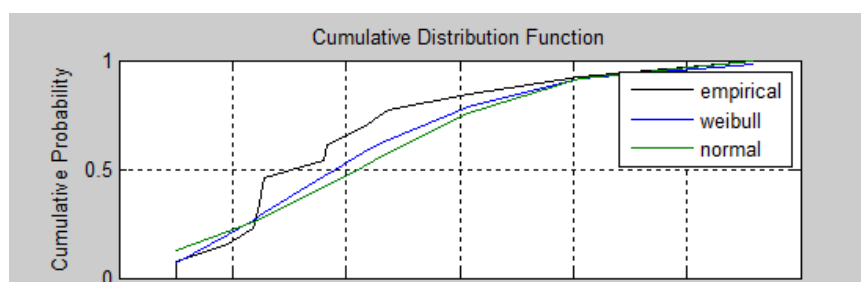
Matlab anpassar sedan en Normal- respektive Weibullfördelning till dataunderlaget. Programmet som används för denna anpassning i Matlab är utvecklat av Mike Sheppard (Sheppard, 2012) och har använts flitigt i detta arbete. Den negativt logaritmiska likelihooden (NlogL) ligger sedan till grund för vilken av fördelningarna som programmet utser till den mest lämpade att representera dataunderlaget. Följande svarsinformation (se figur 4.1) utvecklas i Matlab efter att programmet körts.

Som synes genereras en skal ( $\alpha$ )- respektive formparameter ( $\beta$ ) för den Weibullfördelade dataunderlaget. Vad avser normalfördelning så genereras läges ( $\mu$ )- respektive skalparametern ( $\sigma$ ). Poängsättningen NLogL går även att utläsa i svaret som genererats. Poängsättningen mellan de båda svaren nedan är från helt olika fördelningar och skall därmed inte jämföras.

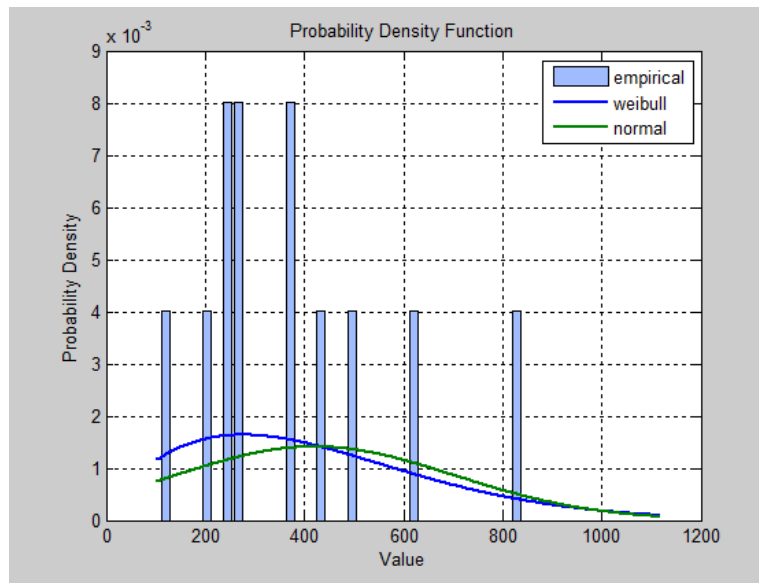
Weibullfördelning	Normalfördelning
DistName: 'weibull'	DistName: 'normal'
NLogL: 89.1217	NLogL: -9.3316
BIC: 183.3734	BIC: -13.5333
AIC: 182.2435	AIC: -14.6632
AICc: 183.4435	AICc: -13.4632
ParamNames: {'a' 'b'}	ParamNames: {'mu' 'sigma'}
ParamDescription: {'scale' 'shape'}	ParamDescription: {'location' 'scale'}
Params: [474.7471 1.6763]	Params: [0.0789 0.1227]
Paramci: [2x2 double]	Paramci: [2x2 double]
ParamCov: [2x2 double]	ParamCov: [2x2 double]
Support: [1x1 struct]	

**Figur 4.1** Svarsinformation från MatLab.

För varje vektor som körs i Matlab så genereras också en täthetsfunktion samt fördelningsfunktion över dataunderlaget. Ställtidsvektorn som presenteras ovan har en täthetsfunktion enligt figur 4.3 samt en fördelningsfunktion likt figur 4.4.



**Figur 4.2** Täthetsfunktion över ställtiden för artikel B i cell2.



**Figur 4.4** Fördelningsfunktion över ställtiden för artikel B cell2.

I figur 4.5 visas parametrarna för artikel A för respektive maskin/cell. Gulmarkerade parametrar indikerar att programmet i Matlab har funnit att normalfördelningen passar bäst in på indatounderlaget.

<b>Artikel.nr</b>	A						
<b>Maskin/cell</b>	Cell 1						
	Tsu	q5	qP	NO			
$\alpha$	89,4371	$\alpha$ 1,7755	$\mu$ 0,0894	$\alpha$ 16,8678			
$\beta$	740,7787	$\beta$ 0,3423	$\sigma$ 0,1225	$\beta$ 1184,1			
<b>Maskin/cell</b>	Cell 20						
	Tsu	q5	qP	NO			
$\alpha$	12,0543	$\alpha$ 3,7805	$\mu$ 0,0094	$\alpha$ 4,8446			
$\beta$	116,9668	$\beta$ 0,4859	$\sigma$ 0,0133	$\beta$ 1238			
<b>Maskin/cell</b>	Cell 13						
	Tsu	q5	qP	NO			
$\alpha$	2,9581	$\alpha$ 1,6065	$\mu$ 0,2138	$\mu$ 1029,7			
$\beta$	816,7303	$\beta$ 0,1557	$\sigma$ 0,3339	$\sigma$ 57,5007			

12.

**Figur 4.5** Parametrar för artikel A.

---

Rent intuitivt kan det tyckas att faktorer av samma slag, exempelvis batchstorleken  $N_0$  skall ha samma typ av fördelning oberoende om de körs i olika maskiner eller celler. Men som synes är batchstorleken i cell 13 normalfördelad medan batchstorleken i Cell20 och cell1 är Weibullfördelad för artikel B. För att kunna göra en godtycklig simulering bör dock faktorer av samma slag ha samma fördelning, likt ställtiden  $T_{SU}$  och taktförlusten  $q_p$ . Stilleståndsandelen  $q_s$  samt batchstorleken  $N_0$  är de faktorer som visat sig få olika fördelningar. Dock har NLogL-resultatet kontrollerats och det visar sig skilja marginellt om dataunderlaget anpassas till en Normal-respektive Weibullfördelning för dessa faktorer.

För att ytterligare försäkra vilken typ av fördelning de olika faktorerna  $q_s$  samt  $N_0$  har så har uträkningar gjorts på andelen Weibullfördelade kontra normalfördelade. Sett till stilleståndsandelen ( $q_s$ ) genererades 7 normalfördelningar samt 35 Weibullfördelningar, vilket ger en procentandel på 83.33 % till fördel för Weibullfördelning. Procentandelen Weibullfördelade batchstorlekar  $N_0$  var 85.71 %. Detta tillsammans med granskningen av score och en överläggning med doktorand Simon Burgess har gjort att valet av fördelningen på  $q_s$  samt  $N_0$  blev Weibullfördelning.

För alla ställtider ( $T_{SU}$ ) genererades Weibullfördelningar och för alla taktförluster ( $q_p$ ) genererades normalfördelningar. Då  $q_p$  vektorn innehåller minst en nolla kan ej en Weibullfördelning generas, vilket kan ses i ekvation 2.8. Att  $q_p$  innehåller minst en nolla beror på definitionen av  $q_p$ , där  $t_0$  är definierad som den snabbaste cykeltiden och därmed får batchen med snabbast cykeltid en taktförlust  $q_p=0$ .

### 4.3.2 Familjer

Då familjeanalys skall göras så har all data för de ingående detaljerna i familjen tagits med i beräkningarna. Alla vektorer och indata för variablerna såsom  $T_{SU}$ ,  $q_s$  och  $q_Q$  har slagits samman till en längre vektor för varje variabel, och genomsnitt för konstanterna såsom  $k_B$  och  $k_{CS}$  har använts för att utföra beräkningarna. Marknadsefterfrågan tas inte hänsyn till eftersom inga exakta prognoser har gjorts från DPM sida. Därför finns det inte tillräckligt med grund för detta. Resultaten är därmed linjärt beroende, d.v.s. ett högre antal tillverkade batcher hos en artikel får en större inverkan på familjen. När dessa indata har modifierats till en familj så följer resten av metodiken och analysen ovanstående gällande avsnittet om artiklar.

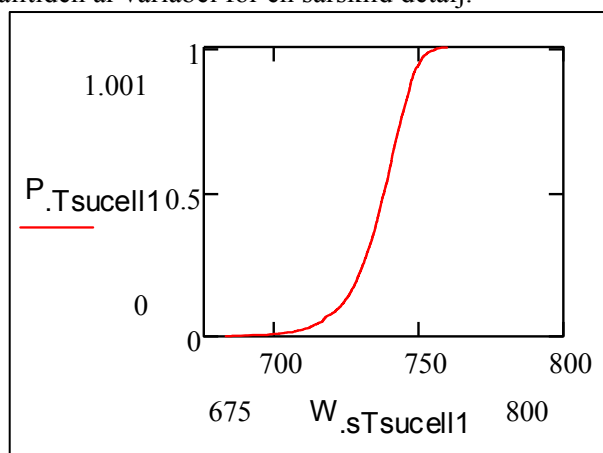
## 4.4 Simulering

De indata som blivit analyserade och behandlade skall nu användas för att simulera fram resultaten för alla detaljer och familjer. Simuleringen har gjorts i det matematiska beräkningsprogrammet PTC Mathcad. Detta program har visat sig vara mycket intuitivt och bra för många beräkningar och fört med sig stora fördelar till arbetet. Det har trots detta även visat sig finnas en del matematiska begränsningar i Mathcad. Bl.a. så är verktygen kring Weibullfördelning något begränsade.

I Mathcad finns det inget sätt att slumpa fram en Weibullfördelad vektor med önskade parametrar. Istället har likformig fördelning använts för att lösa problemet. En likformig fördelning mellan noll och ett ger ett jämnt fördelat oberoende värde. Sätts detta värde till  $F(x)$  i Weibullfunktionen samtidigt som parametrarna  $\alpha$  och  $\beta$  bestäms, så kan  $x$  lösas ut (ekvation 4.5) och en lika lång slumpmässig Weibullfördelad vektor fås.

$$x = \beta(-\ln(1 - F(x)))^{\frac{1}{\alpha}} \quad \text{Ekvation 4.5}$$

Fördelningsfunktionen för denna framsimulerade vektor kan då få ett utseende likt figur 4.6 där ställtiden är variabel för en särskild detalj.



**Figur 4.6** Fördelningsfunktion över ställtiden.

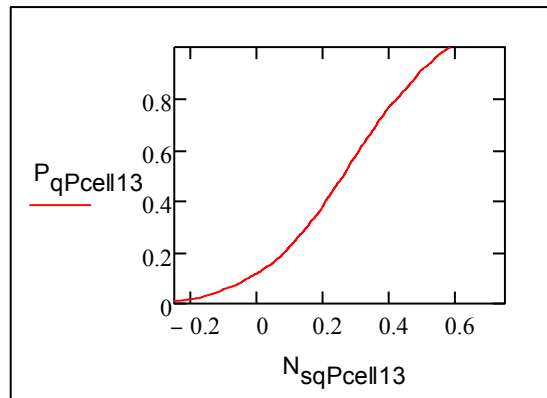
Normalfördelning är redan inbyggt på ett korrekt vis med väntevärdet  $\mu$  och standardavvikelsen  $\sigma$ . Därför har ovanstående metod inte behövt användas för dessa framsimulerade vektorer. Exempel på metoden ses i figur 4.7 där en normalfördelning ( $\mu, \sigma$ ) med längden 2200 slumpas.

$$N_{qPcell13} := rnorm(2200, \mu_{qPcell13}, \sigma_{qPcell13})$$

**Figur 4.7** En normalfördelad slumpad vektor med längden 2200.

Fördelningsfunktionen för denna framsimulerade vektor kan då få ett utseende likt figur 4.8 där taktförlusten är variabel för en särskild detalj.





