



Analys av kostnader vid tillverkning av
mässingskomponenter med olika mängd
blytillsatser.

Industriell produktion
Lunds Tekniska Högskola
2015

MAGNUS
RASMUSSEN

STEFAN
SJÖSTRAND

© Copyright Magnus Rasmusson, Stefan Sjöstrand

Lunds Tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

LTH School of Engineering
Lund University
Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2015

Sammanfattning

Det här examensarbetet är ett delprojekt av ett forskningsprojekt som drivs av Markaryds Metallamatur AB (MMA), avdelningen industriell produktion vid Lunds Tekniska Högskola, Chalmers Tekniska Högskola, Högskolan i Halmstad och Oerlikon Balzers Sandvik Coating AB. Forskningsprojektet omfattar forskning kring materialegenskaper, bearbetning och kostnadsanalys av mässingssammansättningar med framförallt olika blyinnehåll. Den del som studeras i det här arbetet är kostnadsanalysen med de tre mässingssammansättningarna; konventionell mässing (<4 viktprocent bly), lågblyad mässing (<0.2 viktprocent bly) och blyfritt (<0.05 viktprocent bly).

I arbetet genomfördes en dynamisk kostnadsanalys mellan de olika sammansättningarna hos MMA, för att sedan användas som beslutsunderlag samt bidra med en ekonomisk aspekt till det större forskningsprojektet "Lead free brass" sponsrat av Mistra. Analysen utfördes på två olika detaljer som båda finns i företagets nya termostat. Den ena detaljen är en kopplingsmutter som tillverkas i lågblyad mässing i en nyinvesterad maskin och den andra detaljen är en hylsa, som tillverkas i konventionell mässing och Ecobrass i en äldre maskin.

Tillverkningskostnaden beräknas med hjälp av en Monte Carlo-simulering av en modifierad version av Jan-Eric Ståhls kostnadsmodell. I kostnadsmodellen delas tillverkningskostnaden upp i följande olika kostnadstermer; verktygskostnad, materialkostnad, maskinkostnad, lönekostnad för maskinbearbetning, ytbehandling och tvättning. Nödvändig information har samlats in genom intervjuer och dokumentation från företaget.

Tillverkningskostnaden, bortsett från vissa kostnader, för kopplingsmuttern i lågblyat material är 2.58 kr och för hylsan är den 1.62 kr i konventionell mässing och 2.64 kr i Ecobrass. Det har visat sig att inköpskostnaden av materialet har stor kostnadspåverkan på detaljerna. Materialkostnaden ligger mellan 59 och 63 % av den totala kostnaden. 70 % av skillnaden i tillverkningskostnaden för hylsan beror på inköpskostnaden av materialet. Känslighetsanalyser visar att det är en robust analys.

En övergripande jämförelse för MTW hylsan över maskintimkostnaden för olika grundinvesteringskostnader, livslängd, samt renoveringar visar på att det blyfria alternativet är ca 70-80 procent dyrare per detalj på grund av ökad cykeltid och ökade stillestånd. Däremot kan man se att en ökning av grundinvesteringskostnaden på 166 procent medför en förändring på ca 10-11 procent av detaljkostnaden i slutändan vid en tänkt livslängd på 10-20 år medan det medför en detaljkostnadsökning på cirka åtta procent vid en tänkt livslängd på 20-40 år, vilket är mer likt verkligheten.

Mer jobb borde läggas på att pressa inköpspriser av materialen, genom avtal med underleverantörer, större orderstorlekar och intensivare sökning av billigaste leverantörerna. Eventuellt kan företaget även utveckla ett sätt att återanvända spånorna. Ur en miljö- och hälsoaspekt föreslås att lågblyad mässing är materialet företaget ska satsa på. Det blyfria materialet är svårbehandlat med dagens skärverktyg och kunskap, dessutom har det en för hög materialkostnad i dagsläget. Marginalnyttan av skillnaderna mellan blyfri och lågblyad mässing anses vara för liten för att motivera det miljövänligaste alternativet utifrån beaktande av marknad och kundvärde.

Nyckelord: Dynamisk kostnadsanalys, mässing, bly, Monte Carlo

Abstract

This master thesis is a subproject of a research project run by Markaryds Metallamatur AB (MMA), the department industrial production at Lunds Technical University, Chalmers Technical University, The University at Halmstad and Oerlikon Balzers Sandvik Coating AB. The research project includes research about material properties, machining and a cost analysis of different brass compositions, primarily of different lead contents. The part that is going to be analyzed in this project is the cost analyze with the three different brass compositions; conventional brass (<4 weight % lead), brass with low lead content (<0.2 weight % lead) and lead free brass (<0.05 weight % lead).

In this project a dynamic cost simulation was done, between the details with various lead compositions for the company MMA. This could later support in decision-making and contribute to an economic aspect to the larger research project. The analysis was performed on two different details that are both in the company's new thermostat. One of the details is a coupling nut that is manufactured in low lead brass in the new invested machine and the other part is a socket, which is manufactured in conventional brass and Ecobrass in an older machine.

The manufacturing cost is calculated using a Monte Carlo simulation of a modified version of Jan-Eric Ståhl's cost model. In the cost model, the manufacturing cost is divided up into the following different terms; tool cost, material cost, cost for the machine, labor cost for machining, surface treatment and washing. The necessary information was collected through interviews and documentation from the company.

The manufacturing cost for the connecting nut in low lead brass is 2.58 SEK and for the socket it is 1.62 SEK in conventional brass and 2.64 SEK for the one made of Ecobrass. It has shown that the purchasing price of the material have a great influence for all the details. The price of the material is between 59 to 63 percent of the total cost. 70 percent of the difference between the manufacturing costs for the socket depends on the purchase price of the material. Sensitivity analysis has shown that this is a solid analysis.

A general comparison for the MTW socket has been done over the hourly machine cost for various investment cost, expected lifetime and renovations. This shows that the lead free alternative is about 70-80 percent more expensive per part due to increased cycle time and increased downtime. However, one can see that an increase of the initial investment cost of 166 percent result in a change of approximately 10-11 percent of the retail cost in the end, at an expected lifetime of 10-20 years, while it presents a detailed cost increase of about 8 percent at an expected lifetime of 20-40 years, which is more like reality.

More work should be put at minimizing the purchase price of the material, through contracts with the suppliers, larger order quantities and a more intensive search of the cheapest supplier. Maybe it is possible for the company to develop a way to reuse the chips. From an environmental and health aspect it is purposed that the company puts their focus on the low lead brass material. The Ecobrass material is difficult to work with using today's cutting tools and knowledge, furthermore the material cost is too high today. The marginal benefit of the difference between lead free brass and low lead brass is considered to be too small to justify the even more environmental friendly option.

Keywords: dynamic cost analysis, brass, lead, Monte Carlo

Förord

Examensarbetet är utfört under hösten 2015 på avdelningen Industriell Produktion vid Lunds Tekniska Högskola, i samarbete med AB Markaryds Metallarmatur. En dynamisk kostnadsanalys har genomförts av komponenter med olika mässingssammansättningar.

Vi vill börja med att Tacka alla medverkande från MMAs personal, utan ER kunskap och hjälpsamhet hade det inte varit möjligt att genomföra projektet.

Vi vill även rikta ett speciellt tack till följande personer för att alltid har varit närvarande, hjälpsamma och väglett oss genom hela arbetet.

- **Jan-Eric Ståhl** – Professor, LTH
- **Fredrik Schultheiss** – Biträdande universitetslektor, LTH
- **Kent Nilsson** – Produktionschef, MMA.

TACK!

Lund
Januari 2016

Magnus Rasmusson och Stefan Sjöstrand

Innehållsförteckning

Sammanfattning	III
Abstract	IV
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Beskrivning av termostaten och detaljerna	2
1.3.1 Termostat – EvoSense	2
1.3.2 Kopplingsmutter	3
1.3.3 Hylsa	9
1.4 Avgränsningar och antaganden	13
1.4.1 Avgränsningar	13
1.4.2 Antaganden	13
1.5 Material	14
1.5.1 Mässing	14
1.5.1.1 Konventionell mässing (CW614N)	14
1.5.1.2 Lågblyad (CW510L)	14
1.5.1.3 Blyfritt (CW724R)	15
1.5.2 Bly	15
1.6 Företagsbeskrivning – AB Markaryds Metallarmatur	16
1.6.1 Organisation och ekonomi	16
1.6.2 Produktionssortiment och kärnkompetens	18
1.6.3 Miljö och kvalitet	18
1.7 Maskiner	20
1.7.1 Den nya maskinen – Buffoli Trans-bar 613	20
1.7.2 Den konventionella maskinen – Index MS25E	21
2 Teori	22
2.1 Tillverkningskostnad	22
2.2 Fördelningsfunktioner	26
2.2.1 Normalfördelning	26
2.2.2 Weibull.....	28
2.3 Maximum likelihood-skattning	30
2.4 Monter Carlo-simulering	30
2.4.1 Grundläggande information	30
2.4.2 Historia	30
2.4.3 Framtagning av enklare fördelningsfunktioner	31
3 Metodik	32
3.1 Bestämna fördelningsfunktion	33
3.1.1 Empirisk data.....	33
3.1.2 Intervjuer	33

3.2 Program	36
3.3 Felkällor och åtgärder	36
3.3.1 Felkällor	36
3.3.2 Känslighetsanalyser	37
3.3.3 Monte Carlo	37
4 Resultat	38
4.1 Kopplingsmutter	38
4.2 Hylsa	41
4.2.1 Ecobrass	41
4.2.2 Konventionell mässing	43
4.3 Maskinkostnader vid olika fall av MTW hylsan	45
5 Analys	50
6 Diskussion	53
7 Slutsats	56
8 Vidare studier	57
9 Referenser	58
9.1 Litteratur	58
9.2 Elektronisk	58
9.3 Artiklar, årsredovisningar och nerladdade dokument	59
9.4 Intervjuer	60
10 Bilaga	61
10.1 Indata till MTW hylsa, konventionell mässing	61
10.1.1 Data som används av flera kostnadstermer.....	61
10.1.2 Verktygskostnad	61
10.1.3 Materialkostnad.....	61
10.1.4 Maskinkostnad	62
10.1.5 Lönekostnad	62
10.1.6 Tvättning och ytbehandling	62
10.1.7 Seriestorlek	63
10.2 Indata till MTW hylsa, Ecobrass	64
10.2.1 Data som används av flera kostnadstermer.....	64
10.2.2 Verktygskostnad	64
10.2.3 Materialkostnad.....	65
10.2.4 Maskinkostnad	65
10.2.5 Lönekostnad	65
10.2.6 Tvättning och ytbehandling	66
10.2.7 Seriestorlek	66
10.3 Indata till kopplingsmutter, Lågblead mässing	67
10.3.1 Data som används av flera kostnadstermer.....	67
10.3.2 Verktygskostnad	67
10.3.3 Materialkostnad.....	68

10.3.4 Maskinkostnad	68
10.3.5 Lönekostnad	68
10.3.6 Tvättning och ytbehandling.....	69
10.3.7 Seriestorlek	69
10.4 Kostnadsjämförelser för lön och maskinkostnader för kopplingsmuttern.....	69
10.5 Kostnadsfördelning för komponenterna exklusive material.	73

Figurnummering

Figur 1 – Olika delar av termostaten EvoSense	2
Figur 3 – Bild på en back som används i den nya maskinen.....	4
Figur 6 – Exempel på hylsor[3].....	9
Figur 7 – Hylsa	9
Figur 8 – Visar ett urval av de verktygen som används för att tillverka hylsan.....	10
Figur 9 – Verktygens bearbetningsoperationer illustrerade på hylsan.....	10
Figur 10 – Visar händelseförloppet i maskinen vid tillverkning av hylsan.....	11
Figur 14 - Visar svenska blyutsläpp mellan 1990 och 2013 [13].....	16
Figur 16 - Visar exempel av produkter som finns i MMAs sortiment. Till vänster visas tre flexibla radiatorkoppel och till höger visas begränsningsventilen VVC 20 [17][18].	18
Figur 17 - Ger en överblick över MMAs produktsortiment genom att dela upp produkterna i produktgrupperingar och deras undergrupper [15].	19
Figur 18 – Visar hur stor sannolikhet de olika utfallen hamnar inom 1,2 och 3 standardavvikelser från väntevärdet för en normalfördelning. [24].....	27
Figur 19 – Visar hur standardavvikelsen (sigma) påverkar kurvans utseende.....	27
Figur 20 - Illustrerar grafiskt hur kurvans utformning hos en Weibullfördelning påverkas av formparametern.	29
Figur 21 - Illustrerar grafiskt hur kurvans utformning hos en Weibullfördelning påverkas av skalningsparametern.	29
Figur 22 - Täthetsfunktion för en symmetrisk (normalfördelning, blå kurva) samt asymmetrisk (Weibullfördelning, röd kurva)[21]	31
Figur 24 - Visar metodiken för att bestämma fördelningsfunktion till kostnadsekvationens variabler.[21]	35
Figur 25 – Kopplingsmutterns tillverkningskostnad	39
Figur 26 – Kostnadsfördelningen för kopplingsmuttern.	39
Figur 27 – MTW hylsans tillverkningskostnads, Ecobrass	41
Figur 28 – Kostnadsfördelning för MTW hylsan, Ecobrass	42
Figur 29 – Tillverkningskostnad MTW hylsan, konventionell mässing.	43
Figur 30 – Kostnadsfördelningen för MTW hylsan, konventionell mässing.....	44
Figur 31 – Kostnadsskillnader mellan konventionell mässing och Ecobrass för MTW hylsan.	51
Figur 32 – Kostnadsfördelning av skillnaden mellan hylsans kostnader i Ecobrass och konventionell mässing.....	52

Tabellnumrering

Tabell 1 - Beskriver hur kurvans utformning hos en normalfördelning påverkas av väntevärde och standardavvikelse.	26
Tabell 2 - Beskriver hur kurvans utformning hos en Weibullfördelning påverkas av form- och skalningsparametern.	28
Tabell 3 – De enskilda kostnaderna för kopplingsmuttern, lågblyat.	38
Tabell 4 – Känslighetsanalys för kopplingsmuttern.	40
Tabell 5 – De enskilda kostnaderna för hylsan, Ecobrass.	41
Tabell 6 – Känslighetsanalys för MTW hylsan, Ecobrass.	42
Tabell 7 – De enskilda kostnaderna för hylsan, konventionell mässing.	43
Tabell 8 – Känslighetsanalys för MTW hylsan, konventionell mässing.	44
Tabell 9 – Nedanstående tabeller visar 8 stycken fall med skillnader på indata. Övriga parametrar är samma som innan och kan hittas i bilagorna.	45
Tabell 10 – Ökning av parametrar för konventionell bearbetning mot blyfri bearbetning vid olika investeringar.	49
Tabell 11 – Visar den totala procentuella ökningen av detaljkostnaden vid jämförande av samma material men olika investeringskostnader.	49

Ekvationsnumrering

Ekvation 1 – Utvidgad och modifierad kostnadsmodell [21].	23
Ekvation 2 – Materialkostnaden. [21]	23
Ekvation 3 – Materialspill. [21]	23
Ekvation 4 – Totalt antal tillverkade i en batch. [21]	23
Ekvation 5 – Maskintimkostnad under tillverkning. [21].	24
Ekvation 6 – Maskintimkostnad vid stillestånd. [21].	24
Ekvation 7 – Annuitetsfaktorn. [21].	24
Ekvation 8 – Timkostnad för en arbetare vid 80 procent effektivitet. [21].	24
Ekvation 9 – Total produktionstid. [21]	24
Ekvation 10 – Beläggningsgraden. [21]	25
Ekvation 11 – Beläggningsgraden. [21]	25
Ekvation 12 – Beläggningsgrad. [21].	25
Ekvation 13 – Normalfördelnings densitetsfunktion. [23].	26
Ekvation 14 – Weibulls-fördelningens densitetsfunktion. [25].	28

Symbollista

Nedan visas en lista med samtliga variabler, parametrar och konstanter som används i rapporten.

Bet.	Beskrivning	Enhet
k_i	Kostnad för detalj j	Kr/st
k_{Ah}	Verktygskostnaden för verktyg h , $h=0 \rightarrow z$	Kr/st
z	Antal verktyg	Styck
k_{A1}	Verktygskostnad för hylsan per detalj	Kr/st
k_{A2}	Verktygskostnad för muttern per detalj	Kr/st
k_b	Materialkostnaden (inkl. Materialspill) per detalj	Kr/st
k_M	Materialkostnad per kilogram	Kr/kg
k_{CS}	Maskinkostnad vid stillestånd och omställning	Kr/h
k_{CP}	Maskinkostnad vid produktion	Kr/h
k_D	Lönekostnad	Kr/h
K_0	Grundinvesteringen	Kr
k_{ren}	Nuvarande renoveringskostnader i förhållande till K_0	Procentandel
I	Kostnad för tvättning	Kr/st
T_{pb}	Produktionstiden för en batch	Min
T_{plan}	Planerad produktionstid	h
T_{su}	Ställtid (omställningstid)	Min
T_{suv}	Verkligen ställtid (omställningstid)	Min
n_{pa}	Antal serier, batcher knutna till ett specifikt verktyg	-
N_0	Nominell seriestorlek	Styck
q_Q	Andel kassationer	Procentandel
q_s	Andel produktionsstillestånd	Procentandel
q_B	Andelen kasserat material per detalj	Procentandel
x_p	Utvecklingsfaktor – cykeltiden	Faktorandel
x_{su}	Utvecklingsfaktor – omställningstid	Faktorandel
κ_c	Kostnadsfaktor för maskinkostnaden	Faktorandel
κ_D	Kostnadsfaktor för lönekostnaden	Faktorandel
t_0	Nominell cykeltid per detalj	Minuter
U_{RP}	Utnyttjandegrad	Procentandel
p	Kalkylränta	Procent
k_{Mh}	Planerad underhållskostnad per timme	Kr/h
h_{PM}	Antal timmar innan nästa underhåll	h
k_{ph}	Rörliga maskintimkostnaden under drift	Kr/h
N_{ren}	Antal renoveringar, utöver planerat underhåll, under n år	Styck
n	Antal år maskinen ska användas	år
k_y	Kostnad för avdelningens lokalyta/kvm	Kr/kvm
Y	Lokalyta	kvm
V_{spill}	Volym av spill vid tillverkning av en detalj	Kg
V_{tot}	Totala vikten av detaljen innan bearbetning	Kg
V_{det}	Vikt detalj	Kg
r	Returpris	Kr/kg
a	Annuitetsfaktorn	-

1 Inledning

Det här inledande kapitlet ger en överblick över hela projektet. Kapitalet börjar med att ge en bakgrund med generell information om projektet. Vidare i kapitlet beskrivs syfte, beskrivning av detaljerna som skall kostnadsanalyseras, termostaten, avgränsningar, samt ges en kort företagspresentation av MMA. Slutligen ges grundläggande information om de maskiner som används för tillverkning av komponenterna.

1.1 Bakgrund

Det här projektet är ett delprojekt av ett större forskningsprojekt som drivs av AB Markaryds Metallamatur (MMA), avdelningen Industriell Produktion vid Lunds Tekniska Högskola, Chalmers Tekniska Högskola, Högskolan i Halmstad och Oerlikon Balzers Sandvik Coating AB. Forskningsprojektet omfattar forskning kring materialegenskaper, bearbetning och kostnadsanalys av olika mässingsammansättningar med framförallt olika blyinnehåll. Den del som studeras i det här projektet är kostnadsanalysen av de tre olika sammansättningarna som står nedan. En mer detaljerad information om respektive material beskrivs senare i kapitlet.

- Konventionell mässing – Mässing med <4 viktprocent blyinnehåll.
- Lågblyad mässing – Mässing med <0.2 viktprocent blyinnehåll.
- Blyfritt – Mässing med <0.05 viktprocent blyinnehåll.

Motivet för att undersöka hur kostnaderna skiljer sig i tillverkning av mässingskomponenter med olika blyinnehåll grundar sig i att bly är både hälsoskadligt för människan och dåligt för miljön. Dessutom finns numera EU-regler om att blyinnehåll inte får överstiga 0.1 procent av vikten i till exempel elektrisk och elektronisk utrustning. Kopparlegeringar (mässing) är ett undantag och får innehålla upp till 4 procent bly, men det finns en risk att undantaget upphävs i framtiden på grund av striktare miljökrav [31]. En ökad miljöhänsyn från företag kan vara ett försäljningsargument, vilket kan leda till en positiv utveckling för företags produktförsäljning samt ge företaget ett försprång i kunskap och erfarenhet gentemot konkurrenter om kraven på blyinnehåll blir mer strikta i framtiden.

De två komponenterna som ska kostnadsanalyseras är MTW hylsan och en kopplingsmutter (M28) till MMAs nya termostat EvoSense. Det kommer även utföras beräkningar på en mängd olika fall som jämför maskinkostnaderna för en av maskinerna mellan blyfritt och konventionell mässing.

1.2 Syfte

Syftet med det här projektet är att genomföra en dynamisk ekonomisk kostnadsanalys mellan utvalda mässingskomponenter i en termostat, för att kunna undersöka hur blyinnehållet i mässingen påverkar tillverkningskostnaden. Detta ska sedan användas som underlag till företag vid beslut om övergången från konventionell mässing till lågblyad mässing och blyfritt. Projektet ska även bidra med en ekonomisk aspekt till ett större forskningsprojekt som arbetar med mässingsammansättningar med olika blyinnehåll.