**Figur 4.8** Fördelningsfunktion för taktförlusten.

I kostnadsfunktionen så delas det med andelar för bl.a. taktförlust för varje batch för att ta hänsyn till denna kostnadsfaktor. När dessa andelar ska beskrivas som statistiska parametrar så uppstår ett problem då parametern kan bli mer än 100 %. Detta inträffar då fördelningen inte håller reda på att det är andelar som det jobbas med. Konsekvensen av detta blir då att några framsimulerade kostnader kommer att anta negativa värden även om sannolikheten är låg. Kostnaden kan naturligtvis aldrig bli negativ varför trunkering av vektorerna är nödvändig. Med trunkering menas att en liten bit av vektorns lägsta kostnader skalas bort. Genom att göra detta undviks de negativa värdena utan att förstöra kostnadsfördelningens form och skala i större grad.

Då kostnadssimuleringen görs följs teorin kring kostnadsmodellen vid flera förädlingssteg helt. Funktionerna ställs upp och kopplas till respektive simulerad fördelning i samma dokument. De fasta parametrarna anges även de för att sedan användas i uträkningen. Sedan ritas kostnadsfördelningen upp och resultatet kan utläsas.

För att se ett exempel på en hel simulering av en detalj, se Bilaga A. Detaljen i exemplet har tre förädlingssteg, cell2, A120 och cell13.

## 4.5 Artiklar

I analysen om artiklar presenteras resultatet för alla artiklar som har granskats, DPM beräknade tillverkningskostnad jämförs med den Monte Carlo-simulerade tillverkningskostnaden. Inledningsvis ges en förklaring till vad som ska presenteras vid varje detalj. Detta gör det möjligt att presentera alla detaljer på ett standardmässigt vis.

### Försäljningspris

Försäljningspriset är taget från DPMs försäljningsavdelning. Priset inkluderar AFFO-pålägg (affärs- och försäljnings-pålägg) för att täcka verksamhetens alla

---

kostnader, samt beräknade vinstmarginaler för att ge verksamheten en rimlig vinst på det satsade kapitalet.

### **Förkalkylerad tillverkningskostnad**

Den förkalkylerade tillverkningskostnaden skall motsvara den efterkalkylerade kostnaden till antaganden gjorda. Förkalkylen ska alltså kunna jämföras med efterkalkylen. Förkalkyler är hämtade från DPM beräkningsavdelning där de inte har använts sig av historiska data i sina kalkyler, det vill säga de har inte korrigerat sina förkalkyler med hänsyn till efterkalkyler. Det kommer därmed bli högentressant att se hur väl de förutspådda kostnaderna stämmer överens med de statistiska efterkalkylerna.

### **Tillverkningskostnad (50 % sannolikhet)**

Tillverkningskostnaden (50 % sannolikhet) talar om att med 50 % sannolikhet så kommer tillverkningskostnaden att vara lika med ett visst värde eller lägre än detta värde. Det innebär också att sannolikheten är lika stor att kostnaden hamnar över denna.

### **Spridning (kr och %)**

Spridningen för de olika detaljerna kan variera väldigt olika beroende på olika faktorer. Det som kan konstateras är att en låg spridning är bra då det tyder på en stabil produktion med lite variationer. Det gör det lättare att träffa rätt i beräknad tillverkningskostnad samt prissättning. För att kunna jämföra spridningen hos de undersökta artiklarna har författarna valt att räkna ut spridningen i procent. Spridningen räknas då ut enligt ekvation 4.6.

$$\frac{\text{Tillv. kost}^{90\%} - \text{Tillv. kost}^{10\%}}{\text{Tillv. kost}^{90\%}} \quad \text{Ekvation 4.6}$$

### **Väntevärde**

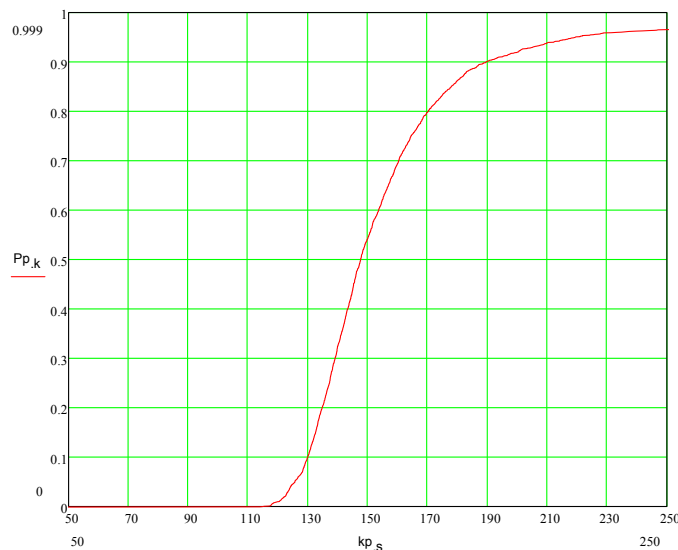
Väntevärdet för kostnadsfördelningen är det värde som kommer att utfalla om detaljen säljs ett oändligt antal gånger. Det kan även kallas för medelvärdet för funktionen. Skall t.ex. den förväntade kostnaden efter några års försäljning beräknas så är det här värdet representativt för detta. Det är dock viktigt att inte blanda ihop detta värde med den mest sannolika kostnaden då det inte alls behöver vara samma sak. Det är inte alls säkert att det som är utfallet flest gånger är det som blir genomsnittet i slutändan.

### **Förväntad vinst**

Den förväntade vinst är den vinst som fås om detaljen säljs ett oändligt antal gånger. Detta värde beräknas genom att ta det fasta försäljningspriset minus väntevärdet för tillverkningskostnaden. Det är viktigt att ta i beaktning att det bara tas hänsyn till tillverkningskostnaden och inga andra kostnader här. Den förväntade vinsten ska även täcka de indirekta kostnaderna så som affärs- och försäljnings-

omkostnader. Därefter fås en vinstmarginal som tagit hänsyn till alla kostnader som kan hänföras till den producerade detaljen.

#### 4.5.1 Artikel A



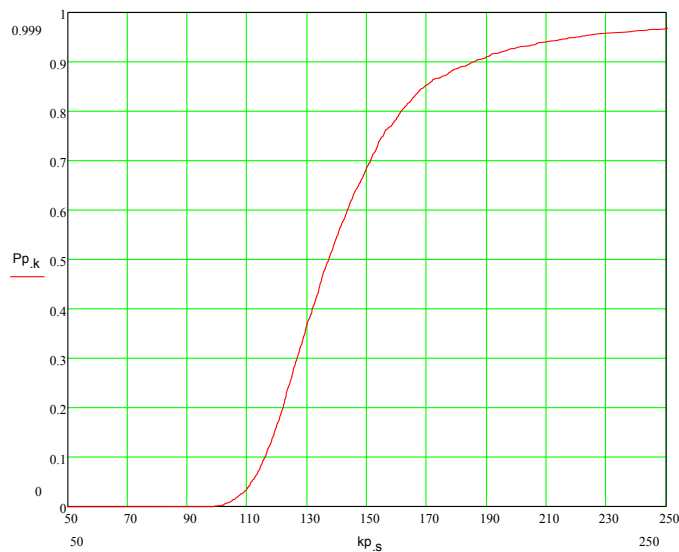
*Figur 4.9 Fördelningsfunktion för art. A.*

<b>Art. A</b>	
<b>Försäljningspris</b>	<b>167 kr</b>
<b>Förkalkylerad tillverkningskostnad</b>	<b>139.94 kr</b>
<b>Tillverkningskostnad, 50% sannolikhet</b>	<b>147 kr</b>
<b>Väntevärde</b>	<b>159 kr</b>
<b>Spridning (kr)</b>	<b>60 kr</b>
<b>Spridning (%)</b>	<b>31.6 %</b>
<b>Arti</b>	<b>Förväntad vinst</b>
	<b>8 kr</b>

#### Artikelanalys

Till synes är vinsten för den aktuella artikeln enbart 8 kr vilket inte är någon vidare marginal. Ska även indirekta kostnader läggas till ytterligare så är det högst troligt att detaljen går med förlust. Försäljningspriset bör ses över och läggas på en sådan nivå att alla kostnader täcks samt att vinst efter indirekta kostnader motsvarar förväntningarna. Spridningen på 60 kr kan också ses som 160 kr plus/minus 30 kr till 80 % sannolikhet. Relativt andra undersökta detaljer i arbetet så är spridningen låg vilket tyder på en stabil produktion.

## 4.5.2 Artikel B



Figur 4.10 Fördelningsfunktion för art. B.

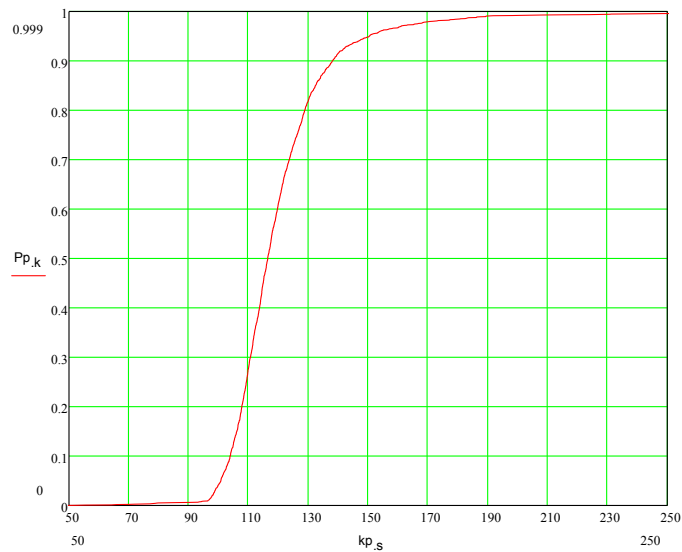
Art. B	
Försäljningspris	90 kr
Förkalkylerad tillverkningskostnad	99.7 kr
Tillverkningskostnad, 50% sannolikhet	138 kr
Väntevärde	149.5 kr
Spridning (kr)	75 kr
Spridning (%)	39.5 %
Förväntad vinst	-58 kr

### Artikelanalys

Detaljen går med 59.5 kr förlust för varje såld enhet. Skall övriga indirekta kostnader läggas på så kommer denna förlust att bli väldigt stor. Det är uppenbart att något måste göras för att ändra på mönstret. Anledningen till denna stora förlust behöver inte bara bero på felräknade förkalkyler. Det kan även vara så att förlusten är menad då upphandlingen är gjord med flera detaljer och att den aktuella detaljen då har blivit en s.k. "good will"-produkt. Att försäljningspriset ligger under den förkalkylerade tillverkningskostnaden tyder också på det är en "good will"-produkt. För att täcka tillverkningskostnaden så behöver försäljningspriset höjas till ca 150 kr. Det skulle då bidra med ett förhöjt orderpris med 40 % utan att täcka varken indirekta kostnader eller marginaler.

---

### 4.5.3 Artikel C



Figur 4.11 Fördelningsfunktion för art. C.

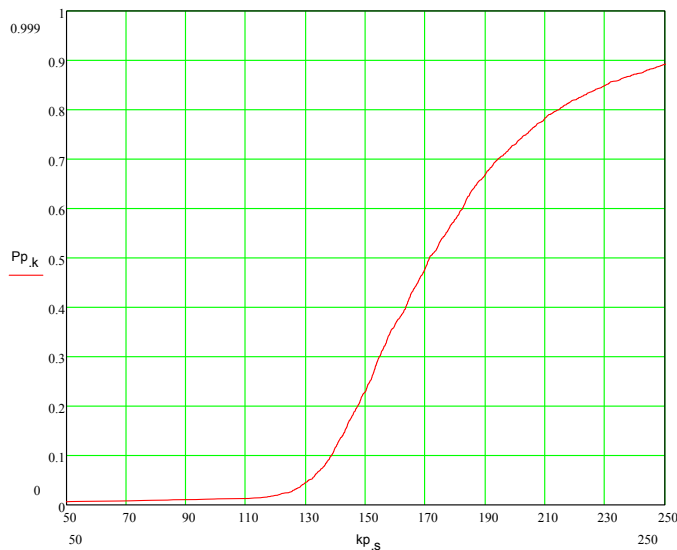
---

Art. C	
Försäljningspris	85.3 kr
Förkalkylerad tillverkningskostnad	100.03 kr
Tillverkningskostnad, 50% sannolikhet	116 kr
Väntevärde	120 kr
Spridning (kr)	35 kr
Spridning (%)	25 %
Förväntad vinst	- 35 kr

#### Artikelanalys

Liksom den föregående detaljen går även denna med förlust för varje såld enhet. Analysen kring den förra detaljen gäller därför i stora drag även för denna detalj. Försäljningspriset ligger även här under den förkalkylerade tillverkningskostnaden. Det tyder på en medveten förlust och att det finns bakomliggande anledning till detta låga försäljningspris.

#### 4.5.4 Artikel D



Figur 4.12 Fördelningsfunktion för art. D.

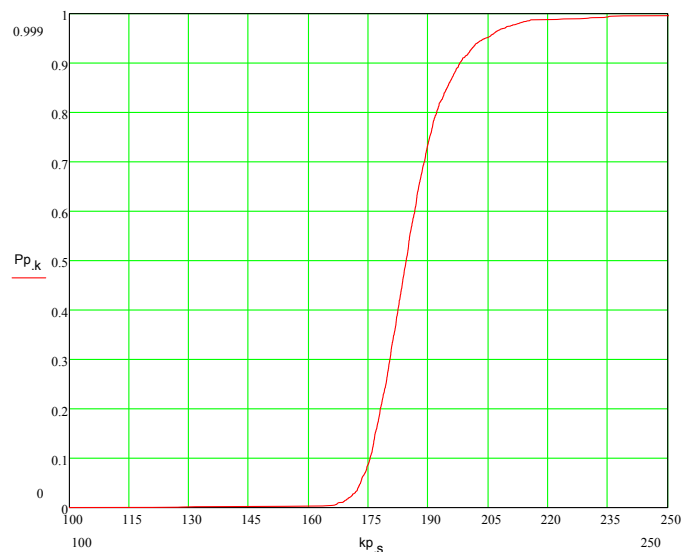
Art. D	
Försäljningspris	133 kr
Förkalkylerad tillverkningskostnad	112.33 kr
Tillverkningskostnad, 50% sannolikhet	172 kr
Väntevärde	189 kr
Spridning (kr)	110 kr
Spridning (%)	44 %
Förväntad vinst	-56 kr

#### Artikelanalys

Även denna detalj går med förlust. Försäljningspriset borde höjas drastiskt för att ge en positiv lönsamhet. Den förkalkylerade tillverkningskostnaden är till synes underskattad då väntevärdet för tillverkningskostnaden ligger på 189 kr. Detta tillsammans med att spridningen för kostanden är stor bör utgöra anledningen till att produkten går med förlust. Det vore en god idé att jämföra närmre hur förkalkylen och denna efterkalkyl skiljer sig för att gå till botten med ett eventuellt fel i förkalkylen. Kanske kan detta leda till att systematiska fel hittas i förkalkylerna. Det kan i sin tur leda till bättre förkalkyler för nya artiklar i framtiden. Priset behöver alltså höjas eller så bör den sluta att produceras om inte speciella anledningar föreligger.

---

## 4.5.5 Artikel E



*Figur 4.13 Fördelningsfunktion för art. E.*

---

<b>Art. E</b>	
<b>Försäljningspris</b>	289.3 kr
<b>Förkalkylerad tillverkningskostnad</b>	238.3 kr
<b>Tillverkningskostnad, 50% sannolikhet</b>	180 kr
<b>Väntevärde</b>	186 kr
<b>Spridning (kr)</b>	24 kr
<b>Spridning (%)</b>	12.4 %
<b>Förväntad vinst</b>	103 kr

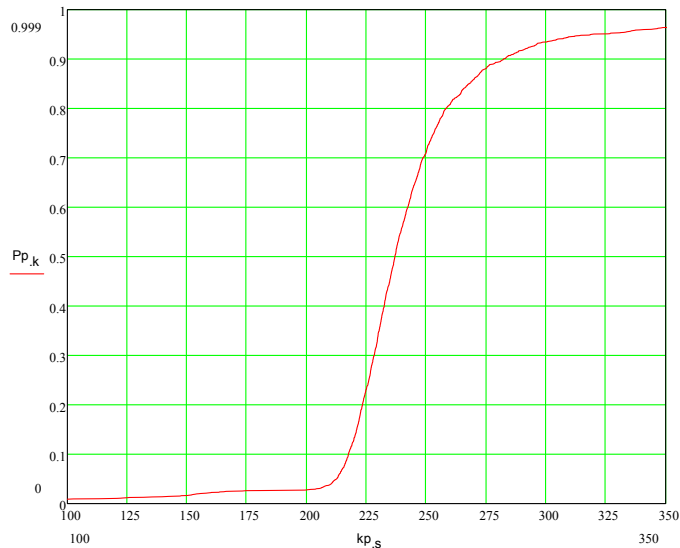
---

### Artikelanalys

Den aktuella detaljen går med hela 103 kr i vinst. Från utläsning ur kurvan så är sannolikheten för att göra vinst på artikeln varje gång mycket hög. Det beror på att spridningen är låg samt att dess största täthet ligger vid en lägre kostnad. I den förväntade vinsten finns det även plats för ett tiotal procent indirekta kostnader samt marginal för resulterande vinst efter alla kostnader. Den förkalkylerade kostnaden har ett högre värde än väntevärdet vilket med stor sannolikhet bidrar till den höga förväntade vinsten. Artikeln bör få fortsätta i produktion om inga andra, för tillfället okända förutsättningar föreligger.

---

## 4.5.6 Artikel F



*Figur 4.14 Fördelningsfunktion för art. F.*

---

<b>Art. F</b>	
<b>Försäljningspris</b>	484.7 kr
<b>Förkalkylerad tillverkningskostnad</b>	282.71 kr
<b>Tillverkningskostnad, 50% sannolikhet</b>	239 kr
<b>Väntevärde</b>	246.6 kr
<b>Spridning (kr)</b>	67 kr
<b>Spridning (%)</b>	23.3 %
<b>Förväntad vinst</b>	238 kr

---

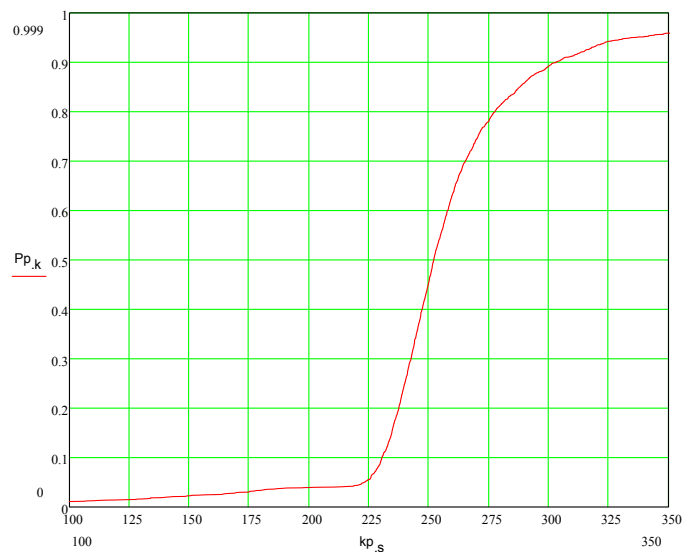
### Artikelanalys

Denna detalj har en förväntad vinst på 238 kr. Sannolikheten att göra vinst på den vid varje tillverkad batch är hög. Spridningen är relativt låg vilket tyder på mindre oväntade problem i produktionen. Den förkalkylerade tillverkningskostnaden på 282.71 kr ligger något högre än väntevärdet på 246.6 kr. Sammanfattningsvis så ser siffrorna mycket bra ut och detaljen är mycket förtjänstfull.



---

## 4.5.7 Artikel G



*Figur 4.15 Fördelningsfunktion för art. G.*

---

<b>Art. G</b>	
<b>Försäljningspris</b>	483.3 kr
<b>Förkalkylerad tillverkningskostnad</b>	311.93 kr
<b>Tillverkningskostnad, 50% sannolikhet</b>	252.2 kr
<b>Väntevärde</b>	260 kr
<b>Spridning (kr)</b>	67.5 kr
<b>Spridning (%)</b>	22.5 %
<b>Förväntad vinst</b>	223 kr

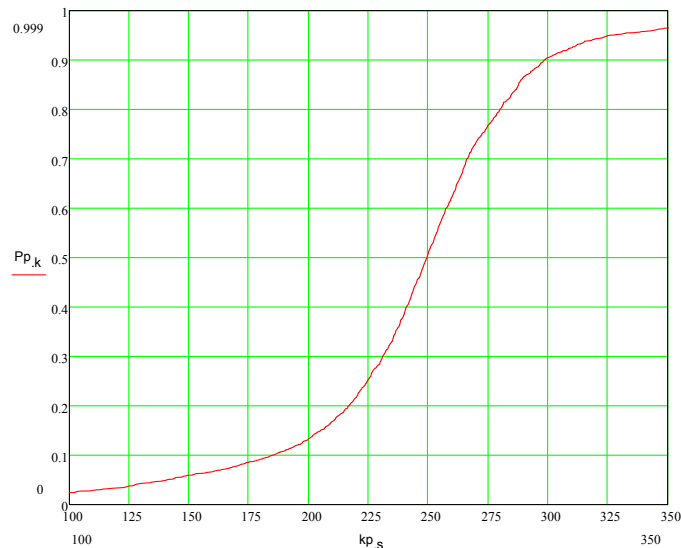
---

### Artikelanalys

Liksom den föregående artikeln så är denna artikel mycket förtjänstfull. Den förkalkylerade tillverkningskostnaden är något hög i förhållande till väntevärdet för efterkalkyl. Att kostnaden i efterkalkylen är lägre kan bero på t.ex. att detaljen är ”inkörd” och fungerar bättre i produktionen än förutspått. Den förväntade vinst uppgår till 223 kr och även om problem uppstår vid produktion av en batch så är det sannolikt att resultatet blir vinst. Spridning är dock något högre procentuellt vilket kanske kan förbättras genom att undersöka produktionsprocessen närmre.

---

## 4.5.8 Artikel H



*Figur 4.16 Fördelningsfunktion för art. H.*

---

<b>Art. H</b>	
<b>Försäljningspris</b>	Montering
<b>Förkalkylerad tillverkningskostnad</b>	356.54 kr
<b>Tillverkningskostnad, 50% sannolikhet</b>	242 kr
<b>Väntevärde</b>	249.6 kr
<b>Spridning (kr)</b>	110 kr
<b>Spridning (%)</b>	37.9 %
<b>Förväntad vinst</b>	– kr

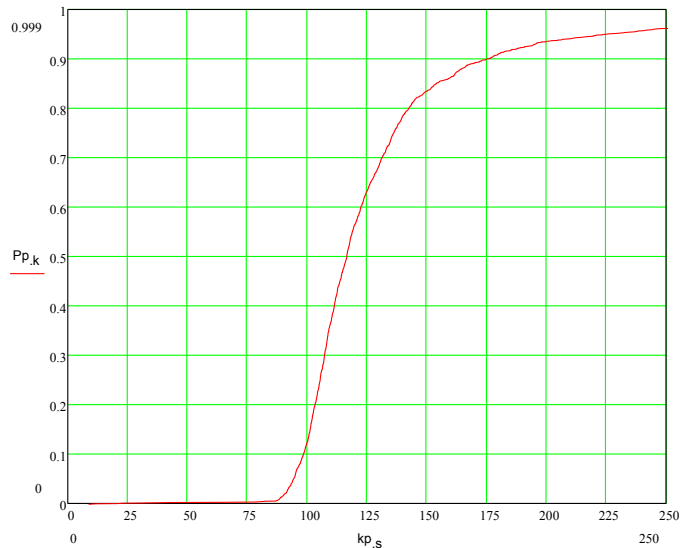
---

### Artikelanalys

Då denna detalj går till montering så finns det inget dokumenterat försäljningspris. Spridningen är procentuellt sett hög vilket innebär att kostnaden kan variera mycket. Med 80 % sannolikhet ligger tillverkningskostnaden mellan ca 190 kr och 300 kr. Det långsiktiga medelvärdet för kostnaden ligger på 242 kr exklusive indirekta kostnader och marginal för vinst. För att denna detalj ska kunna vara förtjänstfull bör minst de direkta och indirekta kostnaderna täckas. Vinsten för den färdigmonterade detaljen får därefter fördelas på de ingående mindre detaljerna.