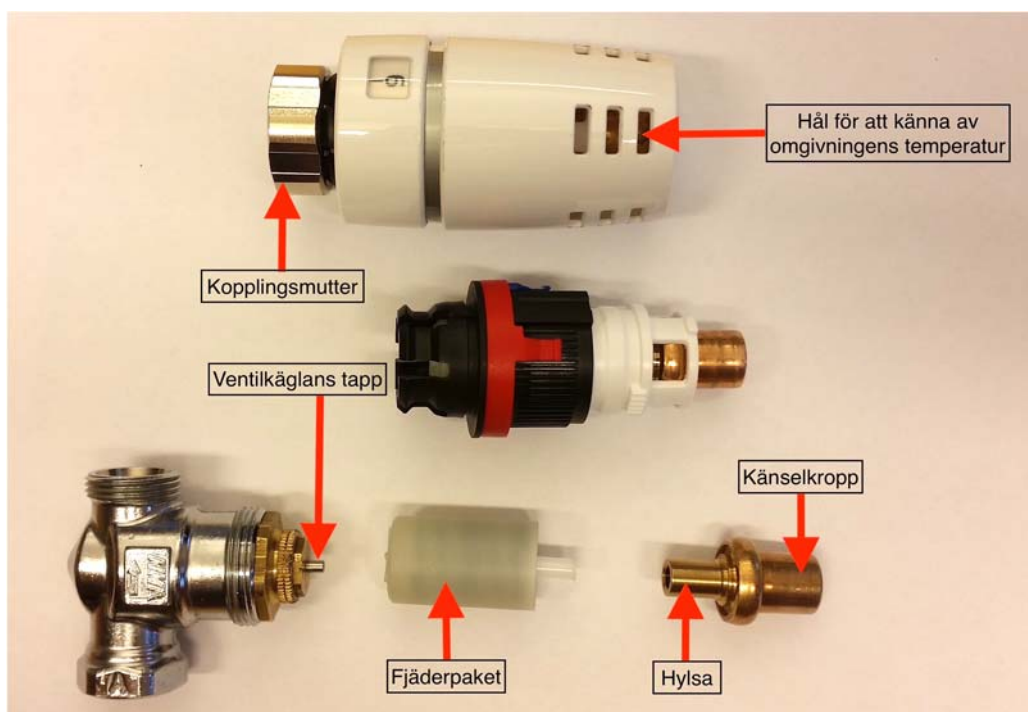
1.3 Beskrivning av termostaten och detaljerna

I följande avsnitt beskrivs termostaten, hylsan och kopplingsmuttern mer i detalj. Detta görs för att få en överblick över vilka detaljer det är som studeras i projektet.

1.3.1 Termostat – EvoSense

Den termostat som delarna till det här projektet behandlar, ingår i den nya moderna termostaten EvoSense. Termostaten har flera smarta funktioner såsom en låssprint, vilket förkortar installationstiden avsevärt. Låssprinten gör att EvoSense termostaten kan vara monterad under driftsättning och balansering av systemet. EvoSense har även en inbyggd temperaturbegränsare, vilket medför att mycket energi kan sparas genom att begränsa den högsta temperaturen på elementet. En grads skillnad motsvarar mellan 6-8 procents skillnad i energiförbrukning. [1]

Det som gör att termostaten kan reagera på olika temperaturer och justera flödet i elementet därefter är vax. Vax har en fast form vid 20°C, men genom olika blandningar kan man ge vaxet egenskaper med önskad reaktion för olika applikationer. En behållare fylls med vax och sammanfogas därefter med hylsan, vilket tillsammans bildar termostatsens känselkropp. Det är känselkroppen som reagerar på omgivningens temperatur genom att vaxet antingen krymper eller expanderar. Expansionen genererar ett tryck på upp till 100 bar. I hylsan sitter en gummikon, som skiljs av från vaxet i behållaren med hjälp av en gummibricka. Ovanför konen sitter en teflonbricka som är ett utträngningsskydd för gummikonen. Expansionen av vaxmediet överför kraften, via gummikonen, till ett fjäderpaket. Detta överför ett maxtryck på 8 bar till ventilkäglans tapp, som därmed reglerar flödet i elementet. Figur 1 visar de olika delarna i termostaten vilka står beskrivna ovan.



Figur 1 – Olika delar av termostaten EvoSense

EvoSense-termostaten har ett regleringsintervall mellan 0-28°C och inställningen kan göras ned till en noggrannhet på $\pm 0.5^\circ\text{C}$. Reaktions tiden på värmen/kylan är 25 minuter. Anledningen till den långa reaktionstiden är att skapa en viss tröghet i systemet, vilket gör att termostaten inte överreagerar vid temperaturförändringar. Till exempel när det är kallt ute och ett fönster eller dörr öppnas. Vaxsensorer används idag inom många olika applikationer, bland annat inom bil-, flyg- och VVS-industrin. [2][3]

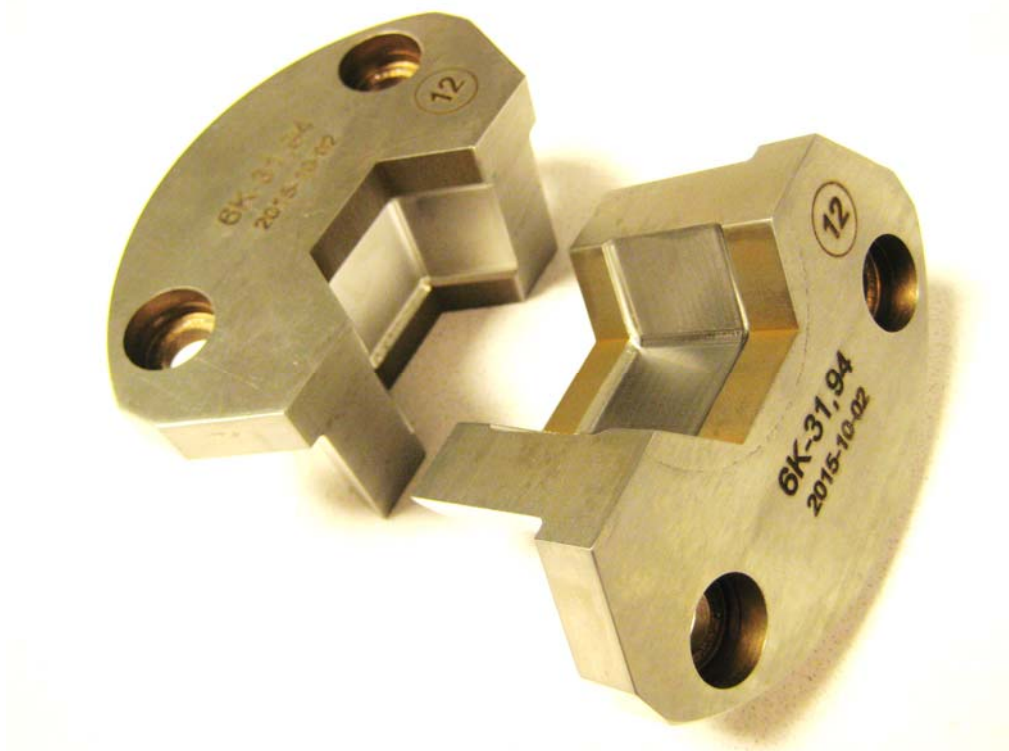
1.3.2 Kopplingsmutter

Kopplingsmuttern tillverkas både i vanlig och lågblyad mässing och tillverkas i MMAs nya maskin från Buffoli. När maskinbearbetningen är klar genomförs en tvättning av detaljen, för att därefter skickas iväg på förnickling. Anledningen till att den förnicklas är endast av estetiska skäl, då den sitter synligt på termostaten. Kopplingsmutterns funktion är att fästa termostaten på elementet. MMA tillverkar kopplingsmuttern i olika storlekar, den storleken som har undersökts i det här projektet är M28.



Figur 2 – Kopplingsmuttern, M28

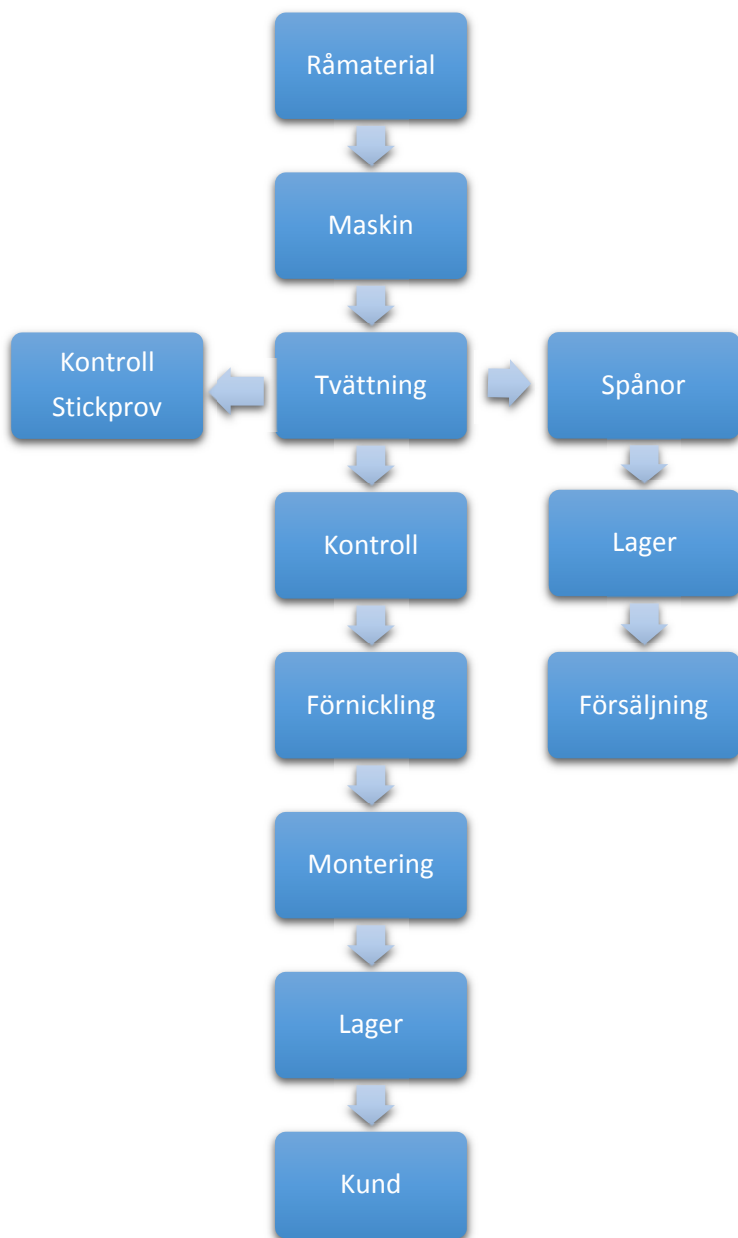
Kopplingsmuttern tillverkas genom bearbetning av en profilstång, som är ihålig och som redan har en färdig ytterprofil. Genom att de redan har en ihålig stång med färdig ytterprofil minskas bearbetningsbehovet och materialspillet från tillverkningen. Bearbetningen av kopplingsmuttern i maskinen sker genom 11 förädlingssteg, vilket framgår i Figur 4. Under bearbetningen är alla förädlingsstegen aktiva samtidigt på varsin detalj. Det leder till en kort cykeltid på 3.5 sekunder. Figur 5 visar hela flödet från råmaterial till kund för kopplingsmuttern. För att kunna hålla kopplingsmuttern stadigt under bearbetningen har företaget själva gjort specialbackar till sin nya maskin. En av backarna visas i Figur 3.



Figur 3 – Bild på en back som används i den nya maskinen.



Figur 4 - *Visar händelseförloppet i maskinen vid tillverkning av kopplingsmuttern.*



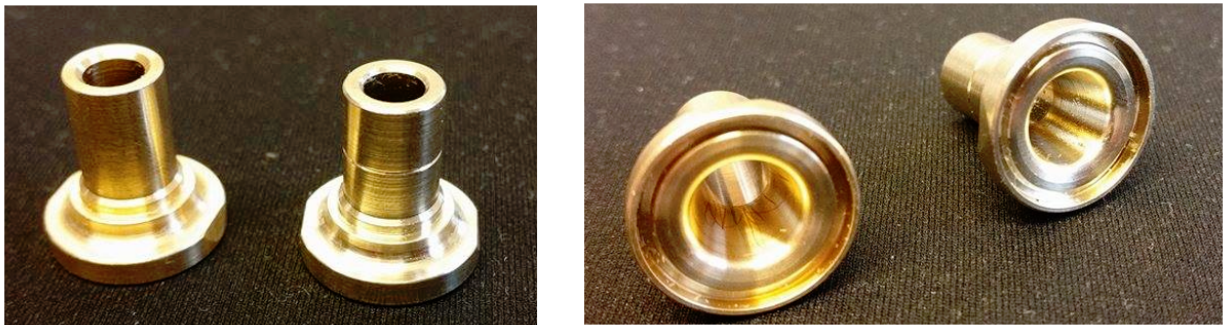
Figur 5 - *Överblick över hur flödet för tillverkningen av kopplingsmuttern ser ut.*

1.3.3 Hylsa



Figur 6 – Exempel på hylsor. [3]

Som beskrivets i ovanstående stycke om termostaten, så utgör hylsan en del i känselkroppen till termostaten. Beroende på applikationsområde kan känselkroppen ha olika utformning, vilket kan ses i Figur 6. Markeringen som kan ses på ”halsen” av hylsan i Figur 7 är en markering från företagets sida och visar att detaljen är tillverkad av blyfri mässing och den utan markering är tillverkad av vanlig konventionell mässing.



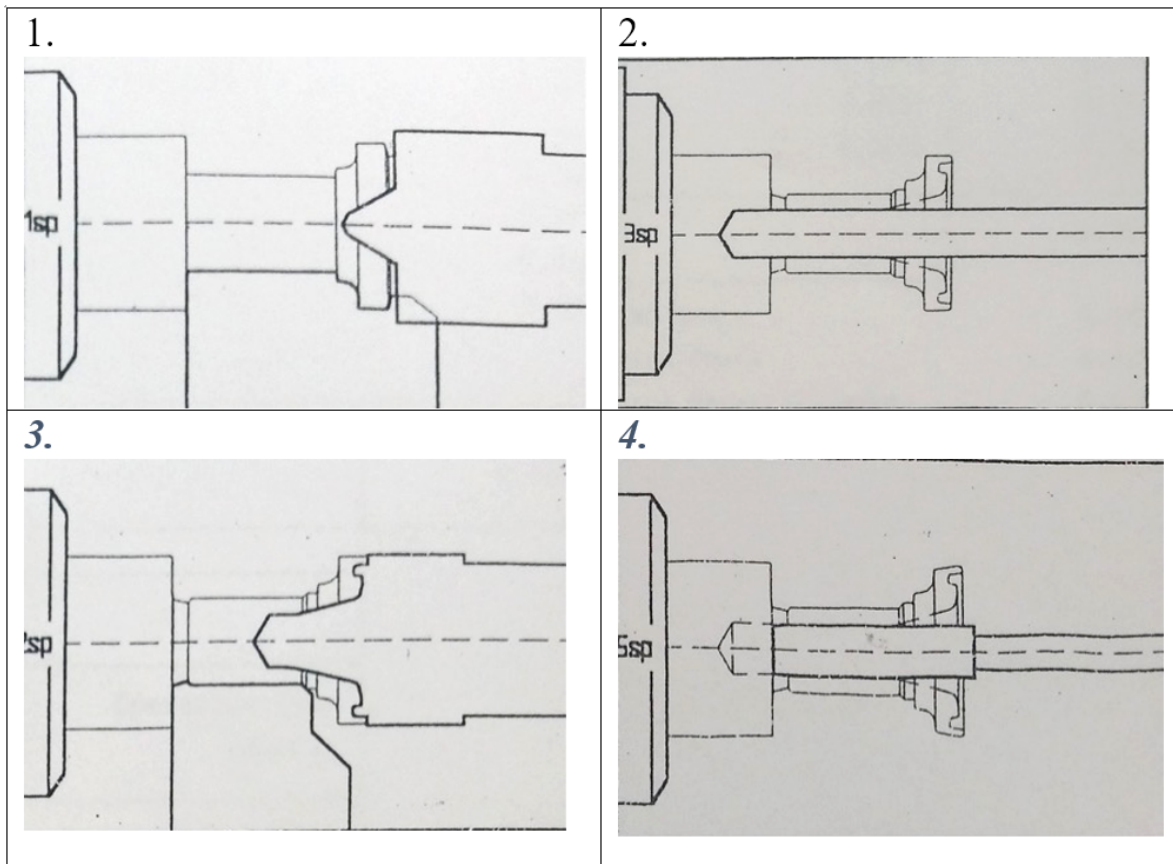
Figur 7 – Hylsa

Vissa av verktygen, som används för att tillverka den här detaljen visas i Figur 8. De två verktygen till vänster kallas formstål och används för att svarva ytterprofilen till hylsan. De följande fyra verktygens bearbetningsoperationer finns illustrerade i Figur 9. Verktyget längst till höger används för att skapa avfasningen på innersidan av hålet på hylsans smala del. Hårdmetallen i verktygen har mycket inbyggda spänningar, det leder till att de lätt kan gå sönder om de utsätts för ett slag eller ett hårdare parti vid bearbetning av det blyfria materialet. Haverierna sker spontant och kan inte förutses. Ibland håller hårdmetallverktygen väldigt länge, medan de andra gånger havererar verktygen efter bara några minuter. Hela kronologiska händelseförloppet vid tillverkningen av hylsan i maskinen kan ses i Figur 10.

Figur 11 visar flödesschemat för hylsan. Pilarna mellan ”montering, vaxfyllning” och ”lager”, illustrerar att denna detalj hamnar i mellanlager, samt monteras ihop med vaxbehållaren innan den är helt färdig för att monteras in i termostaten.



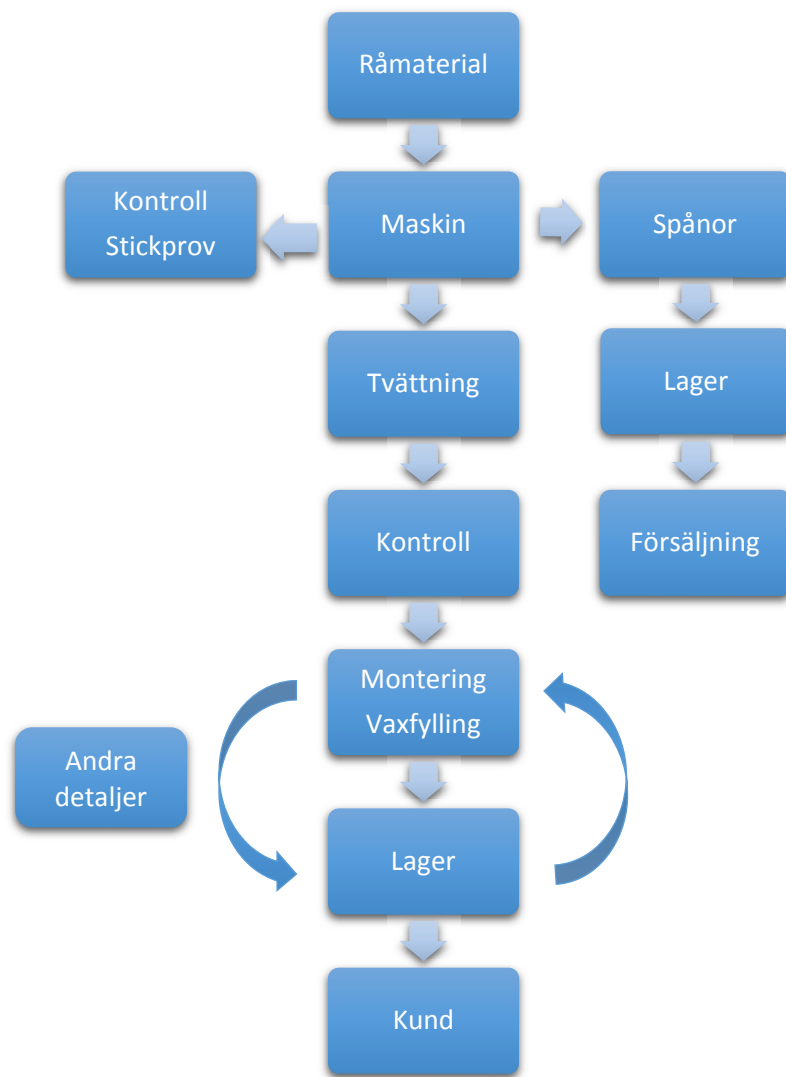
Figur 8 – Visar ett urval av de verktygen som används för att tillverka hylsan.



Figur 9 – Verktygens bearbetningsoperationer illustrerade på hylsan.



Figur 10 – Visar händelseförloppet i maskinen vid tillverkning av hylsan.



Figur 11 - Flödesschema över hylsan.

1.4 Avgränsningar och antaganden

Det här avsnittet beskriver projektets avgränsningar och de antaganden som har gjorts.

1.4.1 Avgränsningar

Projektet är begränsat till att undersöka två olika komponenter i termostaten EvoSense. Komponenterna tillverkas med hjälp av två olika maskiner på MMA och med hjälp av en dynamisk kostnadsanalys jämförs kostnaderna för respektive komponent med olika mässingssammansättningar.

På grund av begränsningar med företagets nuvarande tillverkning, då de inte tillverkar komponenterna i fler material eller maskiner, har tillverkningskostnaden av komponenterna endast kunnat beräknas i vissa fall. Kopplingsmuttern har kunnat beräknas med lågblyad mässing i den nya maskinen, medan hylsan har kunnat beräknas med Ecobrass och konventionell mässing i den konventionella maskinen.

Vissa delar av tillverkningskostnaden har utelämnats på grund av begränsat inflytande på kostanden eller på grund av att de är likvärdiga för de komponenter som jämförs, vilket medför att de inte bidrar med något värde till analyserna. Följande delar har utelämnats:

- Kostnaden för att avskilja oljan från mässingsspånorna innan försäljning av materialspletet. Kostnaden är inte försumbar, men eftersom alla olika mässingssammansättningar hanteras på liknande sätt och materialspletet är lika för respektive detalj blir kostnaderna därför ekvivalenta.
- Kostnaden för kontrolltiden, eftersom den anses vara lika för samma typ av detalj.
- Lager och hanteringskostnader anses också vara försumbara, på grund av detaljernas storlek. De hanteras även på liknande sätt för detaljerna som skall jämföras.
- Utvecklingskostnaderna för produkterna. Den här kostnaden utesluts dels för att samma komponenter, med olika mässingssammansättning, har i stort sätt lika stora utvecklingskostnader, men även för att termostaten antas vara i bruk under lång tid och säljas i stora kvantiteter.

Maskintimkostnader för maskiner som används till verktygs- och baktillverkning eller kostanden för tvättning och ytbehandling har tagits direkt från företagets ekonomiavdelning och deras metoder för att genomföra uträkningar kan skiljas från hur metoderna som hade använts av författarna av den här rapporten. Skillnaderna kan anses vara försumbara.

1.4.2 Antaganden

Antagandet görs att inköpspriserna och försäljningspriserna förhandlas kontinuerligt, för att försöka hållas så låga som möjligt av företaget. Kassationerna som hade kunnat minskas genom mer frekventa kontroller, underhåll eller genom en förändring av cykeltiden har inte speciellt hög förbättringspotential.

Det har även antagits att beläggningsgraden är 100 procent och att taktförlusten är noll, trots att den nya maskinen i dagsläget endast tillverkar två detaljer. Det beror på att maskinen är ny och företaget har som målsättning att så snart som möjligt få en 100 procentig beläggning, då backar är tillverkade och personal utbildad.

1.5 Material

Det här avsnittet ger en överblick av vad mässing är för typ av material och ger en mer detaljerad insikt av blyinnehållet i de olika mässingssammansättningarna. Går även in en mer detaljerad nivå angående blyets påverkan inom miljö och hälsa.

1.5.1 Mässing

Mässing är en kopparlegering som har sitt ursprung i Turkiet och Syrien och har funnits bland oss i tusentals år. Materialet skapades för första gången av misstag 3000 år f.Kr. under tillverkning av brons, på grund av att zink ibland misstogs som tenn vilket medförde ett omedvetet skapande av en mässinglegering bestående av koppar, zink och tenn. Det var inte förrän runt år noll som människan medvetet skapade mässing, kunskapen spred sig runt om i världen och användes i början till bland annat mynttillverkning. [5][6]

Idag finns det många olika sammansättningar av mässing. Legeringen består till 55-95 procent av koppar och innehåller upp till 40 procent zink. Kristallstrukturen i legeringen är antingen centrerad eller rymdcentrerad. De olika strukturerna påverkar egenskaperna hos materialet. Den centrerade kristallstrukturen, även kallad alfa-struktur, ger materialet en hög hållfasthet och ett bra korrosionsmotstånd. Medan den rymdcentrerade kristallstrukturen, även kallad beta-struktur har, tillsammans med tillsatssämen, en hög hållfasthet och slitstyrka.[5]

Utöver huvudgrundämnet koppar, kan mässing bestå av flera olika metaller, som var för sig ger legeringen specifika egenskaper. Till exempel medför en hög zinkhalt att mässingen blir hårdare och mer slitstark, till en bekostnad av minskat korrosionsmotstånd. Bly är en annan metall som ofta tillsätts i mässing, för att underlätta den skärande bearbetningen av mässingdetaljer. Inom EU är det lagligt att ha upp till 4 procent bly i mässingdetaljer [31]. Bly är en hälso- och miljöskadlig tungmetall. Andra metaller som ofta används i mässing är nickel, aluminium, järn, tenn, mangan, kisel och fosfor. [6]

Mässingen har idag många olika användningsområden. Det används till exempel i el-komponenter, då det har en bra ledningsförmåga och inom VVS-industrin för korrosionsmotståndet.

1.5.1.1 Konventionell mässing (CW614N)

Den konventionella mässingen har den kemiska beteckningen $\text{CuZn}_{39}\text{Pb}_3$ och består av 57,5 procent koppar, 3,3 procent bly och resterande andel zink. Det är ett bra material för bearbetning och lämpar sig för varmpressning, då smidda delar bearbetas utförligt därefter. Den är också ganska motståndskraftig mot organiska ämnen, samt neutrala eller alkaliska föreningar. [7]

1.5.1.2 Lågblyad (CW510L)

Den lågblyade mässingen har den kemiska beteckningen CuZn_{42} och består av 57-59 procent koppar, mindre än; 0,2 procent bly, 0,3 procent tenn, 0,3 procent järn, 0,02 procent Nickel och 0,2 procent av övriga metaller. Resterande andel består av zink. [8]

1.5.1.3 Blyfritt (CW724R)

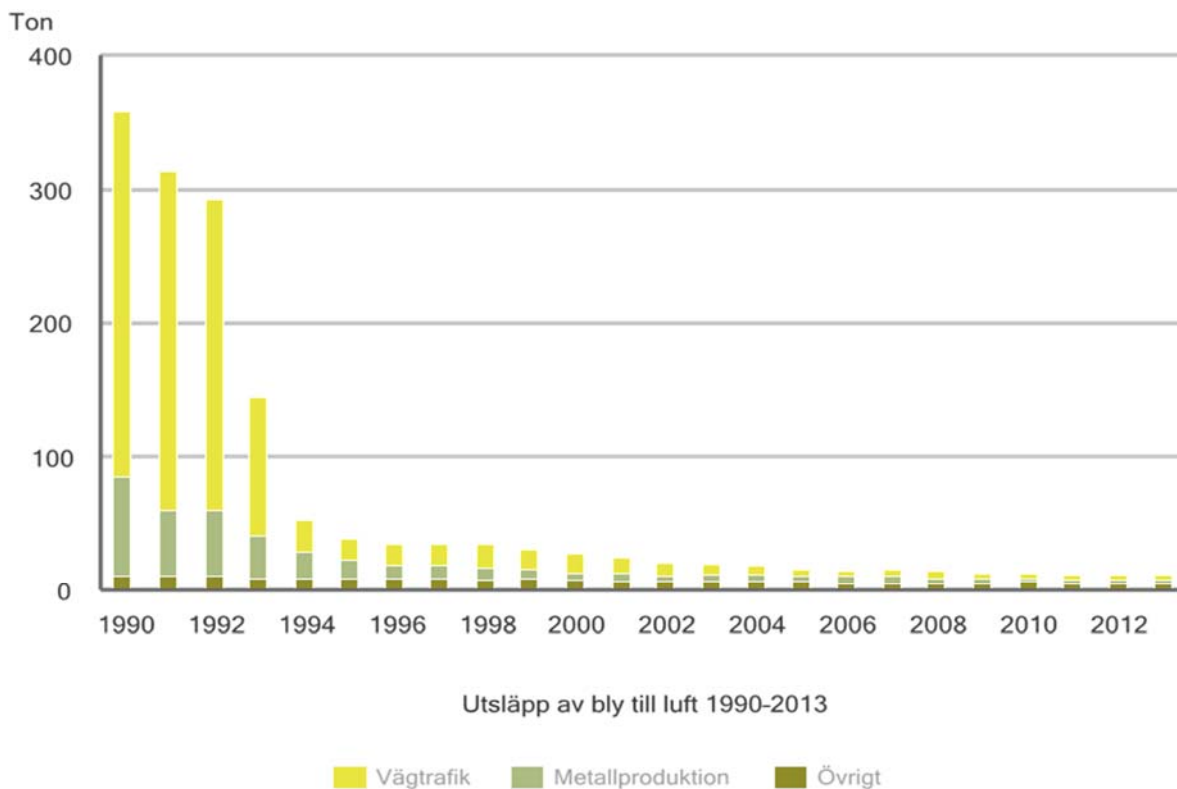
Ecobress är en variant av blyfri mässing och har den kemiska beteckningen CuZn21Si3P och innehåller 76 procent koppar, 3 procent kisel, 0,09 procent bly och resten består av zink. Så kallad blyfri mässing, vilket endast innehåller föroreningar av bly, tål hög belastning och uppvisar gott korrosionsmotstånd på grund av legeringstillsatserna. Legeringen lämpar sig för bearbetade och smidda detaljer. Tillsatsen av kisel ökar motståndet mot anlöpning och minskar risken för spänningskorrosion. [9]

1.5.2 Bly

Bly är en tungmetall som är en viktig del i mässingen vid skärade bearbetning. Blyet fungerar som ett smörjmedel och underlättar därmed bearbetningen av mässingkomponenter. Blyinnehållet i mässing brukar vara runt 3-4 procent och uppfyller därför EU:s regelverk.

Det största problemet med bly är materialets negativa hälso- och miljöpåverkan. Blyet bryts inte ner naturligt och tidigare generationer har använt sig av stora mängder bly, som fortfarande ligger och förorenar vattendrag, sjöar och hav. Vattenlevande organismer tar stor skada av en ökad mängd bly i ekosystemet, eftersom det skadar nervsystemen hos djuren även vid låga halter.[10] Människor tar också skada av blyet. Akut blyförgiftning kan leda till bland annat yrsel, kramp, koma och i mer extrema tillfällen även till dödsfall. Även mindre halter av bly över längre tid kan ge negativa hälsoeffekter, speciellt på barn, då de är känsligare och lättare kommer i kontakt med bly. Det skadar framförallt hjärnan och nervsystemet. Det kan till exempel leda till hyperaktivitet, huvudvärk, förlorad hörsel och utveckling av psykologiska funktionshinder hos barn. [11]

Under senare årtionden har kunskapsnivån om blyets negativa konsekvenser ökat och därmed har användningen av bly minskat kraftigt. Det illustreras i Figur 12. Ett annat exempel på det här är att barn mellan 1-5 år i USA där kontakten med en farlig mängd bly har minskat från 88.2 procent år 1980 till 1.6 procent år 2002 [12]. De drastiska minskningarna beror framförallt på införandet av den blyfria bensinen och att dagens målarfärger har blivit blyfria.



Figur 12 - Visar svenska blyutsläpp mellan 1990 och 2013 [13].

Källa: Naturvårdsverket

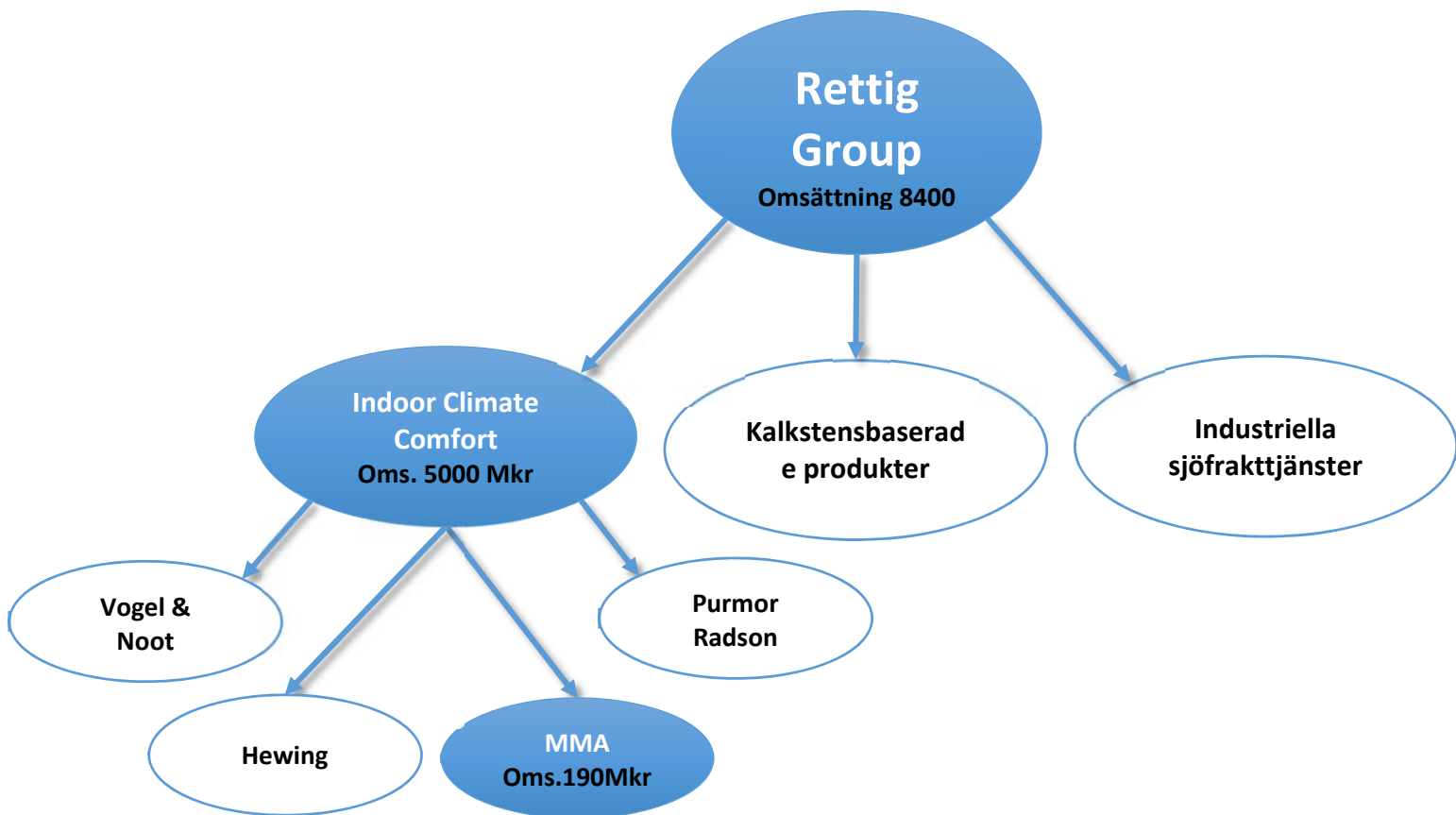
1.6 Företagsbeskrivning – AB Markaryds Metallarmatur

Här är en kort företagsbeskrivning av företaget MMA. I första avsnittet 1.6.1 presenteras lite grundläggande information om deras ekonomiska ställning och hur deras organisation är uppbyggd. För att sedan i nästa avsnitt 1.6.2 ge en inblick i produktsortimentet som MMA kan erbjuda sina kunder och inom vilka områden företaget har sin kärnkompetens. Slutligen i avsnitt 1.6.3 beskrivs hur MMA jobbar med miljö och kvalitetsfrågor och vilka certifikat de har tilldelats.

1.6.1 Organisation och ekonomi

Markaryds Metallarmatur AB, även kallat MMA bildades 1950 och är idag ett mellanstort svenskt företag med ungefär 130 anställda. De har en nettoomsättning på knappa 200 miljoner kronor och har under de senaste åren gått med vinst på cirka 15 miljoner kronor årligen. Deras vision och målsättning är att optimera inomhusklimatet, för att minska energiförbrukningen i världen.[14]

Företaget är del av en stor familjeägd finsk koncern vid namn Rettig Group. Figur 13 ger en grov överblick över Rettig Groups organisation. Med hänsyn till nettoomsättningen utgör MMA endast dryga två procent av den totala koncernen.



Figur 13 - Ger en överblick över Rettig Groups organisationsstruktur och visar MMAs placering i organisationen.[14][15][16].

1.6.2 Produktionssortiment och kärnkompetens

MMA har sin verksamhet inom flödesteknik och arbetar både med värme- och kylsystem. Deras produkter finns i nästan 70 procent av alla svenska hem och gör de därmed marknadsledande inom sitt område i Sverige. Deras fyra största kompetensområden är följande.

- Vax-teknologi och termiska sensorer.
- Varmpressning av mässing.
- Komplexa och högtoleranta konstruktioner skapade genom skärande bearbetning.
- Klimatkontroll i inomhusmiljöer.

Deras produktsortiment är uppdelat i tre grupper HVDC, Balance och Wmotion. Figur 14 visar två produkter från deras sortiment och Figur 15 ger ett flödesschema som illustrerar produktgrupperna och vilka undergrupper som finns inom varje produktgrupp.

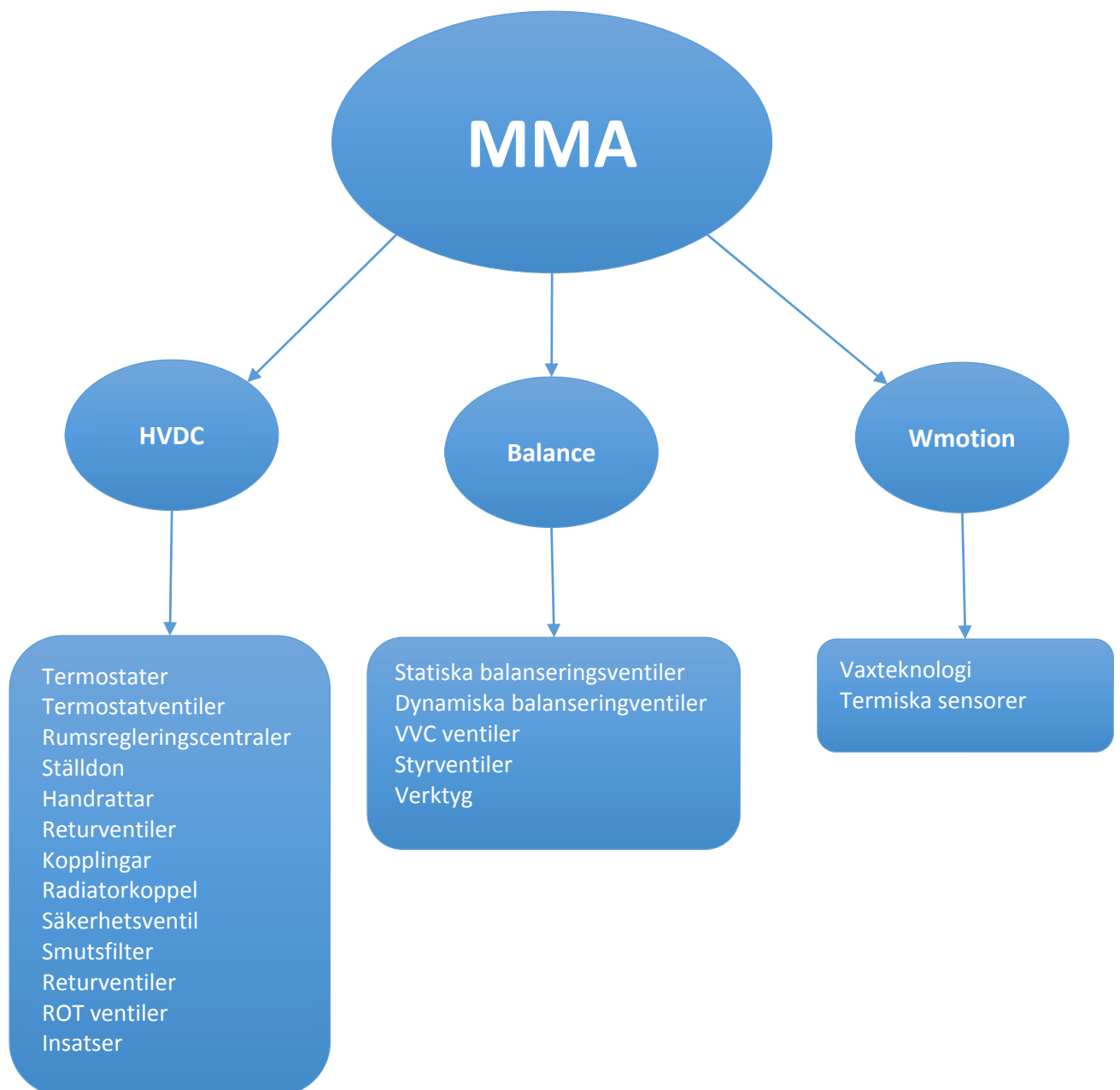


Figur 14 - Visar exempel av produkter som finns i MMAs sortiment. Till vänster visas tre flexibla radiatorkoppel och till höger visas begränsningsventilen VVC 20 [17][18].

1.6.3 Miljö och kvalitet

Enligt MMA själva jobbar de kontinuerligt med miljö- och kvalitetskrav inom hela organisationen. Deras certifikat är ett bevis på det.

MMA har sedan 1998 jobbat enligt miljöriktlinjerna ISO 14001 och ligger i nuläget med marginal mot kravgränserna. Under 2014 certifierades de även med miljöintyget OH SAS 18001. Den största skillnaden mellan intygen är att ISO 14001 riktar sig mot extern miljöpåverkan, medan OH SAS 18001 inriktar sig mer på intern hälsopåverkan och även att de anställda jobbar i en säker arbetsmiljö [19]. Inom kvalitetssidan arbetar de med hög leveranssäkerhet och bra kvalitet. Till följd av det har de tillgodosetts med certifikatet ISO 9001.[20]



Figur 15 - Ger en överblick över MMA:s produktsortiment genom att dela upp produkterna i produktgrupperingar och deras undergrupper [15].

1.7 Maskiner

MMA har ett stort antal maskiner, som används vid tillverkning av deras produkter. Många av deras maskiner har varit med sedan 70-talet och håller på att bytas ut. De två maskiner, som huvudsakligen används för tillverkning av hylsan och kopplingsmuttern är en helt nyinvesterad italiensk maskin från företaget Buffoli och en äldre maskin från 1989.

Andra maskiner som används vid tillverkningen är maskiner för tvättning, verktygsslipning, verktygstillverkning och spåncentrifugering. Dessa maskiner kommer inte att undersökas i samma utsträckning trots att de är kopplade till kostnader för både hylsan och kopplingsmuttern. Anledningen till detta är att dessa maskiner kommer att stå för en likvärdig kostnadsökning, om man hade lagt till dessa kostnader till detaljerna. Detta medför således inte någon relevant information då det är en jämförelse mellan likadana detaljer som ska utföras.