---

## 4.5.9 Artikel I



*Figur 4.17 Fördelningsfunktion för art. I.*

---

<b>Art. I</b>	
<b>Försäljningspris</b>	125.5 kr
<b>Förkalkylerad tillverkningskostnad</b>	100.04 kr
<b>Tillverkningskostnad, 50% sannolikhet</b>	117 kr
<b>Väntevärde</b>	134 kr
<b>Spridning (kr)</b>	80 kr
<b>Spridning (%)</b>	44 %
<b>Förväntad vinst</b>	-8 kr

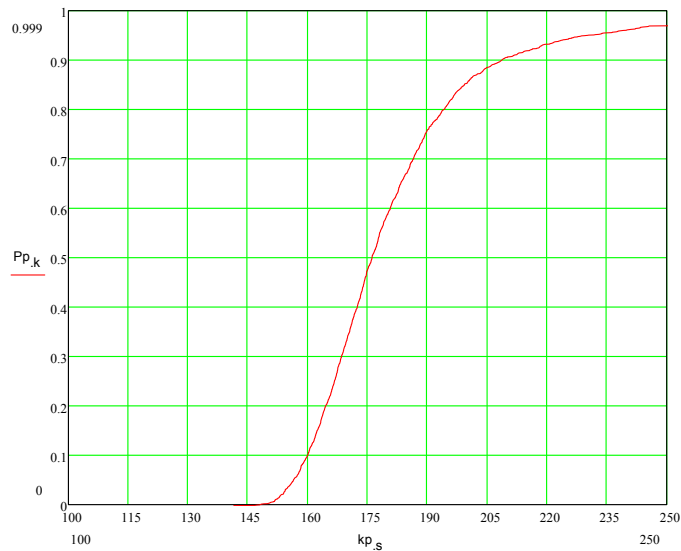
---

### Artikelanalys

Den förkalkylerade tillverkningskostnaden ligger något lågt i förhållande till den långsiktigt genomsnittliga kostnaden. Denna felkalkylering kan vara anledningen till att det förväntade statistiska resultatet hamnar på -8 kr. Det ska även beaktas att spridningen är stor men att den största delen hamnar under försäljningspriset om denna höjs ett par tiotals kronor.

---

## 4.5.10 Artikel J



*Figur 4.18 Fördelningsfunktion för art. J.*

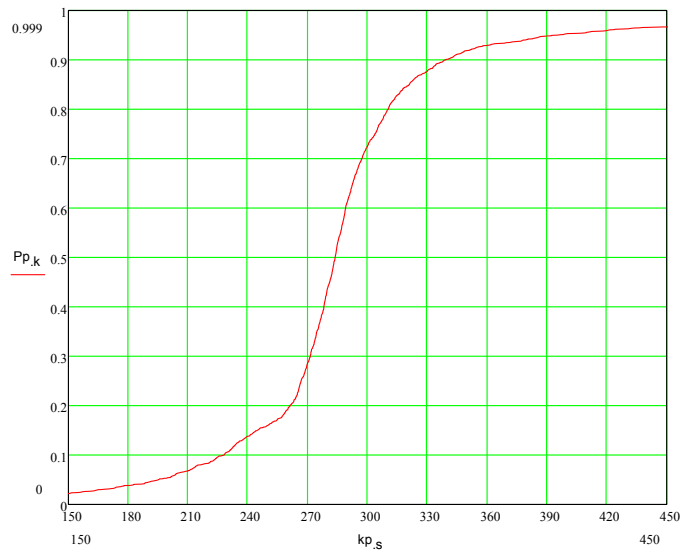
<b>Art. J</b>	
<b>Försäljningspris</b>	238 kr
<b>Förkalkylerad tillverkningskostnad</b>	177.13 kr
<b>Tillverkningskostnad, 50% sannolikhet</b>	178 kr
<b>Väntevärde</b>	183 kr
<b>Spridning (kr)</b>	50 kr
<b>Spridning (%)</b>	23.8 %
<b>Förväntad vinst</b>	55 kr

### Artikelanalys

Denna artikel ser bra ut på många sett utifrån tillverkningskostnaden och försäljningspris. Den förväntade vinsten är rimlig, spridningen är relativt låg och förkalkylen stämmer bra överens med väntevärdet för efterkalkylen. Som det ser ut kan det inte hittas några anledningar till större förändring för den aktuella detaljen.

---

## 4.5.11 Artikel K



Figur 4.19 Fördelningsfunktion för art. K.

---

Art. K	
Försäljningspris	429 kr
Förkalkylerad tillverkningskostnad	301.58 kr
Tillverkningskostnad, 50% sannolikhet	285 kr
Väntevärde	290.6 kr
Spridning (kr)	112 kr
Spridning (%)	33.2 %
Förväntad vinst	138 kr

---

### Artikelanalys

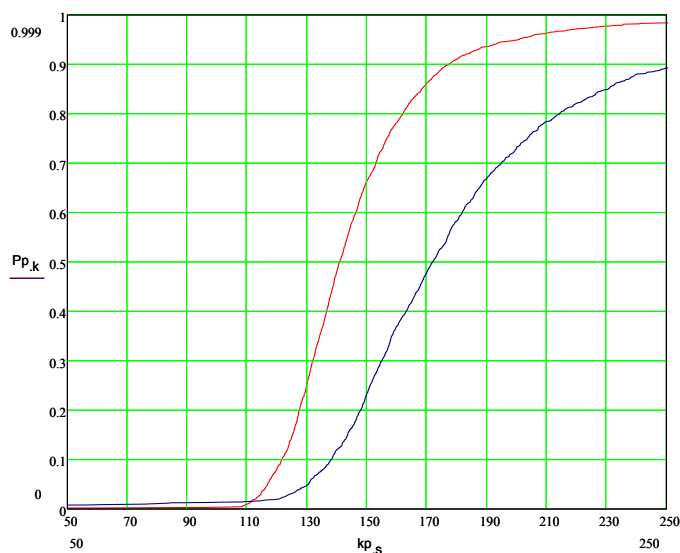
För denna detalj ligger förkalkylen nära det långsiktiga medelvärdet för efterkalkylen. Spridningen relativt de andra undersökta artiklarna är något hög, dock visar det sig att den förväntade vinsten är så pass hög att detta får en mindre betydelse. Sammanfattningsvis så är detta en mycket bra artikel som genererar bra med pengar. Inga större förändringar behöver alltså göras så länge inte större anledningar föreligger.

---

## 4.6 Familjer-Karaktäristiska detaljer

I denna del av arbetet skall undersökningen kring karaktäristiskt detalj presenteras. I analysen kommer fördelningsfunktionen för respektive familj visas tillsammans med fördelningsfunktionen för den artikel i familjen som har störst skillnad på väntevärdet jämfört med familjens väntevärde. Detta för att påvisa det så kallade värsta fallet som kan uppkomma och inte på något vis förfina analysens resultat. En jämförelse kommer även ske mellan de olika artiklarnas väntevärden, detta då väntevärdet på ett bra sätt motsvarar hur de olika artiklarnas fördelningsfunktioner skiljer sig mellan varandra. Presentationen kommer ske i tabellform där det även går att utläsa hur stor procentandel väntevärdet för en viss artikel skiljer sig från familjens väntevärde. Avslutningsvis kommer en kort analys kring varje familj.

## 4.6.1 Familj 1



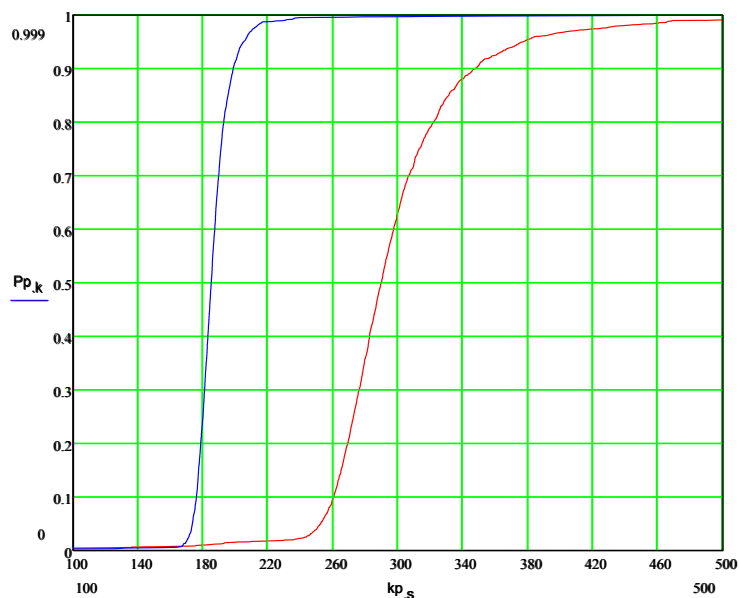
Figur 4.20 Fördelningsfunktion för familj 1 och art. D (blå kurva).

Väntevärden Familj1	SEK	±%
<b>Familj 1</b>	147.8	0
<b>A</b>	159	+7.6
<b>B</b>	149.5	+1.15
<b>C</b>	120	-18.8
<b>D</b>	189	+27.9

### Familjeanalys

Som synes ligger en av artiklarnas väntevärde nära väntevärdet för familjens. De tre andra artiklarna däremot ligger väldigt långt från familjens väntevärde. Det syns även väldigt tydligt på grafen ovan att skillnaden mellan den mest avvikande artikeln och familj 1 är stor. Då en familjebeskrivning inte är bättre än den mest avvikande detaljen så kan familj 1 slopas. Skillnaden i väntevärde är upp till 28 % vilket är på tok för mycket. Av dessa anledningar skulle det vara ett stort misstag att basera prissättningen för en av dessa artiklar på familjens gemensamma kostnadsfunktion.

## 4.6.2 Familj 2



Figur 4.21 Fördelningsfunktion för familj2 samt art. E (blå kurva).

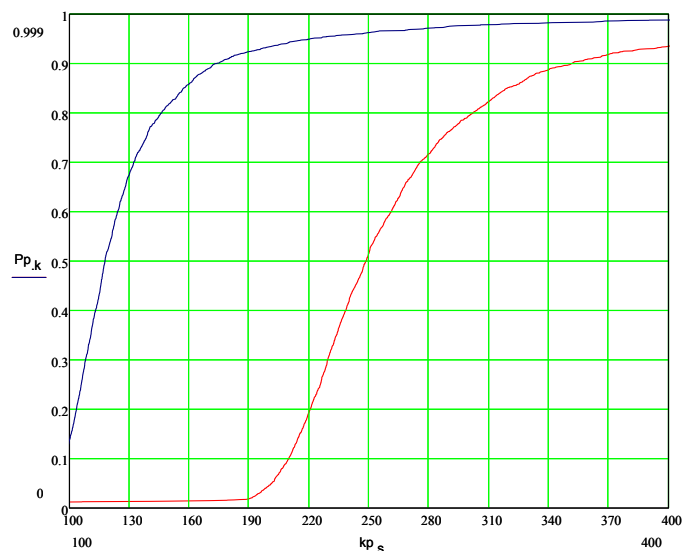
Väntevärden Familj2	SEK	±%
Familj 2	298.8	0
E	186	-37.7
F	246.6	-17.5
G	260	-13
H	249.6	-16.5

### Familjeanalys

Direkt synes det att ingen av artiklarna väntevärde ligger i närheten av familjens. Ett avvikande upp emot 37 % är väldigt mycket. Det syns dessutom mycket tydligt att den blåa och den röda kurvan i figur 4.21 inte har några större likheter, varken till skala eller till form. Familj 2 kan alltså inte representera alla de ingående detaljer då detta skulle få en mycket missvisande beskrivning.