1.7.1 Den nya maskinen – Buffoli Trans-bar 613

Maskinen från Buffoli, vilken kan ses i Figur 16, införskaffades 2015 för att uppgradera företagets maskinpark. Detta gjordes så att maskiner från 70-talet kunde bytas ut och möjliggöra en effektivare tillverkning av flertalet komponenter. Maskinen är specialbeställd efter företagets specifikationer. I dagsläget (2015-11-03) har endast två komponenter börjat tillverkas i den här maskinen, men med tiden kommer antalet tillverkade komponenter att öka. Begränsningarna i dagsläget är utbildning av personal och framförallt att backarna till alla komponenter inte är färdiga än. Målet är att maskinen ska ha full beläggningsgrad (3-skift) inom snar framtid.



Figur 16 – Den nya maskinen: Buffoli Trans-bar 613.

Kopplingsmuttern är en av de detaljer, som tillverkas med hjälp av den nya maskinen. Maskinen har fördelen att utan större problem bearbeta i både konventionell och lågblyad mässing. Det är möjligt då tvättningen av maskinen, för att kunna arbeta med olika

mässingssammansättningar, sker automatiskt på ungefär en kvart och att oljan är uppdelad i två separata tankar beroende på vilken typ av mässing som ska bearbetas. Innan har denna tvättning gjorts manuellt i de konventionella maskinerna, vilket innebar flera timmars städande, för att kunna växla mellan bearbetning från ett material till ett annat. För att underlätta för läsaren refereras den här maskinen till ”den nya maskinen”.

1.7.2 Den konventionella maskinen – Index MS25E

Den äldre maskinen tillverkar ett 20-tal olika komponenter, en av dessa är MTW hylsan. Hylsan tillverkas både i Ecobross och konventionell mässing. Maskinen är från 1989 och refereras i den här rapporten som ”den konventionella maskinen”. En bild på maskinen kan ses i Figur 17.



Figur 17 – *Den konventionella maskinen: Index MS25E.*

Det är viktigt att poängtera att den konventionella maskinen inte är byggd för att bearbeta hårdare mässingsmaterial som till exempel Ecobross. Det innebär att maskinen inte har tillräcklig stabilitet, vilket medför att vibrationer under bearbetningen ökar. Detta leder i sin tur till en ökad verktygsförslitning och en sämre yt-kvalitet. Den ökade verktygsförslitningen innebär högre stillestånd i form av både planerade och oplanerade stopp. En annan brist med den äldre maskinen är avsaknaden av att kunna reglera matningshastigheten vid olika diametrar under en pågående process, vilket leder till en att bearbetningsoperationen inte blir optimal och cykeltiden ökar.

2 Teori

Teoridelen ger en inblick över vilka formler och simuleringar som har varit aktuella i det här projektet och hur de är uppbyggda. Först visas en modifierad version av Jan-Eric Ståhls kostnadsekvation följt av en mer detaljerad beskrivning av de olika delarna i ekvationen [21]. Därefter beskrivs fördelningsfunktionerna, som har använts vid beräkningarna och slutligen ges grundläggande information om Monte Carlo-simuleringar.

2.1 Tillverkningskostnad

Tillverkningskostnaden för en produkt eller detalj kan beräknas enligt olika kostnadsmodeller. Det kan skilja sig mellan olika företag, men det är viktigt att använda samma kostnadsmodell vid en jämförelse mellan olika typer av detaljer.

Kostnadsberäkningarna kan till exempel användas som beslutsunderlag vid offertförfrågan eller för att få en bild av vad produkten kostar företaget att tillverka. Tillverkningskostnaden kan även vara bra att veta inom företaget, då det är fördelaktigt att kunna identifiera vilka kostnadsposter, som har stor inverkan och sedan basera sina beslut med hjälp av informationen.

I detta projekt har Jan-Eric Ståhls utvidgade kostnadsmodell använts som grund. Fördelarna med denna kostnadsmodell är att den är väldigt överskådlig och ger möjligheten att lokalisera kostnaderna till olika kostnadsområden. Det är fördelaktigt vid analys av kostnaderna eller för att få en blick över hur kostnadsfördelningen ser ut. Utformningen av modellen gör även att den är enkel att förstå. Nackdelen med formeln är att den är väldigt detaljerad och omfattande, vilket medför att det kan bli väldigt tidskrävande och svårt att samla in all data som krävs om det saknas underlag.

Kostnadsmodellen som visas i Ekvation 1 är en modifierad version av Jan-Erics utvidgade kostnadsekvation [21]. Nedan följer en kort beskrivning av kostnadsekvationen och de ingående parametrarna. En sammanfattad symbollista över alla olika parametrar och dess betydelse finns på sida XI och XII.

$$k_i = \frac{1}{N_0} \sum_{h=1}^z \left[\frac{k_{Ah}}{n_{pa_h}} \right]_a + \left[\frac{k_B}{N_0} \right]_b + \frac{\kappa_c * k_{CP}}{N_0} \left[\frac{x_p t_0 N_0}{1 - q_Q} \right]_{c1} + \frac{\kappa_C k_{CS}}{N_0} * \left[\frac{x_p t_0 N_0}{1 - q_Q} * \frac{q_s}{1 - q_s} + x_{su} T_{su} + \frac{1 - U_{RP}}{U_{RP}} T_{pb} \right]_{c2} + \frac{\kappa_D k_D}{N_0} * \left[\frac{x_p t_0 N_0}{1 - q_Q} \left(1 + \frac{q_s}{1 - q_s} \right) + x_{su} T_{su} + \frac{1 - U_{RP}}{U_{RP}} T_{pb} \right]_d$$

Ekvation 1 – Utvidgad och modifierad kostnadsmodell [21]

Kostnadsterm: Index a – Är den första termen i ekvationen och den refererar till verktygskostnaden för en hel batch. Summan betyder att verktygen ackumuleras med avseende på deras livslängd och kostnaden för respektive verktyg. Där z är antalet verktyg som används för den specifika detaljen. k_{A_h} står för den enskilda verktygskostnaden och n_{pa_h} står för antal serier, batcher knutna till ett specifikt verktyg.

Kostnadsterm: Index b – Beskriver materialkostnaden med hänsyn tagen till kasserade detaljer och spillmaterial i form av spån. Det är många faktorer som påverkar materialkostnaden som till exempel materialspill, kassationer, inköpskostnad och försäljningsintäkt från spillmaterial. Nedan visas Ekvation 2, Ekvation 3 och Ekvation 4 hur kostnadstermen beräknas. Första delen av ekvation 2 tar med kostnaden för alla detaljer som krävs för att producera N_0 antal detaljer inklusive de som kasseras och andelen kasserat material per detalj. Andra och tredje delen i ekvationen tar hänsyn till pengar som fås tillbaka vid försäljning av de kasserade detaljerna och spånorna.

$$k_B = \frac{N_0 * v_{det} * k_m}{(1 - q_B)(1 - q_Q)} - [(N_{tot} - N_0) * r * v_{tot} + (q_B * N_0 * r * v_{spil})]$$

Ekvation 2 – Materialkostnaden. [21]

$$q_B = \frac{v_{tot} - v_{det}}{v_{tot}}$$

Ekvation 3 – Materialspill. [21]

$$N_{tot} = \frac{N_0}{1 - q_Q}$$

Ekvation 4 – Totalt antal tillverkade i en batch. [21]

Kostnadsterm: Index c – Den tredje termen i kostnadsmodellen beskriver maskinkostnaden under tillverkning och stillestånd för detaljen. Maskintimkostnaden under tillverkning och stillestånd beskrivs med hjälp av Ekvation 5 och Ekvation 6. Annuitetsfaktorn beräknas med hjälp av Ekvation 7. De kostnader som fördelas ut under tillverkning är investeringskostnaden, kostnaden för renoveringar, lokalyta, underhållskostnaderna och driftkostnaderna. De kostnaderna som även fördelas ut under stillestånd, är investeringskostnaden, renoveringskostnaderna samt lokalkostnaderna.

$$k_{CP} = \frac{[a * K_0 * (1 + N_{renv}k_{ren}) + Y * k_Y] + T_{plan} * (k_M \frac{1}{h_{PM}} + k_{ph})}{T_{plan}}$$

Ekvation 5 – Maskintimkostnad under tillverkning. [21]

$$k_{CS} = \frac{a * K_0 * 10^6 * (1 + N_{renv} * k_{ren}) + Y * k_Y}{T_{plan}}$$

Ekvation 6 – Maskintimkostnad vid stillestånd. [21]

$$a = \frac{p(1 + p)^n}{(1 + p)^n - 1}$$

Ekvation 7 – Annuitetsfaktorn. [21]

Kostnadsterm: Index d – Avser lönekostnader för personal under bearbetning, stillestånd och omställning av maskinen. Faktorn 0.8 tar hänsyn till en arbetseffektivitet på 80 procent.

$$k_D = \frac{\text{Timkostnad}}{0.8}$$

Ekvation 8 – Timkostnad för en arbetare vid 80 procent effektivitet. [21]

Produktionstiden T_{pb} – En annan parameter som används i formeln och behöver räknas fram, är produktionstiden för en batch. Ekvation 9 visar hur lång tid det tar att tillverka en batch och adderar ställtiden tillsammans med produktionstiden för en batch med hänsyn till kassationer, stillestånd och taktförluster.

$$T_{pb} = T_{su} + \frac{N_0 * t_0}{(1 - q_Q)(1 - q_S)(1 - q_P)}$$

Ekvation 9 – Total produktionstid för en batch. [21]

Faktorer - I den här kostnadsekvationen används de fyra faktorerna x_p , x_{su} , k_C och k_D . Utvecklingsfaktorn x_p ersätter taktförlusten q_p och påverkar cykeltiden, medan x_{su} är kopplad till ställtiden. Ett värde mindre än 1 för någon av faktorerna innebär att en reduktion av cykeltiden eller ställtiden har skett. Ekvation 10 och Ekvation 11 visar hur de beräknas fram. Kostnadsfaktorerna k_C och k_D behandlar maskin- och lönekostnaden. De faktorerna finns för att på ett enkelt sätt se hur förändringar av respektive kostnadstermer påverkar den totala kostnaden. [21]

$$x_p = \frac{1}{1 - q_p}$$

Ekvation 10 – Utvecklingsfaktor – cykeltiden. [21]

$$x_{su} = \frac{T_{suV}}{T_{su}}$$

Ekvation 11 – Utvecklingsfaktor – omställningstid. [21]

Reducerad beläggning U_{RP} – Vid reducerad beläggning används inte tillverkningssystemet till produktion under all planerad tid som finns tillgänglig. Det är en konsekvens av orderbrist eller felaktigt valda skift i förhållande till beläggningen. Ett användande lägre än 1 medför en negativ påverkan av vissa kostnadstermer. Kostnaderna för överkapacitet (fri kapacitet) måste i slutändan bäras av de produkter som produceras. En överkapacitet kan samtidigt bidra till att personalen använder sin tid effektivare samt leda till minskade köer och väntetider i produktionen, vilket kan bidra till en reducerad ledtid för produkten eller batcherna. Ekvation 12 visar formeln för reducerad beläggning.[21]

$$U_{RP} = 1 - \frac{T_{free}}{T_{plan}}$$

Ekvation 12 – Beläggningsgrad. [21]

2.2 Fördelningsfunktioner

I den här delen visas teorin bakom de fördelningsfunktioner som har använts för att generera Monte Carlo-simuleringar till kostnadsekvationen. Det ska tilläggas att den empiriska data, som införskaffats har undersökts hur bra de passar med fler än de här två fördelningsfunktionerna.

2.2.1 Normalfördelning

Normalfördelningen, även kallad Gauss-fördelning, är den mest använda fördelningsfunktionen inom statistiken och även en av de viktigaste. Det har visat sig, enligt empirisk data, att många storheter är approximativt normalfördelade. Fördelningsfunktionen har fördelen att vara enkel att använda och så har den många applikationsområden. Ett av användningsområdena är att enligt den centrala gränsvärdesatsen, med vissa förutbestämda förutsättningar, följer ett stort antal variabler med olika fördelningsfunktioner approximativt en normalfördelning. Förutsättningarna är att variablerna är oberoende, slumpmässiga och var för sig har en liten inverkan på den totala summan. Variablerna får följa en godtycklig fördelningsfunktion, så länge fördelningen har en ändlig varians. [22]

Ekvation 13 – Normalfördelnings densitetsfunktion [23] visar hur de två parametrarna påverkar kurvans utseende och hur utfallet blir med hänsyn till standardavvikelsen. Figur 18 och

Figur 19 illustrerar det som tabell 1 innehåller grafiskt.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$
$$-\infty < x < \infty \text{ och } 0 < \sigma$$

Ekvation 13 – Normalfördelnings densitetsfunktion [23]

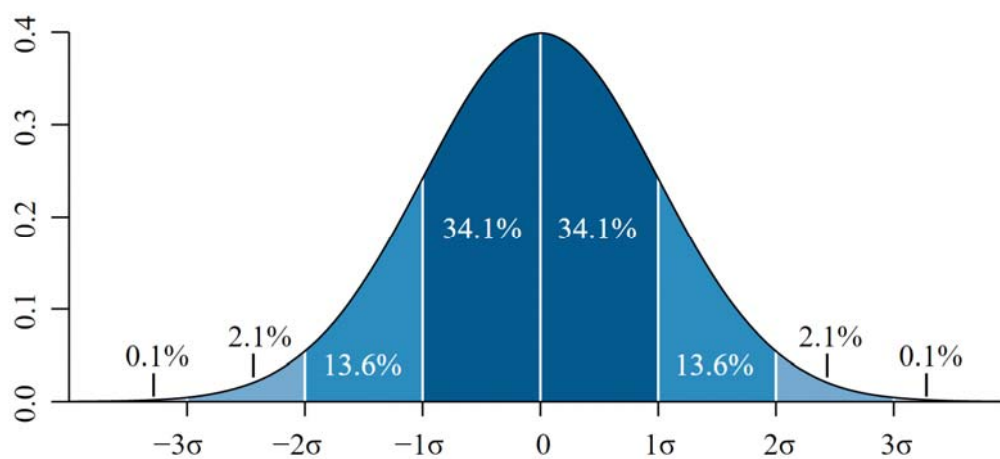
Där:

μ = väntevärdet

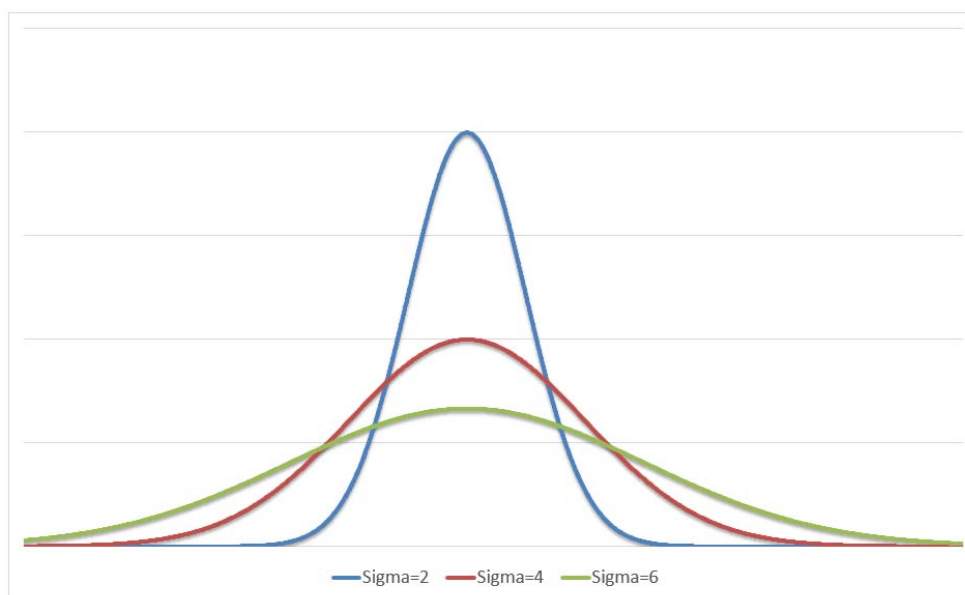
σ = Standardavvikelse.

Tabell 1 - Beskriver hur kurvans utformning hos en normalfördelning påverkas av väntevärde och standardavvikelse.

Parameter	Resultat
μ	Ger kurvans centrum.
Ökande σ	Kurvan planas ut och blir lägre.
Minskande σ	Kurvan trycks ihop och blir högre.
+/- 1 x σ	Motsvarar 68.2 procent av alla utfall.
+/- 2 x σ	Motsvarar 95.6 procent av alla utfall.
+/- 3 x σ	Motsvarar 99.8 procent av alla utfall.



Figur 18 – Visar hur stor sannolikhet de olika utfallen hamnar inom 1,2 och 3 standardavvikelser från väntevärdet för en normalfördelning. [24]



Figur 19 – Visar hur standardavvikelsen (σ) påverkar kurvans utseende.

2.2.2 Weibull

Weibullfördelning är en fördelning som används flitigt inom realtidsanalyser och är uppkallad efter uppfinnaren Waloddi Weibull. Funktionen används på grund av sin mångsidighet och att den är relativt enkelt att applicera. [25]

$$f(T) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{T - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{T-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

$$f(T) \geq 0, T \geq 0 \text{ eller } \gamma, \quad \beta > 0, \quad \eta > 0$$

Ekvation 14 – Weibulls-fördelningens densitetsfunktion. [25]

Där:

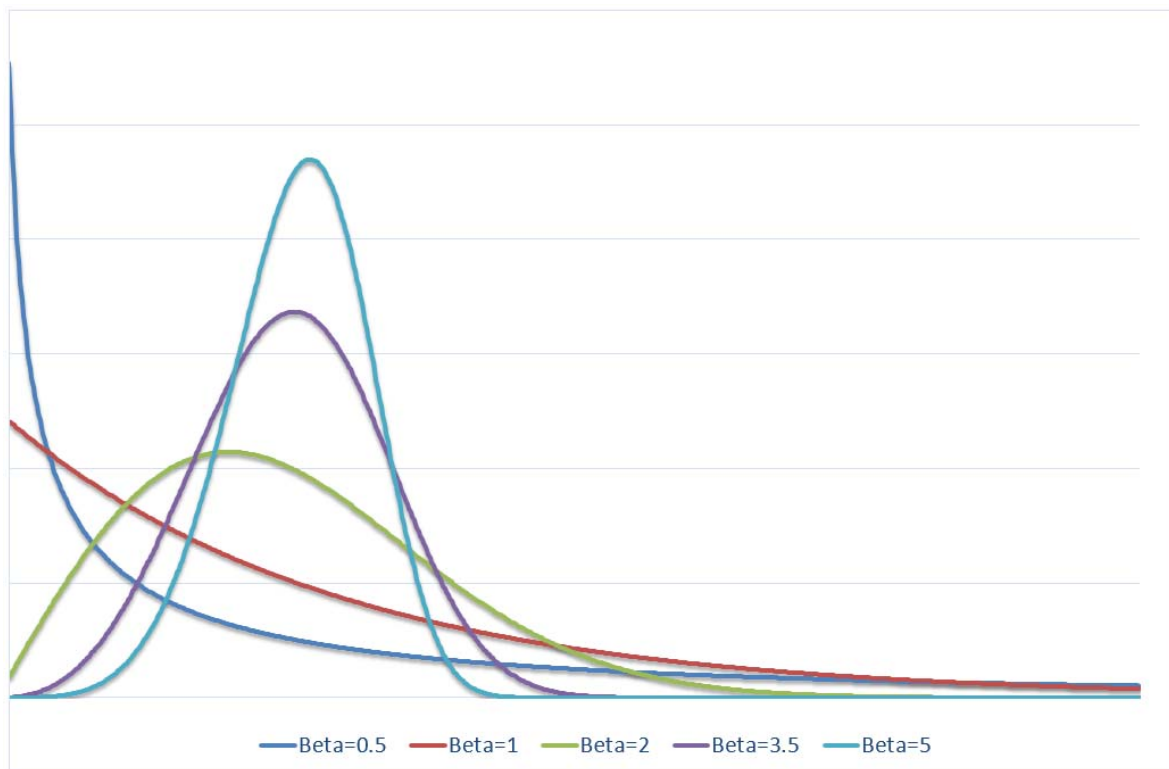
- β – Formparametern
- η - Skalningsparametern
- γ – Lägesparametern

Vanligtvis blir lägesparametern γ tilldelad noll, vilket innebär att fördelningen tappar lite i flexibilitet och tar bort möjligheten att ändra funktionens begynnelsepunkt från noll. [25]

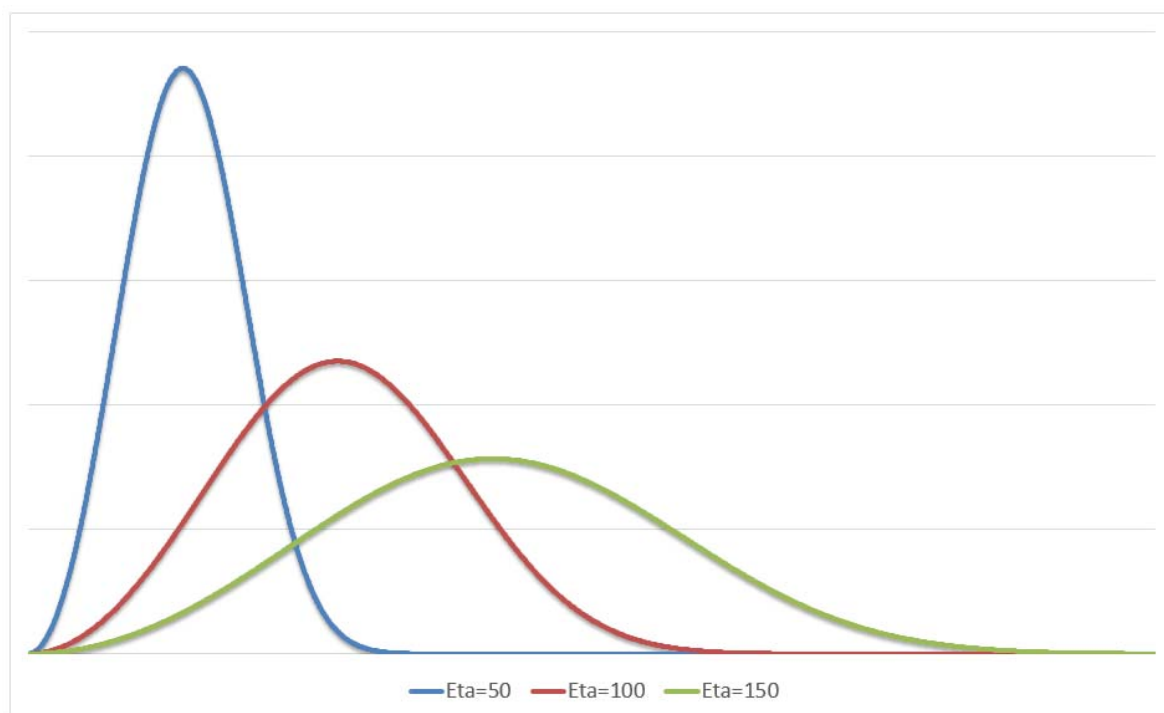
Figur 20, Figur 21 och Tabell 2 visar hur formparametern β och skalningsparametern η påverkar kurvans utformning. Bara med hjälp av formparametern påvisas Weibullsfunktionens mångsidighet.