### 4.6.3 Familj 3



Figur 4.22 Fördelningsfunktion för familj 3 samt art. I (blå kurva).

Väntevärden Familj3	SEK	±%
<b>Familj 3</b>	271.9	0
<b>I</b>	133.6	-50.8
<b>J</b>	183	-32.7
<b>K</b>	290.6	+6.9

#### Familjeanalys

I tabellen ovan kan det utläsas att avvikelsen från familjens väntevärde och artiklarna väntevärde ligger mellan 6.9 % och 50.8 %, positivt eller negativt. Detta är väldigt mycket i sammanhanget. Att då beskriva alla ingående artiklar med en gemensam familj är uteslutet. Skillnaden är alldeles för stor i tillverkningsprocessen och kostnadsmässigt att det rent av vore förödande. Fokus måste läggas på varje enskild artikel för att efterkalkylen ska bli användbar. Anledningen till att familjens väntevärde ligger när en av artiklarna och lång från de andra beror på mängden indata, alltså antalet producerade batcher. Den artikel som är tillverkad flest gånger får då mest inverkan på familjens resulterande kostandsekvation.

Då artikel J dessutom har ytterligare en tillverkningsstation, inverkar även detta på resultatet. För att inte lura sig själv med att ta bort den ytterligare stationen för hela

---

familjen så läggs denna istället till på de andra detaljerna. De andra två detaljerna kommer därför då att baseras på samma siffror som för artikel J för denna station och detaljerna kommer dessutom medföra en dyrare kostnad till familjen än vad de egentligen kostar. Detta är ytterligare ett exempel på att familjen inte är en bra beskrivning på detaljerna som ingår i densamma.

## 4.7 Beroenden

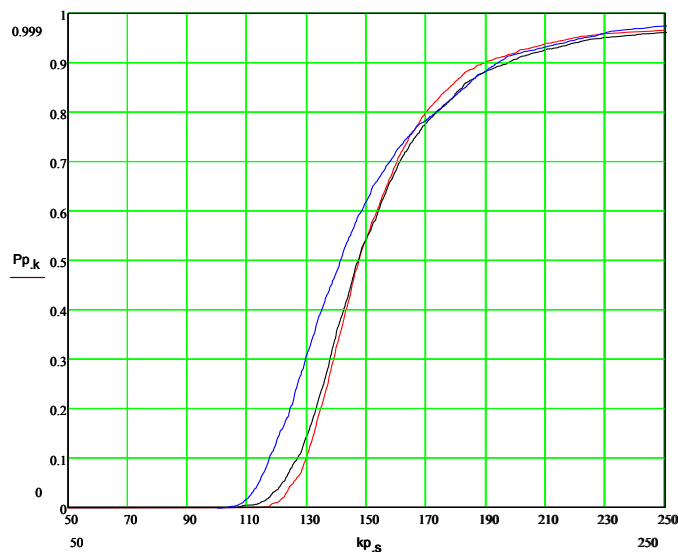
Det har kommit fram under arbetets gång att det är intressant att göra någon form av test på hur beroenden i produktionen påverkar den slutliga kostnaden. Beroenden finns i någon form i nästan alla studier av praktiska händelser på ett eller annat vis, så även i produktion. Det är inget nytt att kassationsandelarna i produktionen har ett visst beroende till taktförlust och stillestånd. Att ta fram det exakta beroendet är både komplicerat och kräver mycket bra indata, vilket har lett arbetet till att testa beroendet på annat sätt. I exemplet givet nedan har tre kurvor ritats upp med olika beroenden, 99 %, 20 % och inget procentuellt beroende.

Metoden för att göra beroendet har gått till så att en procentuell andel av alla vektorer för indata har sorterats i storleksordning från minsta till största värde, t.ex. 20 % som ovan. Därefter har beräkningarna utförts som tidigare, men nu så kommer sannolikheten att värdena för kassationsandelen, taktförlusten och stilleståndet alla är t.ex. höga samtidigt ha ökat. Vetskapen om hur stort beroendet är i verkligheten och om detta är linjärt eller har en annan form finns inte. Det fås dock en viss förståelse för hur mycket denna form kan påverka den slutliga kostnaden.

### Beroendeanalys

I tabellen nedan kan det utläsas att kostnadsförändringen för den genomsnittliga kostnaden är mycket liten. Då beroendet låts gå upp till 99 % så ändras inte den genomsnittliga kostnaden med mer än ca 4 %. Då det är extremfallet får det ses som att beroendet för denna detalj har en mycket liten inverkan. Även i figur 4.23 syns det även att inte heller spridningen förändras i större skala.

Väntevärden A-beroende	SEK	±%
0 % beroende	159	0
20 % beroende	159.7	+0.44
99 % beroende	152.3	- 4.2



**Figur 4.23** Fördelningsfunktionen för artikel A. Blå linje representerar 99 % beroende, svart 20 % beroende och röd helt utan beroende.

## 4.8 Verktyg för efterkalkylering

Då omfattningen av delresultat på gjorda artiklar och milstolpar i arbetet har visats upp för DPM så har de gett sin syn på hur de vill fortsätta arbetet. Att ta steget från att inte göra några efterkalkyler till att göra statistiska efterkalkyler med hänsyn till variationer är ett stort steg. Därför har DPM velat att en enklare modell tas fram som är mer ”användarvänlig” från deras sida. Det som har beslutats är att ta fram en helt vanlig efterkalkyl som räknar ut ett exakt värde baserat på genomsnittliga indata. Denna metod tar då ingen hänsyn till variationer och kräver inte samma mängd indata. De genomsnittliga värdena kan tas fram direkt från Axxos, baserat på de batcher som tillverkats under en specifik tid. De framräknade kostnaderna finns redan och totalt kommer en efterkalkyl tidsmässigt gå mycket fortare och det kommer samtidigt att underlätta förståelsen.

I Excel tas en mall fram som är anpassad för antalet operationer eller celler i produktionen. Då arbetet har cirkulerat kring detaljer med mellan tre och fem operationer så kommer mallar som motsvarar detta att tas fram. För exempel på en efterkalkyl (Artikel C) med tre operationer, se Bilaga B. Resultat för den ”enklare” efterkalkylen hamnar på 111 kr med indata från en specifik tillverkad batch. Indata för den statistiska efterkalkylen kommer ifrån mellan 2008-2012 och har väntevärdet 120kr. Dessa kostnader är jämförbara då båda är mått på den genomsnittliga kostnaden och trots att indata kommer från olika tidsspann så ger det en bra och

tydlig indikation på att kostnaderna ligger i närheten av varandra och kan båda ligga till grund för fortsatta kalkyler och offerter av den aktuella artikeln.

Metoden för att ta fram indata till den ”enklare” efterkalkylen skiljer sig något från den statistiska. Då referenspunkten för att beräkna taktförlusten har varit den snabbaste genomsnittliga cykeltiden i produktionen för en batch/order så kan denna inte längre beräknas. För att lösa detta när tillverkningskostnaden beräknas med ekvation 2.1 så byts den nominella cykeltiden ( $t_0$ ) ut till den genomsnittliga cykeltiden ( $t_{avg}$ ) för den aktuella ordern. Tillverkningskostnadsekvationen kommer då istället att se ut som ekvation 4.7.

$$k = \frac{k_B}{N_0} \left[ \frac{N_0}{(1 - q_Q)(1 - q_B)} \right]_b + \frac{k_{CP}}{60N_0} \left[ \frac{t_{avg}N_0}{(1 - q_Q)} \right]_{c1} + \frac{k_{CS}}{60N_0} \left[ \frac{t_{avg}N_0}{(1 - q_Q)} \frac{q_S}{(1 - q_S)} + T_{su} \right]_{c2} + \frac{k_D}{60N_0} \left[ \frac{t_{avg}N_0}{(1 - q_Q)(1 - q_S)} + T_{su} \right]_d \quad \text{Ekvation 4.7}$$

De parametrar som då behöver tas fram för att beräkna tillverkningskostnaden utan statistiska variationer blir följande:

- Materialkostnad ( $k_B$ )
- Härdkostnad ( $k_{Härd}$ )
- Maskintimkostnaden under produktion ( $k_{CP}$ )
- Maskintimkostnaden under stillestånd ( $k_{CS}$ )
- Lönekostnad för operatör ( $k_D$ )
- Genomsnittscykeltid ( $t_{avg}$ )
- Stopptid ( $q_S$ )
- Ställtid ( $T_{su}$ )
- Batchstorlekar ( $N_0$ )
- Kassationer ( $q_Q$ )

Förutom ovanstående förändringar följer alltså denna metod den statistiska i den mån att indata hämtas per batch då formeln baseras på dessa siffror.

Nackdelen med att utesluta den statistiska variationen är att det inte kommer att ges någon indikation på hur väl produktionen för en artikel fungerar. Mycket variationer tyder som tidigare nämnt på en sämre produktionsprocess. Vill DPM däremot använda efterkalkylen till att sortera ut de minst vinstgenererande artiklarna i sin produktportfölj så kommer den ”enklare” efterkalkylen att ge så gott som en lika bra indikation för detta ändamål.

---

## 5 Diskussion

Målet med detta projekt har varit att göra statistiska efterkalkyler på tillverkningskostnaden av olika detaljer. DPM hade fram till detta arbetets början aldrig gjort efterkalkyler. Det stora målet har därför varit att Monte Carlo-simulera tillverkningskostnaden, en metod som går ut på att utnyttja fördelningsfunktioner för olika indata och sedermera simulera fram en tillverkningskostnad. Den stora fördelen med denna typ av efterkalkyl är att det går att se hur variationer i produktionen påverkar tillverkningskostnaden. Som nämnts tidigare så förekommer mer eller mindre alltid variationer i produktionen men det är i allmänhet inte lätt att ta hänsyn till detta och i synnerhet inte då det handlar om offerter. Detta då priset ofta är ett fast pris per artikel, hänsyn kan dock tas i efterhand om efterkalkyler upprättas.

För att efterkalkylerna skall bli korrekta krävs givetvis att indataunderlaget är korrekt. DPM använder sig av produktionsuppföljningssystemet Axxos som varit till stor hjälp i detta arbete. Utan detta system hade rapporten blivit undermålig och en rad mer antaganden hade behövt göras, vilket troligen lett till ett sämre resultat. Även om data finns lättillgänglig i Axxos skall den kritiskt granskas. Det har vid ett flertal tillfällen uppmärksammats att felkodning skett och därmed bör det betonas att en korrekt kodning i Axxos är en nyckel till framgång med avseende på efterkalkyler. De flesta felkodningarna har hittats i början av införandet med Axxos, vilket tyder på att en större noggrannhet vidtagits efterhand. En bra kodning kommer nämligen leda till långt bättre efterkalkyler och därmed högre kostnadsmedvetenhet. Detta kommer underlätta framtida förbättringsarbete, mestadels beroende på att det är lättare att upptäcka var flaskhalsar och problem uppstår.

MPS-systemet som DPM idag använder sig av är i dagsläget inte synkroniserat med Axxos. Detta har medfört en del nackdelar och är egentligen anledningen till att antaganden om kassationer har fått göras. Maskinoperatörerna har antingen angivit kassationerna i Axxos eller i MPS-systemet vilket gjort det i stort sett omöjligt att ta reda på kassationsandelen  $q_0$  för varje enskilt förädlingssteg.

Maskin- och personaltimkostnader har DPM tillhandahållit. Med andra ord använder sig DPM utav samma kostnader vid förkalkylering vilket gör jämförelser mellan den efter- och förkalkylerade tillverkningskostnaden högtintressant och mer användbar än om nya maskintimkostnader hade beräknats fram. Då tillverkningskostnaden bygger på dessa kostnader är det givetvis av intresse att detta dataunderlag också stämmer i realiteten, dock faller kontroll av dylikt utanför ramen av detta arbete.

Som tidigare nämnts har den så kallade Maximum Likelihood-metoden använts för att anpassa indataunderlaget till olika fördelningsfunktioner. Att använda sig av den teoretiskt enklare Minsta Kvadrat-metoden ger liknande resultat men då Blom med flera (Blom, Enger, Englund, Grandell, & Holst, 2005) hänvisar till att Maximum Likelihood-metoden är den bästa har denna använts och då i programmet MatLab. Jan-Eric Ståhl (2013) har dock med framgång använt sig av Minsta

---

Kvadrat-metoden i Mathcad, vilket visar på att båda metoderna fungerar bra och därmed är det upp till de som genomför en liknande analys att välja den metod som passar bäst.

Om fallet är så att inget underlag finns för en viss artikel som skall undersökas kan metodiken om karaktäristisk detalj vara till nytta. I DPM fall har detta dock visat sig vara mindre pålitligt och då finns ytterligare ett tillvägagångssätt. Data måste då samlas in förhand. Lämpligen görs detta på en batch under tillverkning. Då kan ställtider, cykeltider och de övriga parametrarna i kostnadsekvationen 2.1 samlas in. Detta är visserligen ett krävande arbete men ger lika gott resultat. Detta är ytterligare ett exempel på hur effektivt det kan vara att ha ett informationssystem likt Axxos för att spara tid med att samla in och sortera data.

När väl all indata är på plats och simuleringarna har genomförts är den så kallade Monte Carlo-simuleringen utförd. Efter att ha genomfört ett antal simuleringar kom det fram att en liten del av de framsimulerade tillverkningskostnaderna blev negativa, något som är omöjligt. Detta problem har beskrivits tidigare och det konstaterades att en trunkering av kostnadsvektorn blev lösningen för detta, där dessa orealistiska värden helt togs bort.

Fördelningsfunktionerna av tillverkningskostnaden stämmer relativt väl överens med vad som förväntats. De båda produktionsledningarna är inte förvånade över att det finns artiklar som går med förlust, likaså är de väl medvetna om att vissa artiklar har en mycket god vinstmarginal. Vad gäller spridningen i fördelningsfunktionerna tycks produktionen för vissa artiklar vara ojämn, dock menar Fabrikschefen att detta är fullt möjligt. Sker ett maskinhaveri stiger kostnaderna om problemet inte löses inom en snar framtid. Låt säga att en artikel har varit otursbelagd och maskinhaveri har skett ett par gånger under den undersökta perioden, då kommer tillverkningskostnaden stiga avsevärt och kan skilja sig relativt mycket från den förkalkylerade kostnaden. På samma sätt kan den förkalkylerade tillverkningskostnaden vara betydligt högre än den faktiska om produktionen flutit på bra. Nackdelen i det undersökta fallet är att trots stor tillgång på data så hade det varit önskvärt med ett större antal tillverkade batcher per artikel för den undersökta perioden. Mer indata leder till högre träffsäkerhet.

Tanken från början har hela tiden varit att försäljningsavdelningen skall kunna använda fördelningsfunktionerna till beslutsfattande så som offertgivning. I dagsläget känns det dock som om erfarenheten kring resultatet är lite för knapphändig för att utnyttjas vid en anbudsförfrågan. En bra utgångspunkt lär därför vara att ha koll på fördelningsfunktionerna då offertgivning sker, med andra ord hålla koll på med vilken sannolikhet en viss vinst föreligger. Med tiden kommer då en förståelse för fördelningsfunktionen att erhållas och försäljningsavdelningen kommer sätta försäljningspriset mer rätt med avseende på sökt vinstmarginal.

För att underlätta och förenkla arbetet med att ta fram fördelningsfunktioner för artiklar har det från Institutionen för Industriell Produktion sida varit önskvärt att undersöka om det går att dela in artiklarna i så kallade karaktäristiska detaljer.

---

Fördelen med att dela in produkter i familjer eller karaktäristiska detaljer är att undvika att behöva ta fram data för varje enskild artikel och istället utnyttja redan insamlad data och låta denna representera den tilltänkta artikeln. I detta arbete delades 11 artiklar in i tre familjer. Windmark m. fl. arbete (Windmark, Andersson, & Ståhl, 2013) utgjorde grund för denna del av arbetet. Det samlade intrycket är att det skrala resultatet till största delen beror på allt för stor skillnad mellan de olika artiklarna och att denna typ av studier är mer lämpade inom branscher där mindre variation mellan artiklarna förekommer.

I det initiala skedet av detta arbete togs ingen hänsyn av beroenden, inte heller i de presenterade fördelningsfunktionerna har hänsyn tagits till beroenden. Emellertid har försök gjorts vilka inte påvisar några större förändringar av den simulerade tillverkningskostnaden. Ett alternativt sätt att behandla beroenden skulle kunna vara att simulera all indata för ett förädlingssteg samtidigt, det vill säga att istället för att dela upp de ingående parametrarna och simulera dem var för sig, så skulle de kunna simuleras samtidigt och den simulerade kostnadsvektorn skulle då få ett större inbördes beroende där parametrarna har beroende till varandra. Detta kallas för flerdimensionell simulering som bygger på teori kring flerdimensionella stokastiska variabler (Blom, Enger, Englund, Grandell, & Holst, 2005).

DPM har visat intresse för en enklare modell av efterkalkyl än den Monte Carlo-simulerade tillverkningskostnaden. Därför har det tagits fram en statisk efterkalkyl, som utan svårighet kan användas i Excel. Denna modell bygger helt och hållet på Jan-Eric Ståhls arbete inom tillverkningssystem (Ståhl, Industriella Tillverkningssystem del II - Länken mellan teknik och ekonomi, 2011) och är identisk med ekvation 2.1. Modellen blir betydligt mer användarvänlig än om DPM själva skulle ta fram fördelningsfunktioner för alla artiklar och samtidigt Monte Carlo-simulera dessa. De kommer därmed göra efterkalkyler, något som de aldrig gjort tidigare och det i sig är en stor fördel. Att sedan variationerna i produktionen inte blir så påtagliga anses ha mindre betydelse då det borde vara viktigare att göra efterkalkyler än att inte göra några alls.

---

## 6 Slutsatser

Resultaten från de simulerade kostnadsfunktionerna ger ett mycket tydligt kvitto på hur den ”faktiska” kostnaden för en tillverkad detalj är. Med statistiken som grund fås det svart på vitt med vilken sannolikhet en detalj går med vinst eller förlust. Det kan även utläsas vad som är det mest vanligt förekommande utfallet och med vilken sannolikhet kostnaden för en detalj hamnar mellan två givna värden.

Med hjälp av Monte Carlo-simulering har en ökad förståelse erhållits för hur variationer i produktionen påverkar kostnaden för den slutliga detaljen. Att kostnaden kan variera med upp till över 40 % mellan en tillverkad batch och en annan talar om att känsligheten kan vara förvånansvärt stor i vissa sammanhang. En minskad variation i produktionen jämnar ut flödet och minimerar den slutliga kostnaden för den totala produktionen.

Arbetet har fått bra respons från DPM sida vad det gäller uppföljning på detaljer i produktionen. Från att tidigare ha avstått helt från efterkalkyler till att gå hela vägen och följa den statistiska metodiken i arbetet med hänsyn till variationer är ett stort och krävande steg. Att DPM nu gör efterkalkyler kommer att göra en stor förbättring och leder förhoppningsvis i slutändan till en mer optimerad produktportfölj med färre förlustdetaljer.

Monte Carlo-simulering av tillverkningskostnaden kan vara mycket användbart för företag att genomföra. Metodiken kräver dock en djupare kunskap inom statistik. Detta i kombination med ett gediget datainsamlade kan av allt att döma leda till att simuleringen uteblir. Slutsatsen blir därmed att det bästa vore om affärssystemstillsverkarna kunde anamma denna metod och implementera denna i sitt system. Användaren kan då på ett enkelt vis hämta denna information på ett liknande sätt som TAK-rapporterna hämtas idag på DPM.

Slutligen är det värt att notera att en djupare analys kring beroenden och en metod för detta hade varit mycket intressant. Vidare studier och analyser kring detta hade kunnat stärka denna rapport och därför rekommenderas detta att utföras som ett vidare arbete inom Monte Carlo-simulering av tillverkningskostnaden.



---

---

## 7 Referenser

- Blom, g., Enger , J., Englund, G., Grandell, J., & Holst, L. (2005). *Sannolikhetsteori och statistikteori med tillämpningar* (5:8 uppl.). Lund: Studentlitteratur AB.
- Das, K. (2008). A comparative study of exponential distribution vs Weibull distribution in machine reliability analysis in a CMS design. *Computer & industrial Engineering*, 54, 12-33.
- Gazdziak, S. (2010). Measuring operations through OEE. *The national Provisioner*, 28-31.
- Höst, M., Regnell, B., & Runeson, P. (2006). *Att genomföra ett examensarbete*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Jacobsen, D. I. (2002). *Vad, hur och Varför? Om metodval i företagsekonomi och andra samhällsvetenskapliga ämnen*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Mattsson, P., & Örtenblad, A. (2008). *Smått och gott : om vetenskapliga rapporter och referensteknik*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Metropolis, N. (1987). THE BEGINNING of the MONTE CARLO METHOD. *Los Alamos Science*.
- Rydén, T., & Lindgren, G. (u.d.). *Om Monte-Carlo-simulering : utdrag ur kompendiet MARKOVPROCESSER*. Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- Sheppard, M. (den 4 April 2012). [www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/34943](http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/34943). Hämtat från [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com).
- Ståhl, J.-E. (2011). *Industriella Tillverkningsystem del II - Länken mellan teknik och ekonomi* (2 uppl.). Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- Ståhl, J.-E. (2013). *Development of Manufacturing Systems- The link between technology and economics*. Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- Ståhl, J.-E., Gabrielson, P., Andersson, C., & Jönsson, M. (2013). Dynamic Manufacturing Costs- Describing the Dynamic Behavior of Downtimes from a Cost Perspective.
- Williamson, E. A., Harrison, D. K., & Jordan, M. (2004). Information systems development within supply chain management. *International Journal of Information Management*, 24, 375-385.
- Windmark, C., Andersson, C., & Ståhl, J.-E. (2013). *Manufacturing costs and Degree of Occupancy Based on the Principle of Characteristic Parts*. Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- Åkerberg, C., & Zacchi, G. (2000). An economic evaluation of the fermentative production of lactic acid from wheat flour. *Bioresource Technology*, 119-126.

---

# Bilaga A

## Skapar en slumpad vektor

$u := \text{runif}(2200, 0, 1)$

	0
0	$1.268 \cdot 10^{-3}$
1	0.193
2	0.585
3	0.35
4	0.823
5	0.174
6	0.71
7	0.304
8	0.091
9	0.147
10	0.989
11	0.119
12	$8.923 \cdot 10^{-3}$
13	0.532
14	0.602
15	...