Tabell 2 - Beskriver hur kurvans utformning hos en Weibullfördelning påverkas av form- och skalningsparametern.

Parameter	Resultat
$\beta = 1$	Exponentialfördelning
$\beta = 2$	Rayleighfördelning
$\beta < 3$	Skev åt vänster
$3 < \beta < 3.5$	Symmetrisk – Påminner om normalfördelning
$\beta > 3.5$	Skev åt höger och ihoppressad
Ökande η	Kurvan sträcks ut till höger och minskar i höjd
Minskande η	Kurvan trycks ihop till höger och ökar i höjd



Figur 20 - Illustrerar grafiskt hur kurvans utformning hos en Weibullfördelning påverkas av formparametern.



Figur 21 - Illustrerar grafiskt hur kurvans utformning hos en Weibullfördelning påverkas av skalningsparametern.

2.3 Maximum likelihood-skattning

För att få fram parametrarna till de olika fördelningsfunktionerna används en skattning av parametrarna, med empirisk data som grund, via en inbyggd algoritm i programmet Matlab. Algoritmen i Matlab returnerar maximum likelihood-skattningen av parametrarna till den förvalda fördelningen som ges av empirisk data.

Maximum likelihood-skattningen eller maximal sannolikhets-skattning går ut på att man först skriver ett matematiskt uttryck för aktuell provdata som kallas sannolikhetsfunktionen. Sannolikhetsfunktionen är sannolikheten att få en specifik data med vald given fördelningsfunktion. Uttrycket innehåller de okända parametrarna i fördelningsfunktionen. Genom att sedan derivera sannolikhetsfunktionen och hitta maximum (derivatan = 0), erhålls de okända parametrarna till fördelningsfunktionen. [26][27]

2.4 Monte Carlo-simulering

Monte Carlo-simulering eller dynamisk kostnadssimulering, som det också kallas, kommer att användas i det här projektet, för att beskriva variabler och parametrar med hjälp av statistiska fördelningar. I den här delen beskrivs grundläggande information, historia och framtagningen av Monte Carlo-simuleringen. Simuleringen används, för att generera ett bra och verklighetsbaserat resultat vid beräkningen av tillverkningskostnaderna.

2.4.1 Grundläggande information

Monte Carlo-simulering är en stokastisk modell, som används när det inte är möjligt att hitta en deterministisk modell av det man söker eller då det finns risk för mätfel och inte tillräckligt noggrann information kan införskaffas. [28] Genom att anpassa en fördelning till sina mätvärden och sedan utföra en Monte Carlo-simulering på dem, vilket medför att det kan ske en ökning av den mängd information som söks. Monte Carlo-simulering är en bred klass av beräkningsalgoritmer som bygger på upprepade slumpmässiga sampling, för att erhålla ett numeriskt resultat. [29] Eftersom Monte Carlo-simulering innebär att slumpmässiga metoder används kommer detta medföra ett slumpmässigt fel i beräkningarna. Monte Carlo-simulering bygger på stora talens lag, som säger att medelvärdet av ett antal oberoende observationer går mot väntevärdet, då antalet observationer växer. Idén med metoden är att simulera fram ett stort antal observationer från lämplig fördelning, vilket kommer medföra att felet blir mindre, då ett stort antal simuleringar används, enligt stora talens lag. [26] Det som är viktigt med datainsamlingen vid Monte Carlo-simulering är att även mindre troliga värden tas med för att därigenom öka verklighetsanpassningen av den statistiska fördelningen.

2.4.2 Historia

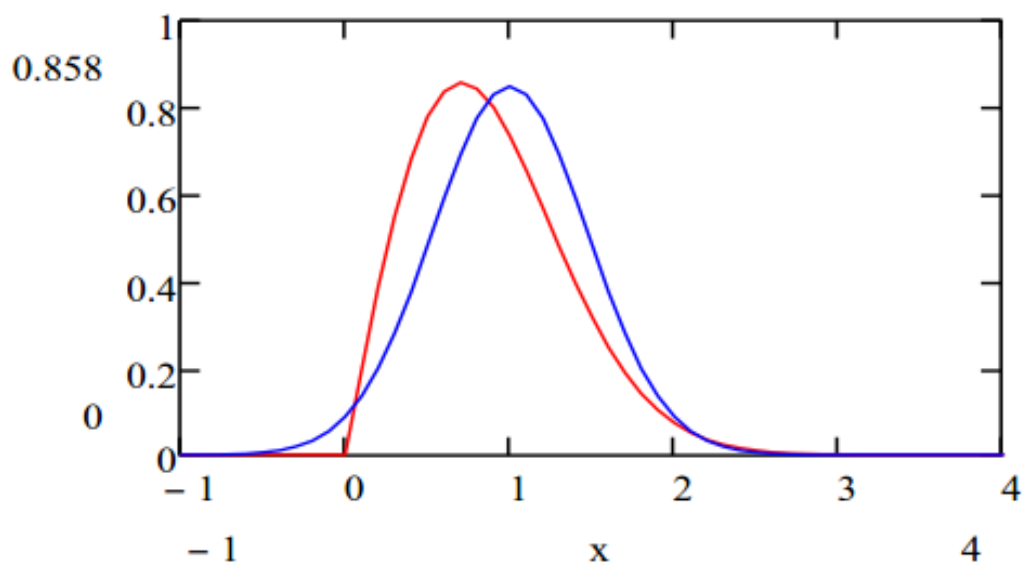
Monte Carlo-simulering som den används idag utvecklades på 1940-talet av Stanislaw Ulam, när han arbetade på ett kärnvapenprojekt vid Los Alamos Nationella laboratorium. Det som undersöktes var strålskydd och avståndet som neutronerna färdas i en substans innan de krockade. Stanislaw lyckades inte lösa problemet med konventionella deterministiska matematiska metoder och kom på idén att använda slumpmässiga experiment. De behövde ett hemligt kodnamn för metoden, Stanislaws kollega Neumann kom på att de kunde kalla det Monte Carlo, vilket refererar till Monte Carlo kasinot, där Stanislaws farbror spelade bort och lånade mycket pengar. [29]

2.4.3 Framtagning av enklare fördelningsfunktioner

Det finns två olika vägar att gå vid framtagning av fördelningsfunktioner, som kan användas vid Monte Carlo-simulering. Ena vägen är att anpassa en fördelningsfunktion till empirisk data om det finns tillgängligt. Den andra vägen är då det saknas data. I detta fall får ett antal frågor ställas för att erhålla information, till vilken en fördelningsfunktion kan anpassas. Därefter används en slumpmässig vektor, för att skapa ett stort antal olika utfall. De frågor som ställs för att samla in nödvändig information är:

1. Är frekvensfunktionen symmetrisk eller asymmetrisk? (Figur 22)
2. Vilka värden är de mest förekommande för parametern i fråga?
3. Vilket är det lägsta värdet man kan hitta på parametern?
4. Vilket är det högsta värdet man kan hitta på parametern?
5. Vilket är medelvärdet för parametern?

För att kunna beskriva en parameter med hjälp av en enklare fördelningsfunktion, måste minst två av dessa frågor besvaras. [21]



Figur 22 - Tjäthetsfunktion för en symmetrisk (normalfördelning, blå kurva) samt asymmetrisk (Weibullfördelning, röd kurva). [21]

Statistiska fördelningsfunktioner som ofta används är Weibull- och normalfördelning. Fördelningsfunktionerna beskrivs mer detaljerat i avsnitt 2.2.

3 Metodik

Den metodik som har använts i projektet presenteras i det här kapitlet. I Figur 23 visas ett övergripande flödesschema över tillvägagångssättet. Avsnitt 3.1 och 3.2 ger en mer detaljerad framtagning av fördelningsfunktionerna och vilka olika program som har använts i projektet. Kapitlet avslutas med en diskussion av eventuella felkällor och vilka åtgärder som görs för att minimera inverkan av dem.



Figur 23 – Tillvägagångssättet för metodiken.

3.1 Bestämma fördelningsfunktion

För att kunna generera Monte Carlo-simuleringar behövs fördelningsfunktioner av variablerna i kostnadsmodellen, som avspeglar verkligheten. Hur fördelningsfunktionerna skapas presenteras i det här avsnittet.

Två olika sätt används, för att generera fördelningsfunktionerna som behövs för simuleringen. Det första är att med hjälp av empirisk data som analyseras och därefter används för att skapa den fördelningsfunktion som passar bäst med insamlad data. Det andra sättet är att hitta en representativ fördelningsfunktion med hjälp av intervjuer och beräkningar.

3.1.1 Empirisk data

För att hitta en fördelningsfunktion som lämpar sig till en viss empirisk data kan fördelningspapper användas. Ett fördelningspapper är ett diagram med en skala som är specifik för den speciella fördelningen, som ska jämföras med insamlad data. I ett fördelningspapper har man fortfarande en graf över fördelningsfunktionen, men skalan på y-axeln är anpassad, så att fördelningsfunktionen blir en rät linje. Om den empiriska fördelningsfunktionen inte avviker allt för mycket från den räta linjen kan slutsatsen dras att fördelning passar bra till insamlad data.[30] I bilagorna som finns i slutet av rapporten kan fördelningspappret studeras noggrannare.

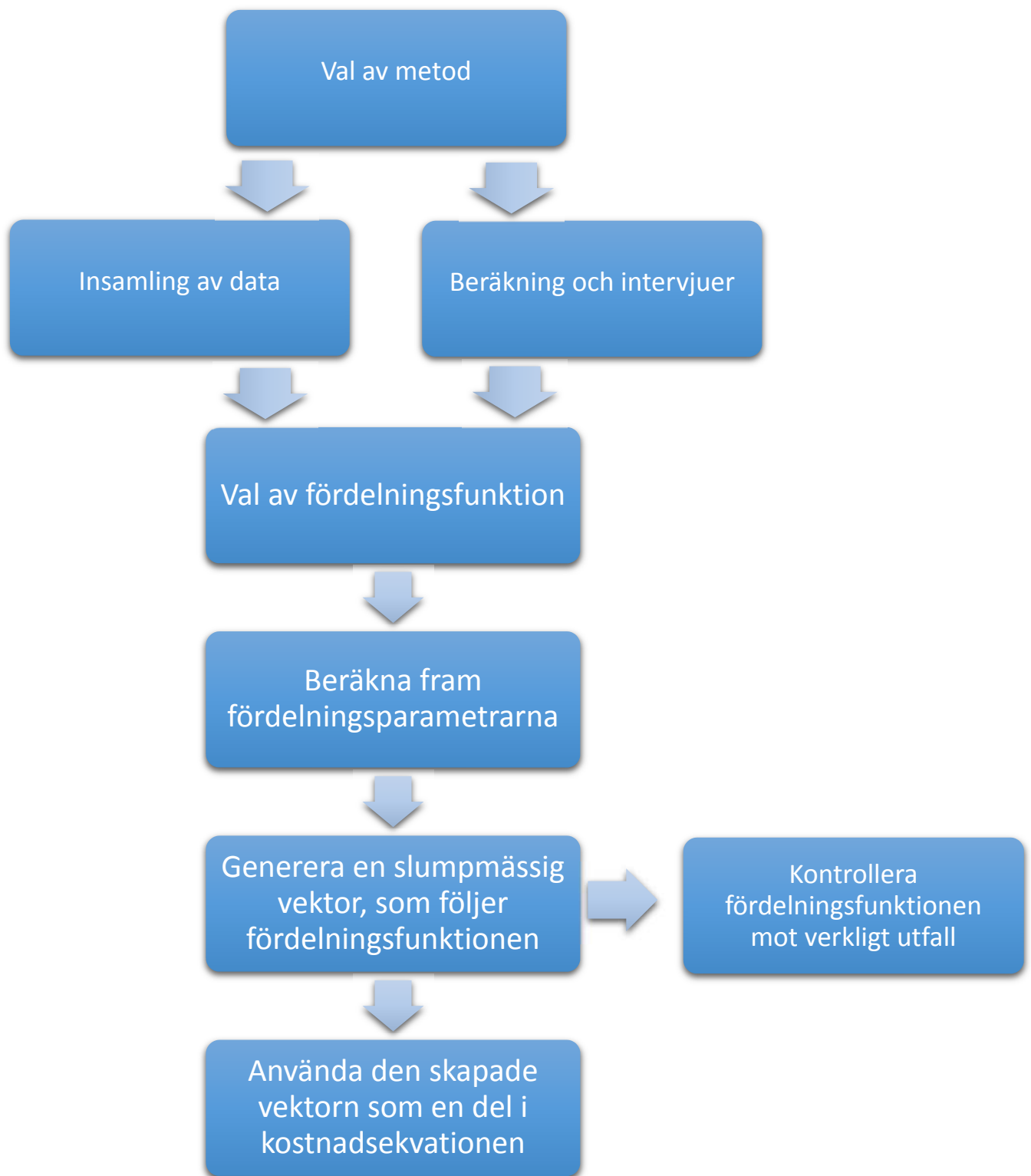
Fördelen med att använda sig av en fördelningsfunktion som genereras med empirisk data, är att den är verklighetsbaserad och därmed korrekt, förutsatt att inga betydande ändringar gjorts sedan data införskaffades, samt att dokumentationen är säkerställd och att det finns en tillräcklig mängd data. Det problematiska med den här kvantitativa metoden är att det ofta saknas data för många av konstansparametrarna, speciellt vid nya produktionslinor. Det som kan göras är att börja samla in data, men det är både tidskrävande och kostsamt.

3.1.2 Intervjuer

Det andra sättet att hitta en korrekt fördelningsfunktion, är med hjälp av intervjuer och beräkningar. Metodiken för detta visas i Figur 24. Med hjälp från erfarna operatörer som jobbat med produktionslinan kan realistiska uppskattningar till fördelningsfunktionen och parametrarna bestämmas. För att kunna genomföra intervjuerna, identifieras först alla komponenter och parametrar i kostnadsekvationen. Därefter sammanställs frågeformulär till de olika avdelningarna med en sammanställning över de parametrar, som den specifika avdelningen kan tänkas kunna besvara. Denna typ av intervju kallas semistrukturerad och det är denna form av intervju som har använts genom hela projektet. Detta innebär att ett antal förutbestämda frågor ställs som sedan besvaras öppet av de intervjuade personerna. [32] Frågeformulären utformas enligt att om inget exakt värde för en viss variabel finns tillgängligt samlas max, min och medelvärdet in istället. Genom beräkningar i MathCad erhålls parametrarna till fördelningsfunktionerna. I avsnitt 2.4.3 beskrivs hur den här metoden fungerar för en Weibullfördelning. Efter att fördelningsfunktionen är vald och parametrarna framräknade kan det vara fördelaktigt att kontrollera att funktionen är realistisk genom att jämföra med verkligt utfall från produktionslinan.

På nästa sida visas ett flödesschema över metoden, för att få fram fördelningsfunktioner och användbara vektorer till kostnadsanalysen. Flödesschemat är en modifierad version av Jan–Eric Ståhls egen variant [21].

De förändringar som har gjorts av kostnadsekvationen är att verktygskostnaden är en summa vilken summerar upp den totala kostnaden för alla verktyg som används i respektive maskin. Även materialkostnaden är förändrad genom att den även tar hänsyn till materialspill samt returkostnaderna vilka de får tillbaks genom försäljning av kasserade detaljer och spånor.



Figur 24 - Visar metodiken för att bestämma fördelningsfunktion till kostnadsekvationens variabler.[21]

3.2 Program

För att kunna beräkna den totala tillverkningskostnaden för respektive detalj kommer huvudsakligen programmet MathCad att användas. Programmet har fördelen av att vara användarvänligt, samt att författarna redan har grundläggande kunskap inom programvaran.

Andra program som används är Matlab och MS Excel. Matlab används framförallt vid skapande av fördelningsfunktioner som bygger på empirisk data, samt att genomföra verifieringen av dem. Matlab har inbyggda funktioner som underlättar kontrollerna av att de genererade fördelningsfunktionerna följer de empiriska data som insamlats. MS Excel används för att skapa alla diagram, grafer och tabeller. Det motiveras med att programmet anses vara lätthanterligt och erhåller en stor variation av grafer och diagram som både är estetisk tilltalande och informativa.

3.3 Felkällor och åtgärder

Det här avsnittet informerar om eventuella felkällor och hur åtgärder i form av känslighetsanalyser och Monte Carlo-simulering har genomförts, för att minimera deras påverkan.

3.3.1 Felkällor

De olika felkällorna som påverkar säkerheten av slutresultatet är bland annat att en del av variablerna, som används vid beräkning av tillverkningskostnaden endast kommer att vara uppskattningar från operatörer som arbetar vid maskinerna. Uppskattningarna är en nödvändighet, eftersom det saknas dokumentation för vissa av de kostnadsparametrar som behövs för att utföra en fullständig kostnadsanalys. En negativ följd av detta är en minskad noggrannhet och därmed osäkrare slutresultat. Det åtgärdas genom att intervjua olika operatörer vid olika tillfällen, för att sedan sammanställa och använda informationen som införskaffats från olika håll som grund för uppskattning av de olika variablerna.

Den konventionella maskinen är en annan felkälla som påverkar resultatet. Som nämnts tidigare i rapporten är den maskinen inte tillverkad för att hantera de ökade skärkrafterna som erhålls vid bearbetning av till exempel Ecobrass. Det innebär att förutsättningarna är sämre, för att ge en rättvis jämförelse mellan materialen som detaljerna tillverkas av.

En sista felkälla som är värd att uppmärksamma är att Ecobrass och lågblyad mässing är två nya material som bearbetas på företaget. Kunskapen och erfarenheten av de två materialen är inte lika omfattande, som den är för den konventionella mässingen, som företaget har många års erfarenhet av.

3.3.2 Känslighetsanalyser

För att skapa en uppfattning om hur olika variabler av tillverkningsprocessen påverkar analysen och slutkostnaden läggs det stor vikt på känslighetsanalyser på de data som införskaffas. Känslighetsanalyser utförs av variablerna nedan.

- Cykeltid
- Batchstorlek
- Stillestånd
- Beläggningsgrad
- Taktförlust
- Planerad produktionstid

Jämförelser över hur stor del respektive kostnadsgrupp upptar av den totala kostnaden genomförs, för att upptäcka vilka delar som ger störst påverkan när företaget strävar efter kostnadsminimering.

3.3.3 Monte Carlo

Vid tillverkning är det inte rimligt att endast jobba med medeltal, eftersom det kan ge en missvisande bild av kostnaderna. För att skapa en mer verklighetsförankrad och dynamisk kostnadsanalys har Monte Carlo-simulering tillämpats. Teoridel 2.4 beskriver Monte Carlo-simulering mer detaljerat.

4 Resultat

Under det här kapitlet redovisas resultaten från kostnadsanalysen för de olika detaljerna. Dessa avsnitt är uppdelade på liknande sätt, det börjar med en normalfördelning över detaljens tillverkningskostnad. Sedan visas hur kostnaderna är uppdelade. Slutligen redovisas en känslighetsanalys, där det bland annat har undersökts hur mycket en variabel eller kostnadsterm måste ändras eller vara felberäknad, för att det ska ge en tio procentig inverkan på slutkostnaden.

Kostnaderna för de olika kostnadstermerna är beräknade i Mathcad. Kostnaderna och data som har använts för uträkningarna finns med i bilagorna. Under avsnitt 4.2.1 och 4.2.2 redovisas kostnaderna för de olika termerna i ekvationen.