En slumpmässig vektor med likformig fördelning. U sätts in i ekvationen nedan  $x(u)$  och genererar då en slumpmässigt weibullfördelad vektor.

$$F(x, \alpha, \beta) := 1 - e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}$$

Fördelningsfunktionen för weibull

$$x(u) := \beta \cdot \left(-\ln(1 - u)\right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

$W(u)=x(u)$  är utlöst ur Fördelningsfunktionen för weibull. Funktionen  $u$  slumpas fram med en likformig fördelning mellan 0 och 1

---

### Ställtid (omställningstid) ( $T_{\text{SUCell2}}$ )

$j := 0..1999$

$j$ -används som index till den slumpade likformiga vektor som är 2000 lång med steglängden 1...Börjar räkna på 0

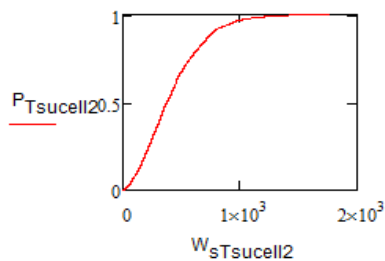
$n := 1999$

$n$ -är tilldelad det högsta indexet på den slumpade vektorn= vektorns längd

$\alpha_{T_{\text{SUCell2}}} := 1.6763$     $\beta_{T_{\text{SUCell2}}} := 474.7471$    Givna data från steg1 Fördelningsanalys

$$W_{T_{\text{SUCell2}}j} := \beta_{T_{\text{SUCell2}}} \cdot (-\ln(1 - u_j))^{\frac{1}{\alpha_{T_{\text{SUCell2}}}}}$$

$$W_{sT_{\text{SUCell2}}} := \text{sort}(W_{T_{\text{SUCell2}}}) \quad P_{T_{\text{SUCell2}}j} := \frac{j}{1+n}$$



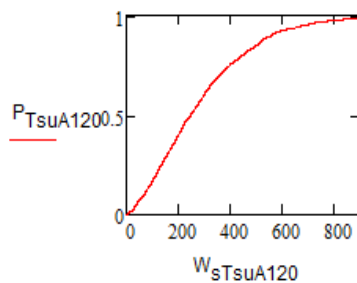
---

### Ställtid (omställningstid) ( $T_{\text{SUA120}}$ )

$\alpha_{T_{\text{SUA120}}} := 1.4677$     $\beta_{T_{\text{SUA120}}} := 321.1532$    Givna data från steg1 Fördelningsanalys

$$W_{T_{\text{SUA120}}j} := \beta_{T_{\text{SUA120}}} \cdot (-\ln(1 - u_{j+1}))^{\frac{1}{\alpha_{T_{\text{SUA120}}}}}$$

$$W_{sT_{\text{SUA120}}} := \text{sort}(W_{T_{\text{SUA120}}}) \quad P_{T_{\text{SUA120}}j} := \frac{j}{1+n}$$



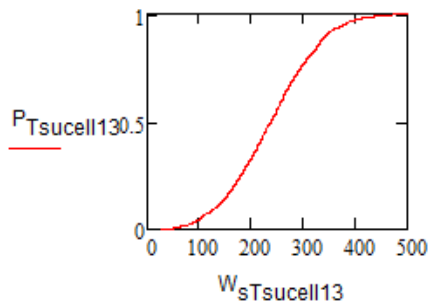
---

### Ställtid (omställningstid) ( $T_{\text{Succell13}}$ )

$\alpha_{T_{\text{Succell13}}} := 3.2154$      $\beta_{T_{\text{Succell13}}} := 267.6319$     Givna data från steg1 Fördelningsanalys

$$W_{T_{\text{Succell13}}_j} := \beta_{T_{\text{Succell13}}} \cdot (-\ln(1 - u_{j+2}))^{\frac{1}{\alpha_{T_{\text{Succell13}}}}}$$

$$W_{sT_{\text{Succell13}}} := \text{sort}(W_{T_{\text{Succell13}}}) \quad P_{T_{\text{Succell13}}_j} := \frac{j}{1+n}$$

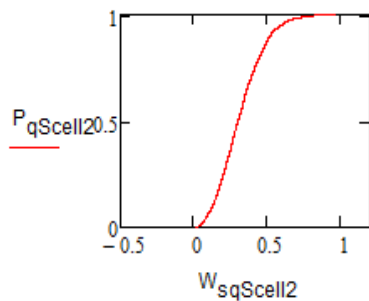


### Andel produktionsstillestånd ( $q_{\text{Scell2}}$ )

$\alpha_{q_{\text{Scell2}}} := 2.2029$      $\beta_{q_{\text{Scell2}}} := 0.359$     Givna data från steg1 Fördelningsanalys

$$W_{q_{\text{Scell2}}_j} := \beta_{q_{\text{Scell2}}} \cdot (-\ln(1 - u_{j+3}))^{\frac{1}{\alpha_{q_{\text{Scell2}}}}}$$

$$W_{sq_{\text{Scell2}}} := \text{sort}(W_{q_{\text{Scell2}}}) \quad P_{q_{\text{Scell2}}_j} := \frac{j}{1+n}$$



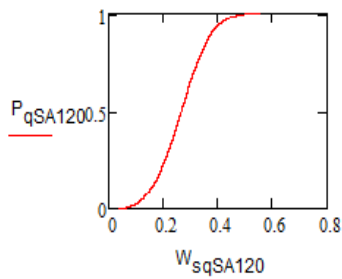
---

### Andel produktionsstillestånd ( $q_{A120}$ )

$$\alpha_{qSA120} := 3.5157 \quad \beta_{qSA120} := 0.2975 \quad \text{Givna data från steg1 Fördelningsanalys}$$

$$W_{qSA120_j} := \beta_{qSA120} \cdot (-\ln(1 - u_{j+4}))^{\frac{1}{\alpha_{qSA120}}}$$

$$W_{sqSA120} := \text{sort}(W_{qSA120}) \quad P_{qSA120_j} := \frac{j}{1+n}$$

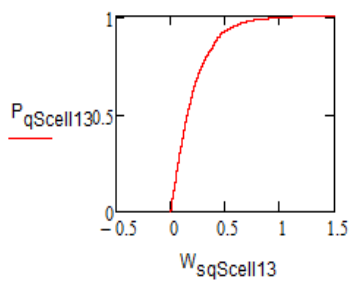


### Andel produktionsstillestånd ( $q_{Scell13}$ )

$$\alpha_{qScell13} := 1.1178 \quad \beta_{qScell13} := 0.2191 \quad \text{Givna data från steg1 Fördelningsanalys}$$

$$W_{qScell13_j} := \beta_{qScell13} \cdot (-\ln(1 - u_{j+5}))^{\frac{1}{\alpha_{qScell13}}}$$

$$W_{sqScell13} := \text{sort}(W_{qScell13}) \quad P_{qScell13_j} := \frac{j}{1+n}$$



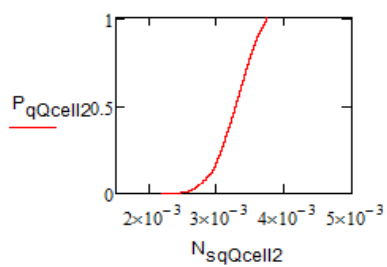
---

### Andel kassationer ( $q_{Qcell2}$ )

$\mu_{qQcell2} := 0.0033$     $\sigma_{qQcell2} := 0.00033$    Givna data från steg1 Fördelningsanalys

$$N_{qQcell2} := \text{morm}(2200, \mu_{qQcell2}, \sigma_{qQcell2})$$

$$N_{sqQcell2} := \text{sort}(N_{qQcell2}) \quad P_{qQcell2_j} := \frac{j}{1+n}$$

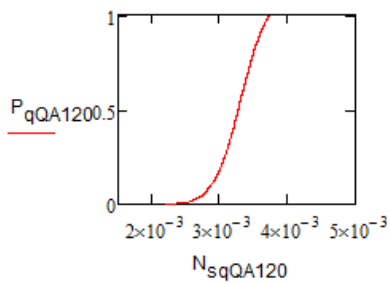


### Andel kassationer ( $q_{QA120}$ )

$\mu_{qQA120} := 0.0033$     $\sigma_{qQA120} := 0.00033$    Givna data från steg1 Fördelningsanalys

$$N_{qQA120} := \text{morm}(2200, \mu_{qQA120}, \sigma_{qQA120})$$

$$N_{sqQA120} := \text{sort}(N_{qQA120}) \quad P_{qQA120_j} := \frac{j}{1+n}$$



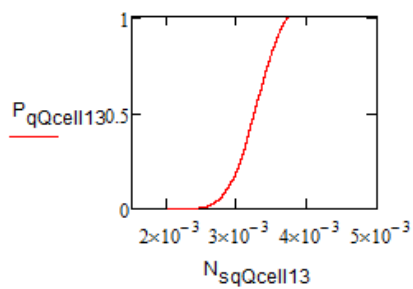
---

### Andel kassationer ( $q_{Qcell13}$ )

$\mu_{qQcell13} := 0.0033$     $\sigma_{qQcell13} := 0.00033$    Givna data från steg1 Fördelningsanalys

$N_{qQcell13} := \text{morm}(2200, \mu_{qQcell13}, \sigma_{qQcell13})$

$N_{sqQcell13} := \text{sort}(N_{qQcell13})$     $P_{qQcell13_j} := \frac{j}{1+n}$

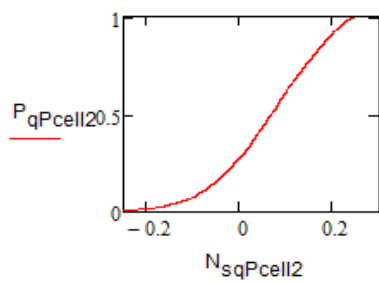


### Relativ taktförlust ( $q_{Pcell2}$ )

$\mu_{qPcell2} := 0.0789$     $\sigma_{qPcell2} := 0.1227$    Givna data från steg1 Fördelningsanalys

$N_{qPcell2} := \text{morm}(2200, \mu_{qPcell2}, \sigma_{qPcell2})$

$N_{sqPcell2} := \text{sort}(N_{qPcell2})$     $P_{qPcell2_j} := \frac{j}{1+n}$





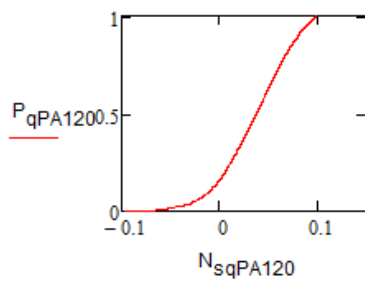
---

### Relativ taktförlust ( $q_{PA120}$ )

$\mu_{qPA120} := 0.0432$      $\sigma_{qPA120} := 0.0398$     Givna data från steg1 Fördelningsanalys

$$N_{qPA120} := \text{norm}(2200, \mu_{qPA120}, \sigma_{qPA120})$$

$$N_{sqPA120} := \text{sort}(N_{qPA120}) \quad P_{qPA120_j} := \frac{j}{1+n}$$

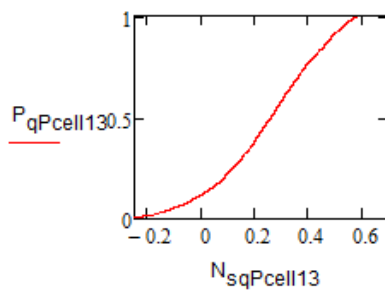


### Relativ taktförlust ( $q_{Pcell13}$ )

$\mu_{qPcell13} := 0.2898$      $\sigma_{qPcell13} := 0.2264$     Givna data från steg1 Fördelningsanalys

$$N_{qPcell13} := \text{norm}(2200, \mu_{qPcell13}, \sigma_{qPcell13})$$

$$N_{sqPcell13} := \text{sort}(N_{qPcell13}) \quad P_{qPcell13_j} := \frac{j}{1+n}$$



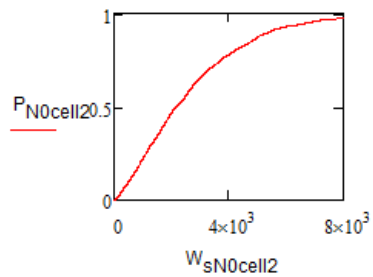
---

### Batchstorlek ( $N_{0cell2}$ )

$\alpha_{N0cell2} := 1.3237$     $\beta_{N0cell2} := 2929.1$    Givna data från steg1 Fördelningsanalys

$$W_{N0cell2j} := \beta_{N0cell2} \cdot (-\ln(1 - u_{j+6}))^{\frac{1}{\alpha_{N0cell2}}}$$

$$W_{sN0cell2} := \text{sort}(W_{N0cell2}) \quad P_{N0cell2j} := \frac{j}{1+n}$$

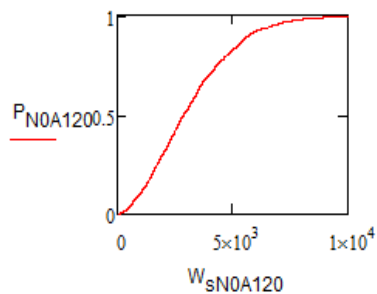


### Batchstorlek ( $N_{0A120}$ )

$\alpha_{N0A120} := 1.7445$     $\beta_{N0A120} := 3617$    Givna data från steg1 Fördelningsanalys

$$W_{N0A120j} := \beta_{N0A120} \cdot (-\ln(1 - u_{j+7}))^{\frac{1}{\alpha_{N0A120}}}$$

$$W_{sN0A120} := \text{sort}(W_{N0A120}) \quad P_{N0A120j} := \frac{j}{1+n}$$



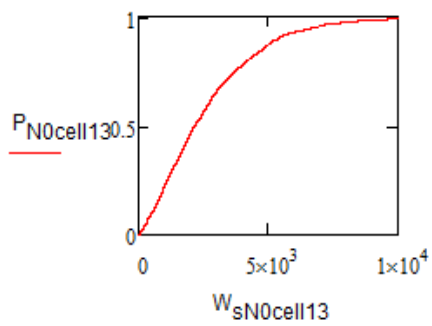
---

### Batchstorlek ( $N_{0\text{cell}13}$ )

$\alpha_{N0\text{cell}13} := 1.3237$     $\beta_{N0\text{cell}13} := 2929.1$    Givna data från steg1 Fördelningsanalys

$$W_{N0\text{cell}13_j} := \beta_{N0\text{cell}13} \cdot (-\ln(1 - u_{j+8}))^{\frac{1}{\alpha_{N0\text{cell}13}}}$$

$$W_{sN0\text{cell}13} := \text{sort}(W_{N0\text{cell}13}) \quad P_{N0\text{cell}13_j} := \frac{j}{1+n}$$



---

### Indata

$k_B := 30.74$	Materialkostnad
$k_H := 9.4$	Kostnad för härdning per detalj
$t_{0cell2} := \frac{72.4}{60}$	Cykeltid per detalj i cell1
$t_{0A120} := \frac{47.8}{60}$	Cykeltid per detalj i A120
$t_{0cell13} := \frac{66.3}{60}$	Cykeltid per detalj i cell13
$k_{Pcp}cell2 := 797$	Kostnad under drift för cell1
$k_{Pcp}A120 := 494$	Kostnad under drift för A120
$k_{Pcp}cell13 := 777$	Kostnad under drift för cell13
$k_{Pcs}cell2 := 712$	Kostnad vid stillestånd för cell1
$k_{Pcs}A120 := 436$	Kostnad vid stillestånd för A120
$k_{Pcs}cell13 := 663$	Kostnad vid stillestånd för cell13
$k_{D}cell2 := 379.5$	Lönekostnad vid stillestånd för cell1
$k_{D}A120 := 138$	Lönekostnad vid stillestånd för A120
$k_{D}cell13 := 241.5$	Lönekostnad vid stillestånd för cell13

**Kostnadsekvationen (k) produktion**

$$k_{PBcell12j} := \frac{k_B}{W_{N0cell12j}} \left[ \frac{W_{N0cell12j}}{(1 - N_{qQcell12j})} \right] + \frac{k_{p_{cp}cell12}}{60 \cdot W_{N0cell12j}} \frac{t_{0cell12} \cdot W_{N0cell12j}}{(1 - N_{qQcell12j})(1 - N_{qPcell12j})} \dots$$

$$+ \frac{k_{p_{cs}cell12}}{60 \cdot W_{N0cell12j}} \left[ \frac{t_{0cell12} \cdot W_{N0cell12j}}{(1 - N_{qQcell12j})(1 - N_{qPcell12j})} \cdot \frac{W_{qScell12j}}{(1 - W_{qScell12j})} + W_{Tsu}cell12j \right] \dots$$

$$+ \frac{k_{Dcell12}}{60 \cdot W_{N0cell12j}} \left[ \frac{t_{0cell12} \cdot W_{N0cell12j}}{(1 - N_{qQcell12j})(1 - W_{qScell12j})(1 - N_{qPcell12j})} + W_{Tsu}cell12j \right]$$

$$k_{PBA120j} := \frac{(k_{PBcell12j} + k_H)}{W_{N0A120j}} \left[ \frac{W_{N0A120j}}{(1 - N_{qQA120j})} \right] \dots$$

$$+ \frac{k_{p_{cp}A120}}{60 \cdot W_{N0A120j}} \left[ \frac{t_{0A120} \cdot W_{N0A120j}}{(1 - N_{qQA120j})(1 - N_{qPA120j})} \right] \dots$$

$$+ \frac{k_{p_{cs}A120}}{60 \cdot W_{N0A120j}} \left[ \frac{t_{0A120} \cdot W_{N0A120j}}{(1 - N_{qQA120j})(1 - N_{qPA120j})} \cdot \frac{W_{qSA120j}}{(1 - W_{qSA120j})} + W_{Tsu}A120j \right] \dots$$

$$+ \frac{k_{DA120}}{60 \cdot W_{N0A120j}} \left[ \frac{t_{0A120} \cdot W_{N0A120j}}{(1 - N_{qQA120j})(1 - W_{qSA120j})(1 - N_{qPA120j})} + W_{Tsu}A120j \right]$$

$$k_{pj} := \frac{k_{PBA120j}}{W_{N0cell113j}} \left[ \frac{W_{N0cell113j}}{(1 - N_{qQcell113j})} \right] \dots$$

$$+ \frac{k_{p_{cp}cell113}}{60 \cdot W_{N0cell113j}} \left[ \frac{t_{0cell113} \cdot W_{N0cell113j}}{(1 - N_{qQcell113j})(1 - N_{qPcell113j})} \right] \dots$$

$$+ \frac{k_{p_{cs}cell113}}{60 \cdot W_{N0cell113j}} \left[ \frac{t_{0cell113} \cdot W_{N0cell113j}}{(1 - N_{qQcell113j})(1 - N_{qPcell113j})} \cdot \frac{W_{qScell113j}}{(1 - W_{qScell113j})} + W_{Tsu}cell113j \right] \dots$$

$$+ \frac{k_{Dcell113}}{60 \cdot W_{N0cell113j}} \left[ \frac{t_{0cell113} \cdot W_{N0cell113j}}{(1 - N_{qQcell113j})(1 - W_{qScell113j})(1 - N_{qPcell113j})} + W_{Tsu}cell113j \right]$$

---

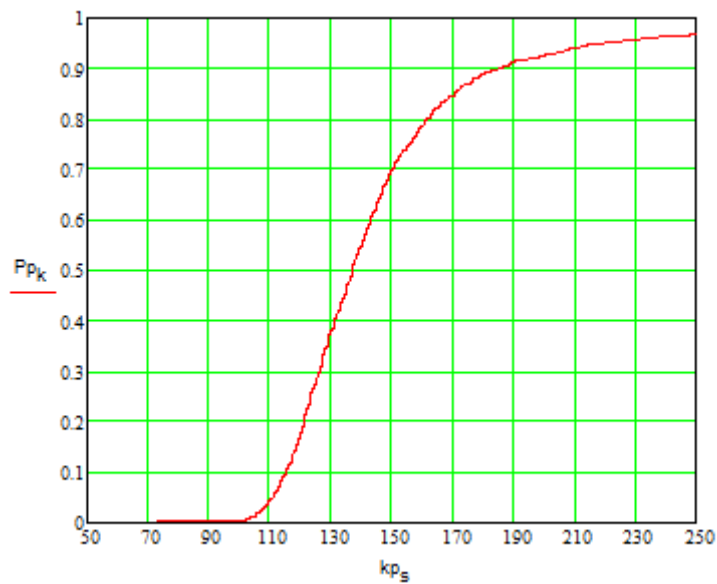
```

kp_max := 1000  kp_min := 0
kp_x := for i ∈ 0..last(kp)
    if kp_i < kp_max  if kp_i > kp_min
        Local_k ← kp_i
        k ← k + 1
    Local

```

```
kp_s := sort(kp_x)
```

$$Pp_k := \frac{j}{1 + \text{last}(kp_x)}$$



## Bilaga B

### Steg 1(exempelvis cell1)

	enhet
$k_b$ (kostnad för smidesgods)	45.34 kr
$k_{CP}$ (kostnad för maskin under drift)	579 kr/tim
$k_{CS}$ (kostnad för maskin under stillestånd)	465 kr/tim
$k_D$ (lönekostnad)	379.5 kr/tim
$N_0$ (batchstorlek)	3639 antal
$t_0$ (cykeltid)	1.2083 min
$T_{su}$	441.6 min
$q_Q$ (kassationsandel)	0.0169 -
$q_B$ (materialspillfaktor, utgå)	- -
$q_P$ (taktförlust, utgå p.g.a. av $t_0$ =genomsnittlig cykeltid)	- -
$q_S$ (stilleståndsandel)	0.228255 -

### Tillverkningskostnad steg 1

$$k_{steg1} = \frac{k_b}{N_0} \left[ \frac{N_0}{(1-q_Q)(1-q_B)} \right]_b + \frac{k_{CP}}{60N_0} \left[ \frac{t_0 N_0}{(1-q_Q)(1-q_P)} \right]_{c1} + \frac{k_{CS}}{60N_0} \left[ \frac{t_0 N_0}{(1-q_Q)(1-q_S)(1-q_P)} + T_{su} \right]_{c2} + \frac{k_D}{60N_0} \left[ \frac{t_0 N_0}{(1-q_Q)(1-q_S)(1-q_P)} + T_{su} \right]_d$$

= 72.6

**Steg 2 (exempelvis Cell20)**

**enhet**

$k_{h\ddot{a}rd}$	7.2 kr
$k_{steg1}$ (kostnad för smidesgods)	72.6 kr
$k_{CP}$ (kostnad för maskin under drift)	369 kr/tim
$k_{CS}$ (kostnad för maskin under stillestånd)	312 kr/tim
$k_D$ (lönekostnad)	138 kr/tim
$N_0$ (batchstorlek)	7500 antal
$t_0$ (cykeltid)	0.6517 min
$T_{su}$	168.6 min
$q_Q$ (kassationsandel)	0.0169 -
$q_B$ (materialspillfaktor, utgår)	- -
$q_P$ (taktförlust, utgår p.g.a. av $t_0$ =genomsnittlig cykeltid)	- -
$q_S$ (stilleståndsandel)	0.1614 -

**Tillverkningskostnad steg 2**

$$k_{steg2} = \frac{k_{steg1}}{N_0} \left[ \frac{N_0}{(1-q_Q)(1-q_B)} \right]_b + \frac{k_{CP}}{60N_0} \left[ \frac{t_0 N_0}{(1-q_Q)(1-q_P)} \right]_{c1} + \frac{k_{CS}}{60N_0} \left[ \frac{t_0 N_0}{(1-q_Q)(1-q_S)(1-q_P)} + T_{su} \right]_{c2} + \frac{k_D}{60N_0} \left[ \frac{t_0 N_0}{(1-q_Q)(1-q_S)(1-q_P)} + T_{su} \right]_d$$

= 87.8



<b>Steg 3 (exempelvis cell13)</b>	<b>enhet</b>
$k_{steg2}$ (kostnad för produkt efter steg2)	87.8 kr
$k_{cp}$ (kostnad för maskin under drift)	777 kr/tim
$k_{cs}$ (kostnad för maskin under stillestånd)	663 kr/tim
$k_D$ (lönekostnad)	241.5 kr/tim
$N_0$ (batchstorlek)	4339 antal
$t_0$ (cykeltid)	1.11 min
$T_{su}$	276 min
$q_Q$ (kassationsandel)	0.0169 -
$q_B$ (materialspillfaktor, utgång)	- -
$q_P$ (taktförlust, utgång p.g.a. av $t_0$ =genomsnittlig cykeltid)	- -
$q_S$ (stilleståndsandel)	0.089437 -

### Tillverkningskostnad steg 3

$$k_{steg3} = \frac{k_{steg2}}{N_0} \left[ \frac{N_0}{(1-q_Q)(1-q_B)} \right]_b + \frac{k_{CP}}{60N_0} \left[ \frac{t_0 N_0}{(1-q_Q)(1-q_P)} \right]_{c1} + \frac{k_{CS}}{60N_0} \left[ \frac{t_0 N_0}{(1-q_Q)(1-q_S)(1-q_P)} + T_{su} \right]_{c2} + \frac{k_D}{60N_0} \left[ \frac{t_0 N_0}{(1-q_Q)(1-q_S)(1-q_P)} + T_{su} \right]_d$$

= 111