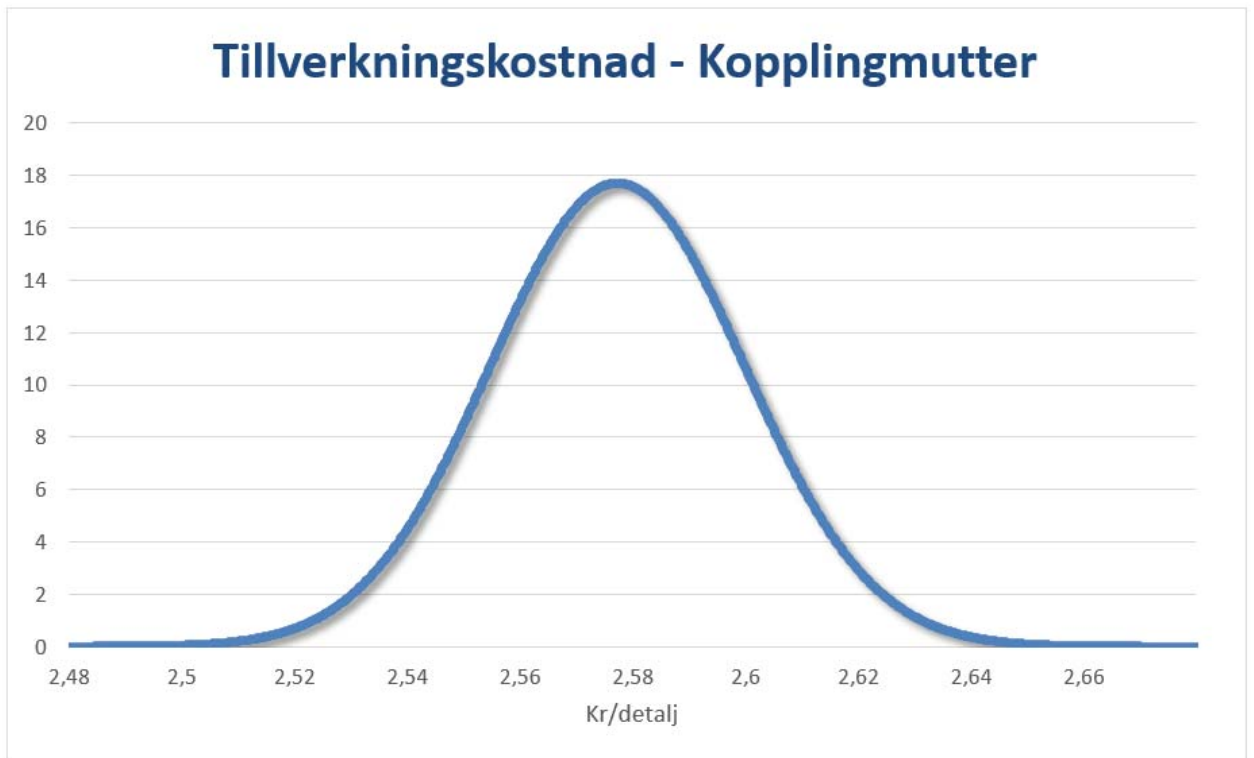
4.1 Kopplingsmutter

Kopplingsmutterns tillverkningskostnad är 2.58 kr och har en standardavvikelse på 2.2 öre. Figur 25 visar normalfördelningen av tillverkningskostnaden för kopplingsmuttern. Figur 26 Visar kostnadsfördelningen och.

Tabell 4 redovisar känslighetsanalysens resultat.

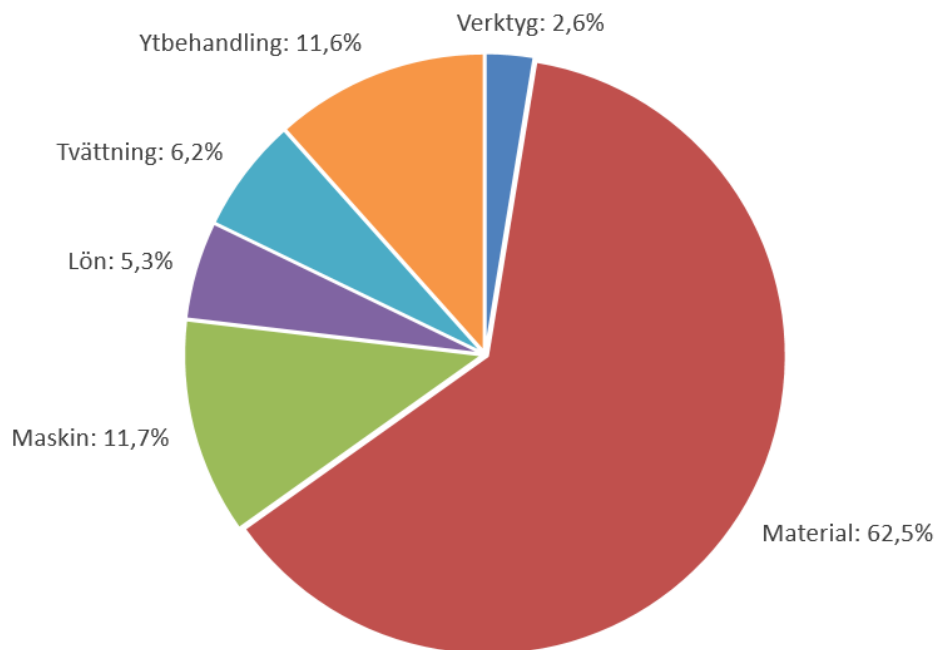
Tabell 3 – *De enskilda kostnaderna för kopplingsmuttern, lågblyad mässing.*

Kostnadsterm	Kr/st
Verktygskostnad	0.067
Materialkostnad	1.61
Maskinkostnad av produktion	0.278
Maskinkostnad av stillestånd	0.024
Lönekostnad	0.136
Tvättning	0.16
Ytbehandling	0.3
Summa	2.58



Figur 25 – Kopplingsmutterns tillverkningskostnad.

Kostnadsfördelning - Kopplingsmutter



Figur 26 – Kostnadsfördelningen för kopplingsmuttern.

Tabell 4 – Känslighetsanalys för kopplingsmuttern.

Kostnadsterm/Variabel	Ökning/ minskning av Term/Variabel	Ökning/minskning av detaljkostnad (%)
Verktyg	380 %	+/- 10
Material	16 %	+/- 10
Maskin	90 %	+/- 10
Lön	190 %	+/- 10
Tvättning	160 %	+/- 10
Ytbehandling	90 %	+/- 10
Reducerad beläggning	Från 100 till 60 %	+ 10
Stillestånd	Från 0 till 42 %	+ 10
Taktförlust	Från 0 till 39 %	+ 10
Cykeltid	Från 3.5s till 3s	- 2.2
Cykeltid	Från 3.5s till 4s	+ 2.2
Seriestorlek	~ från 40 000 till 80 000	-1.9
Seriestorlek	~ från 40 000 till 20 000	+3.8
Skift	Från 3-skift till 2-skift	+2.4

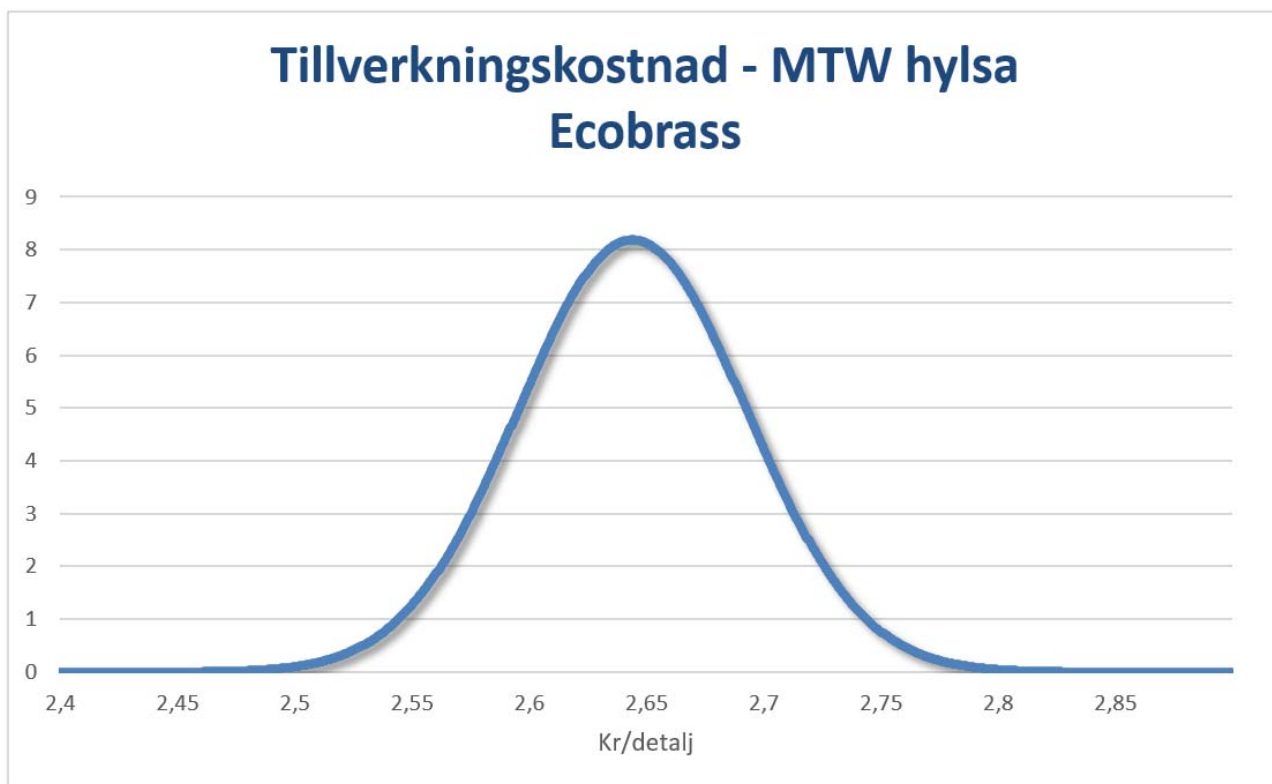
4.2 Hylsa

4.2.1 Ecobrass

Tabell 5 – De enskilda kostnaderna för hylsan, Ecobrass.

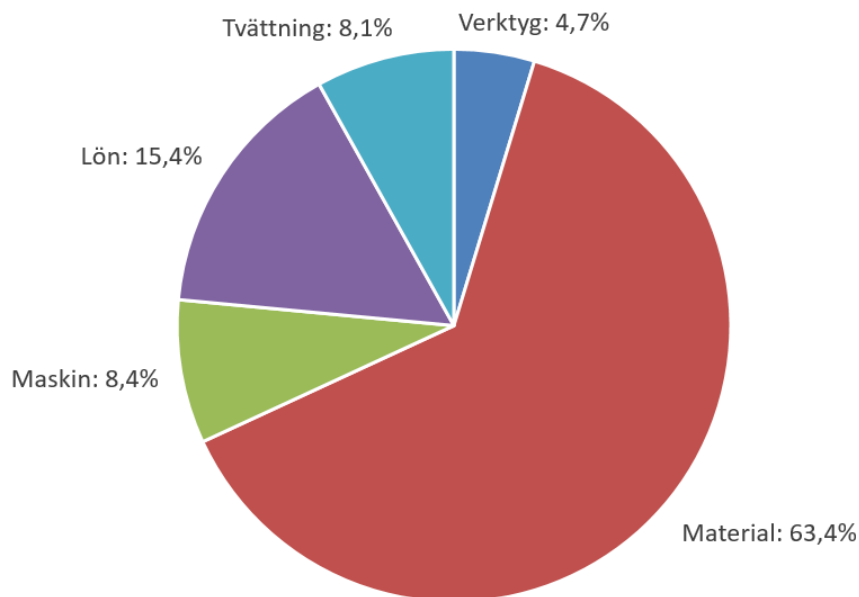
Kostnadsterm	Kr/st
Verktygskostnad	0.124
Materialkostnad	1.677
Maskinkostnad under produktion	0.209
Maskinkostnad under stillestånd	0.014
Lönekostnad	0.407
Tvättning	0.214
Summa	2.64

MTW hylsan tillverkad av Ecobrass kostar 2,64 kr att tillverka och har en standardavvikelse på 5 öre. Figur 27 visar normalfunktionen till MTW hylsans tillverkningskostnad när den tillverkas av Ecobrass. Figur 28 visar kostnadsfördelningen och Tabell 6 känslighetsanalysen.



Figur 27 – MTW hylsans tillverkningskostnads, Ecobrass.

Kostnadsfördelning - MTW hylsa Ecobrass



Figur 28 – Kostnadsfördelning för MTW hylsan, Ecobrass.

Tabell 6 – Känslighetsanalys för MTW hylsan, Ecobrass.

Kostnadsterm/Variabel	Ökning/ minskning av Term/Variabel	Ökning/minskning av detaljkostnad (%)
Verktyg	212 %	+/- 10
Material	16 %	+/- 10
Maskin	90 %	+/- 10
Lön	65 %	+/- 10
Tvättning	124 %	+/- 10
Reducerad beläggning	Från 100 till 68 %	+10
Stillestånd	Från 4.7 till 36 %	+10
Taktförlust	Från 0 till 30 %	+10
Cykeltid	Från 6.8 till 5 s	- 5.8
Cykeltid	Från 6.8 till 10 s	+ 10.3
Seriestorlek	~ från 88 000 till 176 000	- 2.2
Seriestorlek	~ från 88 000 till 44 000	+ 4.4

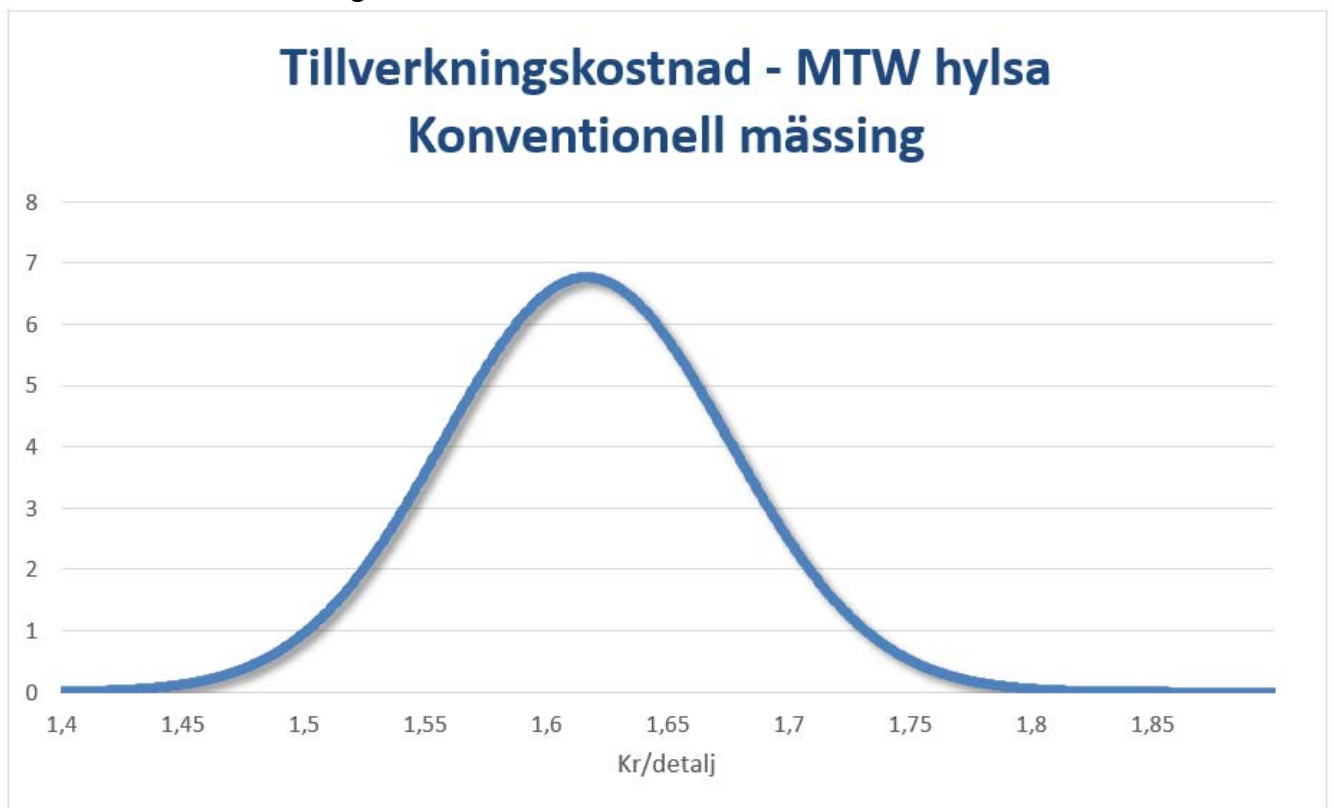
4.2.2 Konventionell mässing

Tabell 7 – De enskilda kostnaderna för hylsan, konventionell mässing.

Kostnadsterm	Kr/st
Verktygskostnad	0.089
Materialkostnad	0.96
Maskinkostnad under stillestånd	0.117
Maskinkostnad under produktion	0.008
Lönekostnad	0.228
Tvättning	0.214
Summa	1.616

MTW hylsan tillverkad av konventionell mässing kostar 1.62 kr att tillverka med en standardavvikelse på 6 öre

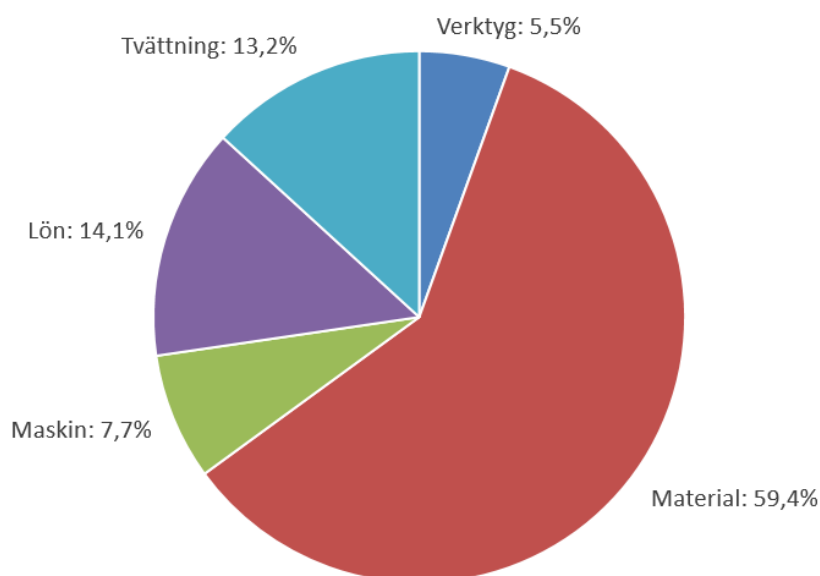
Figur 29 visar normalfunktionen till MTW hylsans tillverkningskostnad när den tillverkas av konventionell mässing



Figur 30 visar kostnadsfördelningen och Tabell 8 visar känslighetsanalysen.

Figur 29 – Tillverkningskostnad MTW hylsan, konventionell mässing.

Kostnadsfördelning - MTW hylsa Konventionell mässing



Figur 30 – Kostnadsfördelningen för MTW hylsan, konventionell mässing.

Tabell 8 – Känslighetsanalys för MTW hylsan, konventionell mässing.

Kostnadsterm/Variabel	Ökning/ minskning av Term/Variabel	Ökning/minskning av detaljkostnad (%)
Verktyg	184 %	+/- 10
Material	17 %	+/- 10
Maskin	113 %	+/- 10
Lön	72 %	+/- 10
Tvättning	76 %	+/- 10
Reducerad beläggning	Från 100 till 66 %	+ 10
Stillestånd	Från 0.5 till 37 %	+ 10
Taktförlust	Från 0 till 34 %	+ 10
Cykeltid	Från 3.9 till 3 s	- 4.6
Cykeltid	Från 3.9 till 5 s	+ 5.7
Seriestorlek	~ Från 88 000 till 176 000	- 3.7

Seriestorlek	~ Från 88 000 till 44 000	+ 7.2
--------------	---------------------------	-------

4.3 Maskinkostnader vid olika fall av MTW hylsan

I det här avsnittet har undersökningar angående hur investeringskostnader, maskinernas livstid och bearbetat material undersökts i 8 olika fall. För att kunna studera hur dessa olika områden påverkar maskinkostnaden och i slutändan den totala detaljkostnaden. De olika fallen har grund data från MTW hylsan, och det som skiljer fallen åt visas i tabellen nedan.

Tabell 9 – Nedanstående tabeller visar 8 stycken fall med skillnader på indata. Övriga parametrar är samma som innan och kan hittas i bilagorna.

	H1K	H1E
Material	Konventionell mässing	Ecobrass
Investeringskostnad	3 000 000	3 000 000
Livslängd	10-20 år	10-20 år
Renoveringar	1-5	1-5

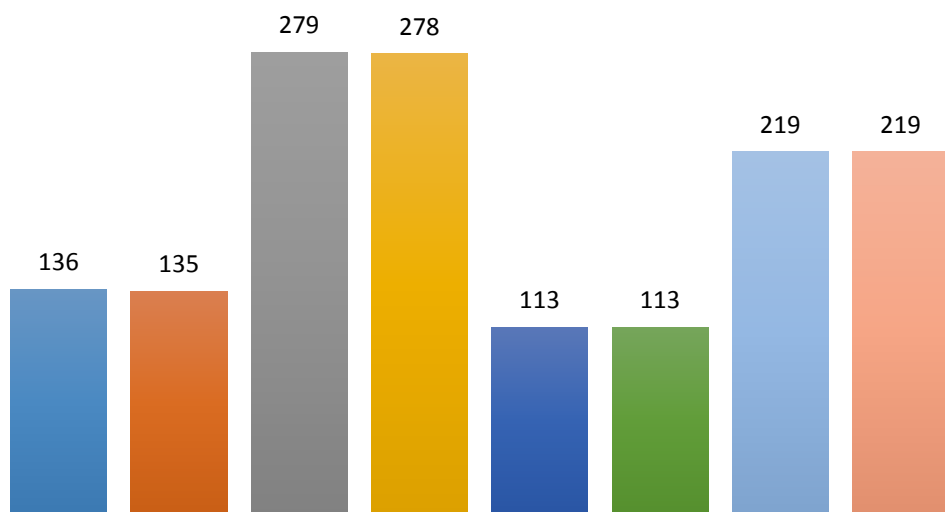
	H2K	H2E
Material	Konventionell mässing	Ecobrass
Investeringskostnad	8 000 000	8 000 000
Livslängd	Livslängd 10-20 år	Livslängd 10-20 år
Renoveringar	1-5	1-5

	H3K	H3E
Material	Konventionell mässing	Ecobrass
Investeringskostnad	3 000 000	3 000 000
Livslängd	Livslängd 20-40 år	Livslängd 20-40 år
Renoveringar	2-10	2-10

	H4K	H4E
Material	Konventionell mässing	Ecobrass
Investeringskostnad	8 000 000	8 000 000
Livslängd	Livslängd 20-40 år	Livslängd 20-40 år
Renoveringar	2-10	2-10

Maskintimkostnad under produktion

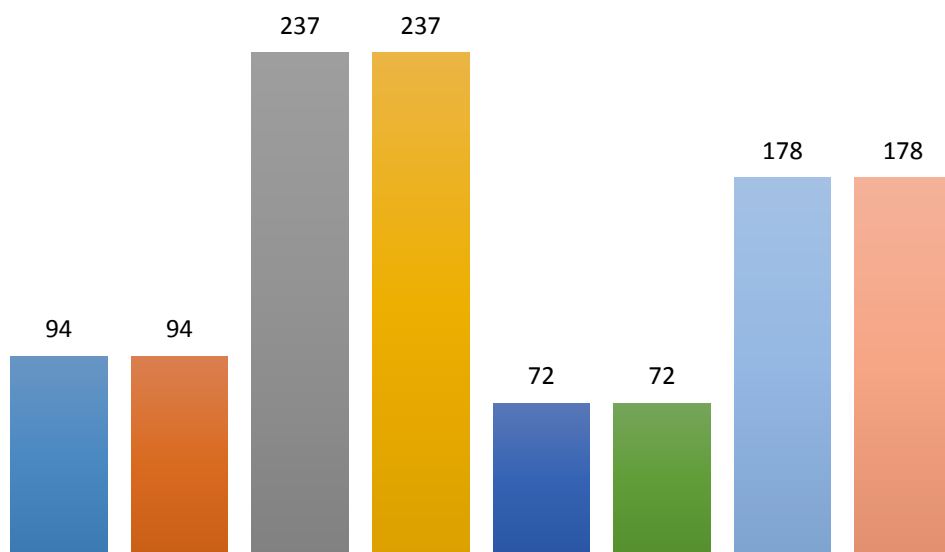
H1K H1E H2K H2E H3K H3E H4K H4E



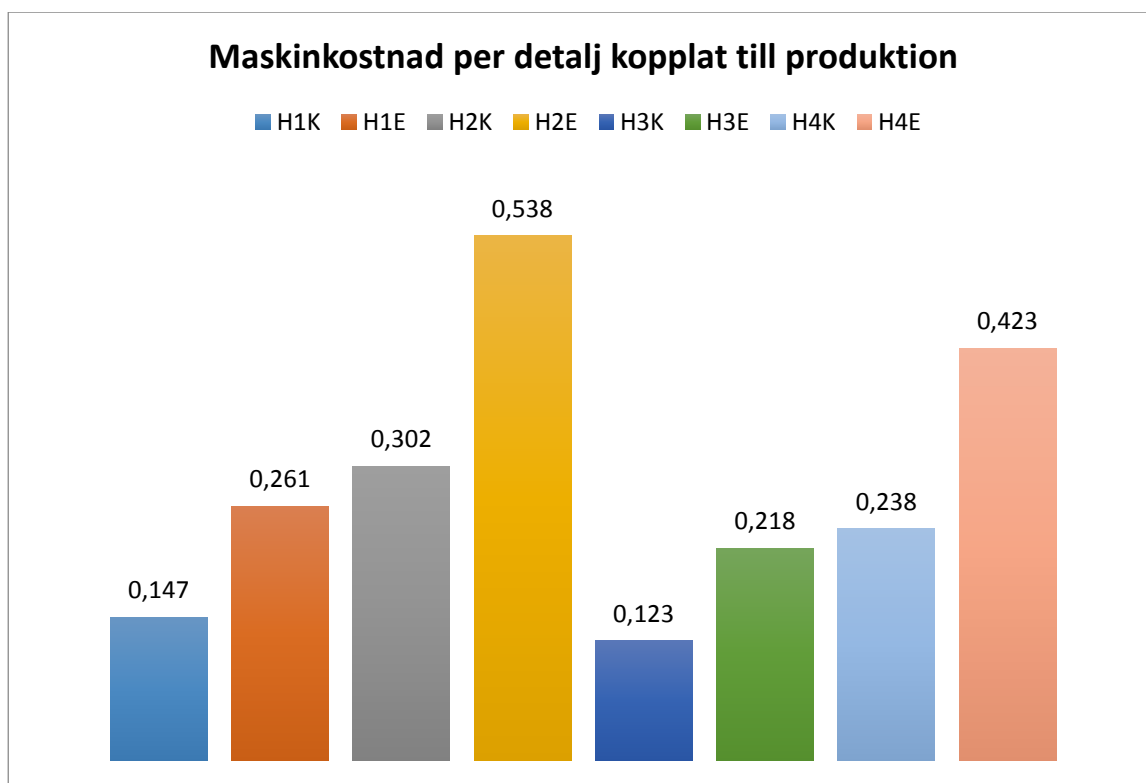
Figur 31 – Maskintimkostnad under produktion

Maskintimkostnad under stillestånd

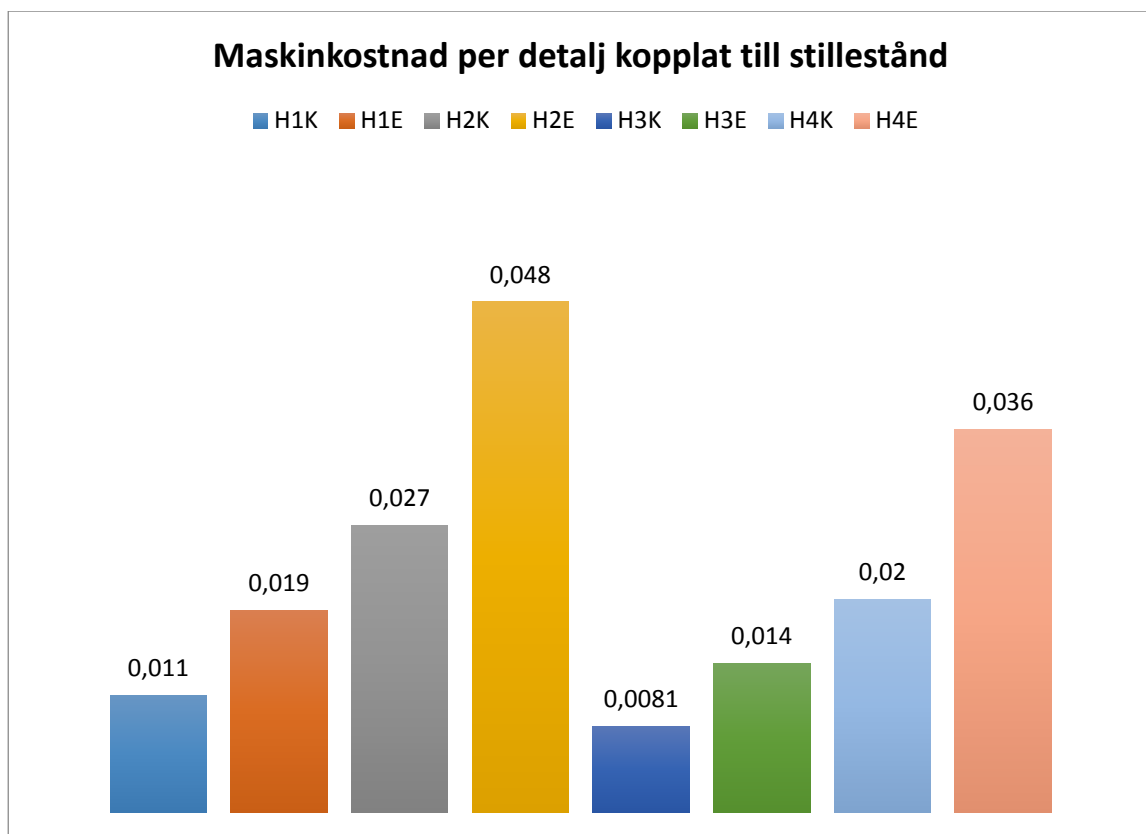
H1K H1E H2K H2E H3K H3E H4K H4E



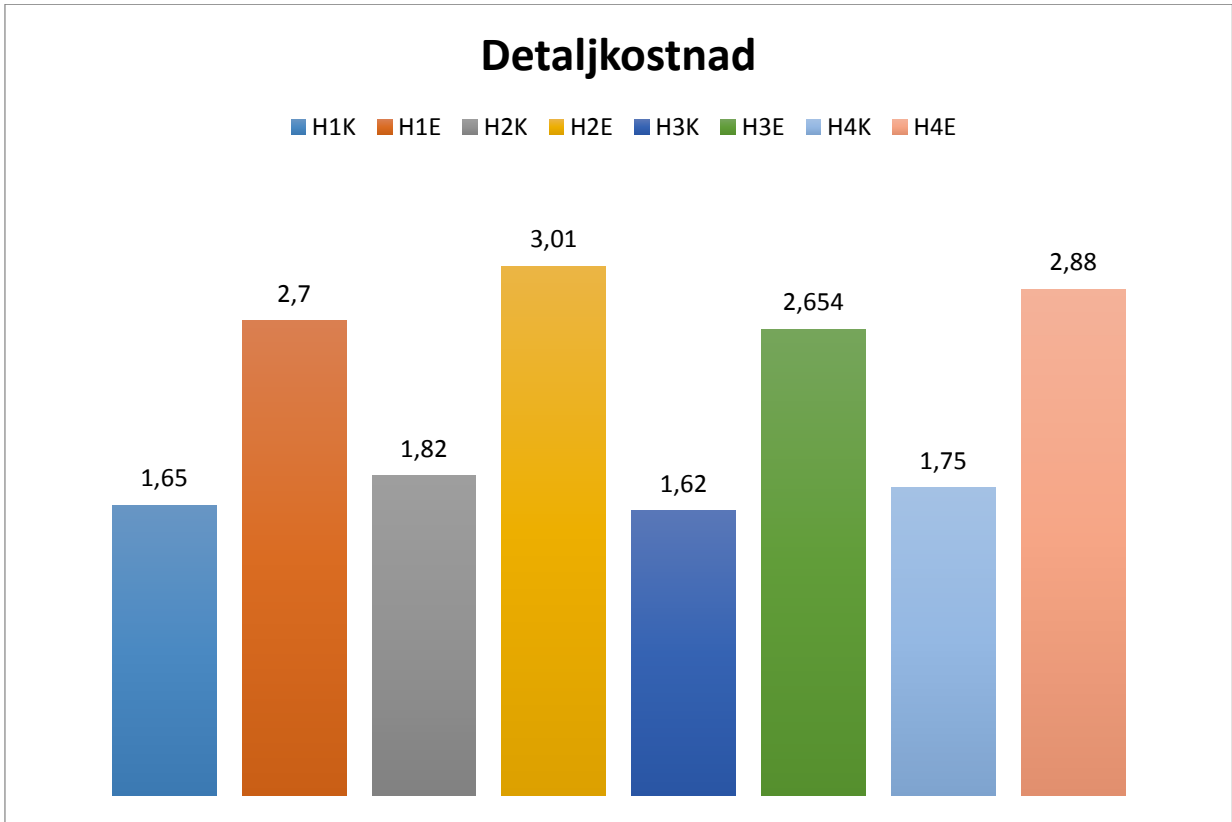
Figur 32 – Maskintimkostnad under stillestånd



Figur 33 – Maskinkostnad per detalj under produktion.



Figur 34 – Maskinkostnad per detalj under stillestånd.



Figur 35 – Totala detaljkostnaden

Det man kan avläsa vid en analys av diagrammen på föregående sidor är att maskintimkostnaden vid produktion och stillestånd är lika för de olika materialen vid lika investeringsalternativ. Vid jämförelse av maskinkostnaden utslaget per detalj blir alternativet med det blyfria materialet mellan 72.8 - 80 procent dyrare i alla fallen, detta på grund av ökade stillestånd och längre cykeltid. Att tillverka i blyfritt medför även en ökning av detaljkostnaden på 63.6 - 65.4 procent, den största bidragande faktorn till de ökade detaljkostnaderna är materialkostnaderna.

Tabell 10 – *Ökning av parametrar för konventionell bearbetning mot blyfri bearbetning vid olika investeringar.*

Jämförelse	k_{cp}/st (% ökning)	k_{cs}/st (% ökning)	Detaljkostnad (% ökning)
H1K mot H1E	77.55	72.73	63.64
H2K mot H2E	78.15	77.78	65.38
H3K mot H3E	77.24	72.84	63.82
H4K mot H4E	77.73	80.0	64.57

Studien visar även att en ökning av investeringskostnaden på 166 procent medför en ökning av detaljkostnaden med 10.3 procent för konventionell mässing och 11.5 procent för den blyfria mässingen, vid en tänkt livslängd på mellan 10-20 år och annars 8 respektive 8.5 procents ökning vid en tänkt livslängd på 20-40 år.

Tabell 11 – *Visar den totala procentuella ökningen av detaljkostnaden vid jämförande av samma material men olika investeringskostnader.*

Jämförelse	Procentuell ökning av detaljkostnad
H1K mot H2K	10.3
H1E mot H2E	11.48
H3K mot H4K	8.02
H3E mot H4E	8.5

5 Analys

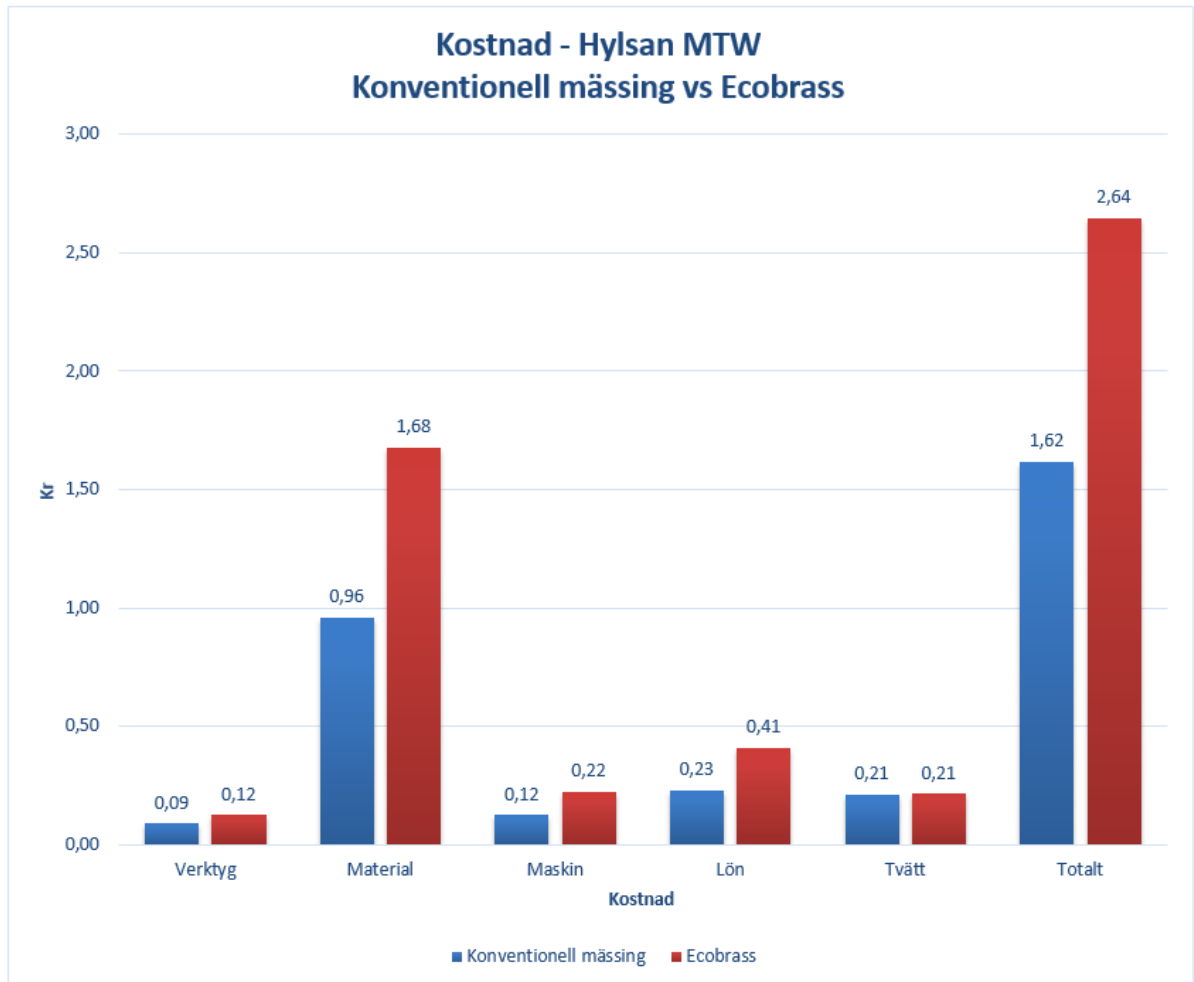
Det som är gemensamt för samtliga detaljer, som har analyserats är att materialkostnaden är den faktor som påverkar mest. Materialkostnaden står för mellan 59-63 procent av tillverkningskostnaden för de olika detaljerna. Faktorn är svår att påverka på grund av att priserna på materialet följer de globala marknadspriserna. Materialkostnaden förhåller sig till inköpskostnaden, kassationer, säljpriset och hur mycket av materialet som går till spill vid bearbetningen. Kassationerna har inte speciellt hög förbättringspotential, då de redan är väldigt låga. Hylsan tillverkad av Ecobrass har den högsta kassationsandelen på 2.2 procent, vilket är lågt för ett nytt svårbearbetat material i en maskin som är 26 år gammal. Företagets egna mål för kassationsandelen är 0.2 procent. Detta har de lyckats med vid tillverkningen av hylsan gjord av konventionell mässing enligt empirisk data från 2009 och framåt. Det innebär att kassationsandelen har en begränsad inverkan på den totala kostnaden då den är så pass låg som den är för dessa detaljer.

En följd av att materialkostnaden är en dominerande faktor av den totala tillverkningskostnaden, är att de andra kostnadsfaktorererna behöver drastiska förändringar, för att tillverkningskostnaden ska påverkas märkvärt. För att öka detaljkostnaden tio procent genom en förändring av materialkostnaden krävs en ökning på cirka 16-17 procent, medan de andra faktorerna behöver större förändringar för att påverka i samma utsträckning. Verktygskostnaden behöver öka mellan 184–380 procent, maskinkostnaden 90-113 procent, lönekostnaden 65–190 procent, tvättningen 76–13 procent och ytbehandlingen för kopplingsmuttern behöver öka 90 procent. En mer detaljerad information för respektive detalj och kostnadstermer redovisas i tabellerna i resultatdelen.

Känslighetsanalyserna visar även att stilleståndsandelen, taktförlusten och beläggningsgraden måste förändras kraftigt, för att ge en större effekt på totalkostnaden. För att få en tioprocentig förändring av kostnaden måste värdena för stillestånd öka med 36-42 procentenheter, taktförlusten 30-39 procentenheter och den reducerade beläggningsgraden behöver gå ner från dagens 100 procent till 60-68 procent för de olika detaljerna.

Förändringar från 3- till 2-skift, ändrad cykeltid och seriestorlekar har också begränsade effekter på den direkta kostnaden av tillverkningen för kopplingsmuttern och hylsan. Den största skillnaden för halverad och dubblerad seriestorlek är en minskning med 3.2 procent eller en ökning med 7.2 procent. Det ska tilläggas att detta är en förenklad version av beräkningarna för förändrad seriestorlek och därför ska inte alltför stora slutsatser dras utifrån resultatet. Vid ökade seriestorlekar tillkommer till exempel lager- och hanteringskostnader, samt att stillestånden eventuellt ökar. Cykeltiden har också en begränsad inverkan på totalkostnaden för samtliga detaljer som kan utläsas i tabellerna i resultatdelen. När det gäller 3- till 2-skift är det endast kopplingsmuttern som påverkas, då hylsan endast körs i 2-skift. Men det har visat sig att det även här endast har en begränsad inverkan på totalkostnaden.

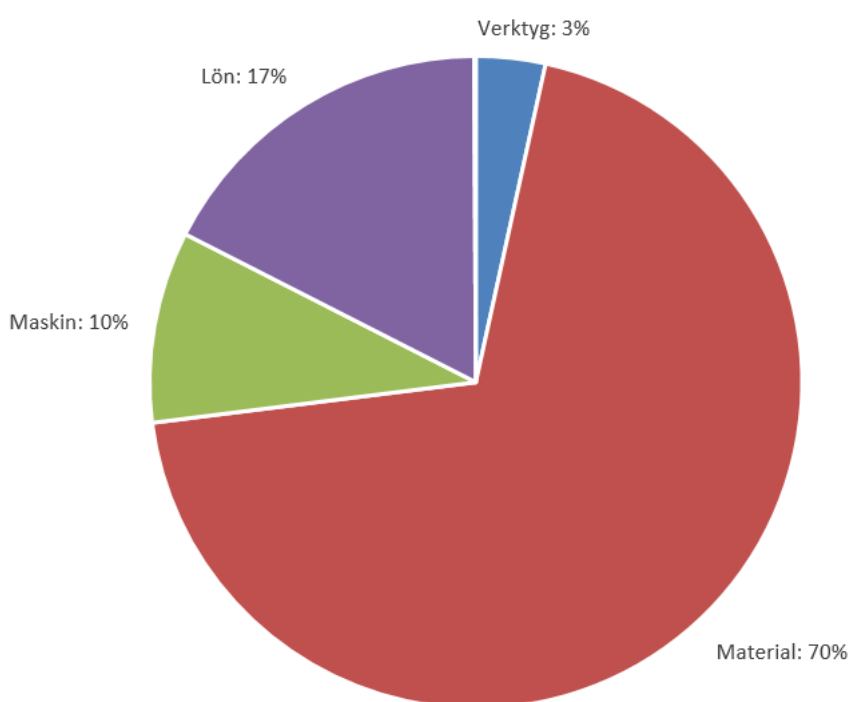
Tillverkningskostnaden för MTW hylsan tillverkad av Ecobross är 2.64 kr med en standardavvikelse på 5 öre. Vilket gör denna detalj betydligt dyrare än samma hylsa tillverkad av konventionell mässing, som istället kostar 1.62 kr och har en standardavvikelse på 6 öre. Med en efterfråga på ungefär 1 miljon termostater årligen, blir det drygt en miljon kronor dyrare att använda sig av Ecobross än konventionell mässings i dagsläget. En mer detaljerad jämförelse mellan hylsan i de olika materialen visas i Figur 36. I figuren kan man utläsa skillnaderna för respektive kostnadsandel.



Figur 36 – Kostnadsskillnader mellan konventionell mässing och Ecobross för MTW hylsan.

Verktöygskostnaderna skiljer sig på grund av ett ökat slitage med det hårdare materialet Ecobrass. Den absoluta kostnadsskillnaden för verktygen är liten och står endast för 3 procent av den totala kostnadsskillnaden. Materialet står för den största kostnadsfaktorn och utgör 70 procent av den totala skillnaden mellan hylsan med de olika materialen. Maskinen står för 10 procent och lönen för 17 procent av den totala tillverkningskostnaden. Den största anledningen för att lönen och maskinkostnaderna skiljer är på grund av den ökade cykeltiden som behövs för hylsan tillverkad i Ecobrass. Tvättningen påverkas inte av materialet, eftersom tvättningsprocessen utförs på samma sätt. Kostnadsskillnaderna som påverkar illustreras i cirkeldiagrammet i Figur 37.

Uppdelning av de olika kostnadstermerna som leder till ett högre pris för Ecobrass än konventionella mässingen



Figur 37 – Kostnadsfördelning av skillnaden mellan hylsans kostnader i Ecobrass och konventionell mässing.

Anledningen till den ökade kostnaden för de 8 olika investeringsalternativen (H1K-H4E) då man tillverkar i blyfritt beror framförallt på den ökade cykeltiden för det blyfria materialet vilket leder till att färre detaljer produceras som får bära kostnaden.

6 Diskussion

Standardavvikelsen för tillverkningskostnaden kan anses vara liten. Anledningen är att materialkostnaden är företagets senaste inköpskostnader för de olika materialen. När det gäller konventionell mässing brukar inköpskostnaden vara på en stabil nivå, medan Ecobrassen har ökat i kostnad och företaget tror på en fortsatt ökning. Som konstaterat i resultatet står materialkostnaden för den största delen av kostnaden, vilket motiverar ett kontinuerligt arbete med att pressa inköpspriserna på materialet.

Eftersom alla kostnadsfaktorer och känslighetsanalyser kräver stora förändringar, för att ge en väsentlig skillnad på totalkostnaden av detaljerna, visar det på att den genomförda analysen är robust. Eftersom materialkostnaden står för så pass stor del av den totala kostnaden som den gör och inköpskostnaden för Ecobrass ligger så pass mycket högre på dagens marknad, vilket medför att det troligtvis inte kommer bli ekonomiskt försvarbart att tillverka med det miljövänligaste alternativet Ecobrass. Termostatens vinstmarginaler ligger på 15 - 70 procent beroende på köpare, orderstorlek, tidigare avtal och framtida samarbeten. Om det skulle visa sig vara ett försäljningsargument som gör skillnad att använda sig av miljövänlig mässing i form av Ecobrass, kan det med de relativt stora vinstmarginalerna vara fördelaktigt för företaget att tillverka komponenten med Ecobrass, även då detaljkostnaden blir högre. Men att använda sig av lågblyad mässing, som också borde anses som miljövänligt är troligtvis ännu smartare. En minskning av blyinnehållet i mässingen från 3.3 procent till lågblyad mässing med 0.2 procent medför en bly-minskning med 93.9 procent, medan en minskning från konventionell mässing till Ecobrass med 0.05 procent bly medför en bly-minskning på 98.5 procent. Båda alternativ medför en drastisk minskning av blyinnehållet. Ur hållbarhetssynpunkt är alltså är båda dessa alternativ ett mycket bättre val än den konventionella mässingen. När en försäljare ska motivera det för sina kunder låter båda alternativen troligtvis som ett miljövänligt alternativ. Marginalnyttan av att sänka blyinnehållet med ytterligare 0.15 procentenheter har troligtvis en försumbar inverkan på försäljningsargument i det här fallet. Dessutom är det svårt att garantera ett blyinnehåll under 0.05 % vilket leder till att det pratas om nivåer under 0.09 istället, detta medför att skillnaden mellan dessa båda alternativ sjunker till 0.11 procent istället. Att börja tillverka hylsan med lågblyad mässing i den nya maskinen är någonting som företaget redan idag undersöker närmare.

En möjlighet för att göra den ekonomiska skillnaden mellan tillverkningen av de olika materialen mindre, hade varit om företaget hade kunnat sälja materialsplillet från tillverkningen i Ecobrass dyrare. På så sätt skulle man kunna minska kostnaderna för att använda det alternativet. En ökning i försäljningspris för Ecobrass hade även motiverat den omständiga och kostsamma process, som det är att ställa om maskinen mellan de olika materialen.

Konsekvensen av att gå från 3- till 2-skift eller en ökad cykeltid är att produktionskapaciteten av antal producerade enheter kommer att minska, samt en marginell ökning av produktionskostnaden. Hur det hade påverkat den totala produktionen av företaget och ledtider är ingenting som det här projektet har tagit hänsyn till. Arbetet har inte heller tagit hänsyn till deras försäljning, vilka produkter de tillverkar i vilka maskiner eller studerat om det fanns någon begräsning tidigare som gjorde att tillverkningen var en flaskhals för ytterligare försäljning. En ökad tillverkningstakt kan i sin tur leda till fler detaljer och att företaget kan ta större marknadsandelar i Sverige och utomlands. Om företaget inte anser sig vara fullbelastade så är en optimering av cykeltiden inte någon nödvändighet för tillfället

med tanke på den begränsade kostnadsminskningen det medför. Taktförlust genom att köra med ökad cykeltid kan leda till att maskinen håller några extra år genom minskat slitage och troligtvis minska totala antalet kassationer. Det kan även leda till färre stillestånd genom till exempel minskat verktygsslitage.

Det har inte heller tagits hänsyn till eventuellt ökade stillestånd och minskade verktygskostnader vid ökade seriestorlekar. I dagsläget stannar de efter varje serie för att slipa om/ byta verktygen. Eventuellt hade de kunnat köra ännu fler detaljer innan man behöver stanna, men det är inget som har studerats närmre i det här projektet. Känslighetsanalyserna av seriestorlekarna visar mest på den begränsade inverkan av tillverkningskostnaden.

Att fortsätta med nytänkande idéer såsom att köpa in ihålig profilstång till kopplingsmuttern kommer visa sig vara väldigt kostnadseffektivt. Mindre material behöver bearbetas, vilket är ekonomiskt och skonsamt för verktygen. Cykeltiden och spånorna minskar genom att total mängd bearbetat material minskar för kopplingsmuttern, även verktygen kommer att hålla längre. Inköpskostnaden av en ihålig profilstång blir givetvis lite högre, men ökningen uppskattas vara relativt liten gentemot de positiva effekterna det medför. Om man hade tillverkat kopplingsmuttern från en massiv stång istället för profilstången som används i dagsläget, hade materialspillet ökat med cirka 60 procent, vilket hade lett till en kraftig kostnadsökning. Även andra kostnadsfaktorer hade påverkats negativt, till exempel hade verktygsslitage och därmed verktygskostnaden blivit högre, men det hade även medfört längre cykeltid och mer slitage på maskinen. En intressant tanke är om det hade varit möjligt att återanvända spillet från bearbetningen av profilstången till att göra en massiv stång som sedan kunde användas till hylsan eller andra mässingsdetaljer, som inte har någon fördel av att ha profilstång eller av att vara ihåliga från början.

Att tillverkningskostnaden följer en normalfördelningsfunktion har antagits genom centrala gränsvärdessatsen som beskrivs i teoridelen 2.2.1. Det finns vissa brister i förutsättningarna. Som till exempel kan det inte uteslutas att det finns beroenden mellan olika variabler som ingår i tillverkningskostnaden och att materialkostnaden är en så pass stor del av den totala kostnaden. För att verifiera att totalkostnaden följer en normalfördelning har det även gjorts en analys med fördelningspapper vilket styrker att en normalfördelning är aktuellt i det här fallet.

När det gäller kostnadsskillnaderna för hylsan med de olika materialen visar det sig att förutom inköpskostnaden av material är det den ökade cykeltiden som är anledningen till skillnaderna. Som experiment har en kostnadsanalys gjorts på vad som händer om cykeltiden reduceras från 6.8 till 3.9 sekunder för hylsan gjord i Ecobrass. Resultatet blir att materialkostnaderna står för hela 92 procent av kostnadsskillnaderna och att den totala kostnadsskillnaden är 49 procent dyrare till skillnad från de tidigare 63 procenten.

Det ska även tilläggas att äldre maskiner från 70-talet behöver bytas ut då de troligtvis är inne på sina sista år. Inköp av nya maskiner har mer än bara kostnaden per detalj att ta hänsyn till, då en ny maskin till exempel kan öka produktionstakten, minska personalbehovet, minska ställtiden och troligtvis minska verktygskostnaden genom användandet av bättre och billigare verktyg som till exempel vändskär vilket används i stor utsträckning i den nya maskinen. Den nya maskinen lämnar dessutom betydligt mycket mindre spill per stång än de konventionella maskinerna tack vare nya lösningar. Företaget har eventuellt tagit bort en flaskhals, då de kan tillverka fler enheter genom investeringen av den nya maskinen. Fler investeringar i nya och

moderna maskiner kan möjligtvis också eliminera fler av dagens flaskhalsar och därigenom öka antalet producerade enheter, förutsatt att efterfrågan finns.

En annan del som inte har tagits hänsyn till är beroendefaktorn mellan olika variabler av tillverkningskostnaden. Det kan exempelvis vara beroenden mellan stillestånd och kassationer. Men känslighetsanalyserna visar på ett robust resultat och att de eventuella beroendena därmed inte har någon större inverkan. Det som hade hänt är att standardavvikelsen hade ökat något, men den är redan så pass låg hos alla detaljerna att det anses vara försumbart.

Från intervjuer med olika personer på företaget har det konstaterats att Ecobrass-materialet är besvärligt att bearbeta och medför mycket slitage på verktygen, jämfört med lågblyad och konventionell mässing. Motiverande faktorer för företaget att fortsätta med materialet trots problemen är om det kan medföra ett eventuellt försprång om EU-lagar i framtiden förbjuder bly över 0.1 procent, som de redan har genomfört på andra områden, mässing är mer av ett undantag. En annan faktor kan vara goodwill-effekten, då en ökad miljömedvetenhet hos företagets framtida kunder väljer deras produkt framför konkurrenternas, eftersom deras produkt är det mer hälsosamma och miljövänliga alternativet.

Det kan även spekuleras i att med en ökad miljöhänsyn från många företags sida, kommer efterfrågan av Ecobrass att öka och det kommer ta tid för utbudet att hänga med vilket leder till högre materialkostnader. Efterhand kommer troligtvis marknaden att justeras, vilket i sin tur medför att utbudet kommer att möta den ökade efterfrågan och det leder i sin tur till lägre priser. Ett krav för att det ska hända är dock att det behövs fler aktörer på marknaden som ökar konkurrensen.

De 8 olika investeringsalternativen (H1K-H4E) visar att om man har en investering som är 166 % dyrare, mellan en maskin som kostar 3 miljoner och en som kostar 8 miljoner, vilket medför att det endast är en ökning på ca 10-11 % av detaljkostnaden i slutändan. Detta beror på att denna investeringskostnad står för en liten del av den totala kostnadsdelen för produkten, vilket i sin tur är en följd av massproduktion och att materialet tar så pass stor del av detaljkostnaden som det gör.

7 Slutsats

En generell slutsats för samtliga detaljer i det här projektet är att materialkostnaden står för en stor del av kostnaden och så länge skillnaderna i inköpskostnad för de olika materialen inte minskar är det inte ekonomiskt försvarbart att tillverka detaljerna av de mer miljövänliga alternativen. För företag som vill arbeta med en miljövänligare mässingssammansättning föreslås lågblyad mässing framför Ecobrass. Dels på grund av inköpspriset av materialet, som står för en stor kostnadsandel, men även för att det är ett mer lättbearbetat material än Ecobrass. Marginalnyttan mellan de miljövänliga materialen anses inte vara stark nog för att välja det miljövänligaste alternativet.

Författarna uppmanar företaget att:

- Fortsätta använda lågblyad mässing i sin nya maskin och försöka utveckla sina processer så att MTW hylsan och andra detaljer kan tillverkas i maskinen.
- Att avvakta med att tillverka fler detaljer av Ecobrass, förutsatt att inte inköpspriserna faller eller införandet av striktare EU-regler som ställer krav på blyinnehållet.
- Jobba mer med smarta lösningar som ihålig profilstång för att minska materialspillet och bearbetningsbehovet, då det har inverkan på materialspill, cykeltid och verktygsförslitning.
- Försöka uppfylla sitt mål med full beläggning på sin nya maskin. Den nya maskinen kan tack vare ny teknik optimera bearbetningen genom snabbare och stabilare bearbetningsoperationer. Även minska kostnaderna genom billigare verktyg, kortare ställtider och stillestånd.
- Om inte belägningsgraden är 100 procent, finns det ingen anledning att pressa den nya maskinen med korta cykeltider mer än nödvändigt.

8 Vidare studier

För vidare studier på Markaryds Metallarmatur AB föreslås en undersökning om hur de kan hantera materialkostnaden på ett bättre sätt. Det vill säga, undersöka om det finns sätt att beställa in i större kvantiteter, mer specialvarianter för de olika detaljerna som till exempel ihålig profilstång. Den ökade inköpskostnaden kan motiveras genom bland annat lägre cykeltider, materialspill och verktygsslitage. En annan del kan vara att undersöka om det är möjligt för företaget att utveckla sin egen mässingåtervinning.

Varje år använder MMA cirka 1200 ton mässing, varav två tredjedelar av detta är materialspill. Inköpskostnaden av den konventionella mässingen är 38,50 kr/kg och har säljpriset 30,50 kr/kg. Det blir en årskostnad på 6,4 miljoner kronor, vilket motsvarar över 40 procent av MMAs årliga vinst. Det finns alltså en stark ekonomisk drivkraft att utveckla en egen mässingsåtervinning.

9 Referenser

9.1 Litteratur

- [21] Ståhl, J.-E. (2013). Development of Manufacturing Systems – The link between technology and economics. Lund University, division of production and materials engineering.
- [26] Gunnar Blom, Jan Enger, Gunnar Englund, Jan Grandell, Lars Holst. Femte upplagan (2011) Sannorlikhetsteori och statistikteori med tillämpningar
- [29] Metropolis, N. (1987). THE BEGINNING of the MONTE CARLO METHOD. Los Alamos Science.

9.2 Elektronisk

- [1] ”Evosense”, hämtad den 23 oktober, 2015 från [mma.se](http://www.mma.se/evosense/): <http://www.mma.se/evosense/>
- [4] ”Evosense-Thermostatic head”, hämtad den 23 oktober, 2015 från [MMA.se](http://www.mma.se/en/produkter/evosense-thermostatic-head/): <http://www.mma.se/en/produkter/evosense-thermostatic-head/>
- [5] "Mässing." hämtad den 10 september, 2015 från Nationalencyklopedin: <http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/massing>
- [6] "Brass." How Products Are Made. 2001. hämtad den 10 september, 2015 från Encyclopedia.com: <http://www.encyclopedia.com/doc/1G2-2897000023.html>
- [10] “Fakta om bly”, hämtad den 12 september, 2015 från Naturvårdsverket: <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Manniska/Miljogifter/Metaller/Bly-Pb/>
- [11] Frey, Rebecca. "Lead Poisoning." Gale Encyclopedia of Alternative Medicine. 2005. hämtad 9 november, 2015 från Encyclopedia.com: <http://www.encyclopedia.com/doc/1G2-3435100475.html>
- [13] “Blyutsläpp till luft”, hämtad den 12 september, 2015 från Naturvårdsverket: <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Bly-till-luft/>
- [15] Hämtad den 9 november, 2015 från [mma.se](http://www.mma.se/): <http://www.mma.se/>
- [17] ”Begränsningsventil VVC 20”, hämtad den 9 november, 2015 från [mma.se](http://www.mma.se/produkter/begransningsventil-vc-20/): <http://www.mma.se/produkter/begransningsventil-vc-20/>
- [18] ”Radiatorkoppel Flex”, hämtad den 9 november, 2015 från [mma.se](http://www.mma.se/produkter/radiatorkoppel-flex/): <http://www.mma.se/produkter/radiatorkoppel-flex/>

- [19] "Compare ISO 14001 and OHSAS 18001" hämtad den 16 september, 2015 från Integrated standards: <http://integrated-standards.com/compare-iso-14001-ohsas-18001.aspx>
- [20] "Kvalitet och miljö i fokus på mma.se", hämtad den 9 november, 2015 från MMA.se: <http://www.mma.se/om-mma/kvalitet-miljo/>
- [22] "Centrala gränsvärdessatsen" hämtad den 24 november från www.ne.se: [http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/centrala-gränsvärdessatsen](http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/centrala-gransvardessatsen)
- [23] "Normal Distribution" hämtad den 13 november, 2015 från Encyclopedia of mathematics: https://www.encyclopediaofmath.org/index.php/Normal_distribution
- [24] Hämtad den 13 november, 2015 från Wikipedia: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8c/Standard_deviation_diagram.svg
- [25] "Characteristics of the Weibull Distribution", hämtad den 1 november, 2015 från Weibull.com: <http://www.weibull.com/hotwire/issue14/relbasics14.htm>
- [27] "Maximum likelihood estimation" hämtad den 15 november från Engineering statistic handbook: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/apr/section4/apr412.htm>
- [28] "Stokastisk simulering och Monte Carlo-metoder", hämtad den 7 september, 2015 från Institutionen för informationsteknologi, Uppsala Universitet: <http://www.it.uu.se/edu/course/homepage/bervet2/lab/MC>
- [31] "RoHS 1 & 2" hämtad den 10 september, 2015 från Copper and brass fabricators council: http://www.cbfc.us/issues/issues_rohsI-II.php

9.3 Artiklar, årsredovisningar och nerladdade dokument

- [2] "Evosens" (2015). Hämtad den 9 november, 2015 från mma.se: <http://www.mma.se/wp-content/uploads/2015/06/3495928.pdf>
- [3] "Vax" (2014) Hämtad den 9 november, 2015 från MMA.se: http://www.mma.se/wp-content/uploads/2014/03/mma_om_vax.pdf

- [7] ”Machining brass” (2015), hämtad den 23 november 2015 från www.wieland.com:
http://www.wieland.com/mediaPool/content/media/en/datenblaetter/datenblaetter_z/z32_z33.pdf
- [8] ”Lågblyat, 510L” (2015), hämtad den 23 november 2015 från www.almag.it:
http://www.almag.it/uploads/doc/LFBCW510L_TN_EN.pdf
- [9] ”Lead free brass” (2015), hämtad den 23 november 2015 från www.wieland.com:
- [12] ”Toxicological profile for lead” (2007) hämtad 20 september från U.S. department of health and human services:
<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.pdf>
- [14] MMA AB (2015). Årsredovisning 2014 för MMA AB.
- [16] Rettig Group AB (2015). Årsredovisning 2014 för Rettig Group AB.
- [30] ”Matematisk statistik för M datorlaboration 1” (2014), hämtad 20 oktober från maths.lth.se:
http://www.maths.lth.se/matstat/kurser/fms035/labbar/fms035_lab1_14.pdf
- [32] ”Semistrukturerad intervju” hämtad den 16 december 2015 från:
<http://www.nada.kth.se/kurser/kth/2D1630/Intervjuteknik07.pdf>

9.4 Intervjuer

Kent Nilsson, produktionsdirektör på MMA. (kontinuerligt)

Thern Nilsson, produktionscoach på MMA. (kontinuerligt)

Sven-Erik Isaksson, Verktygsansvarig på MMA. (kontinuerligt)

Heinz Nordahl, Maskinoperatör på MMA. (kontinuerligt)

Millena Lindoff, Ekonomiansvarig på MMA. (kontinuerligt)

Ola Petersson, Kvalitetsansvarig på MMA. (kontinuerligt)

Alexander Kristensen, Maskinoperatör på MMA. (kontinuerligt)

10 Bilaga

10.1 Indata till MTW hylsa, konventionell mässing

10.1.1 Data som används av flera kostnadstermer.

Bet.	Beskrivning	Enhet	Min	Max
q _Q	Andel kassationer	Procentandel	0,2	
q _s	Andel produktionsstillestånd	Procentandel	0,5	
t ₀	Nominell cykeltid per detalj	Minuter	0,065	
U _{RP}	Utnyttjandegrad	Procentandel	100	
q _Q	Andel kassationer	Procentandel	0,2	
T _{plan}	Planerad produktionstid	h	3600	
T _{su}	Ställtid (omställningstid)	min	360	600
x _p	Utvecklingsfaktor – cykeltiden	Faktorandel	1	
x _{su}	Utvecklingsfaktor – omställningstid	Faktorandel	1	

10.1.2 Verktygskostnad

Beskrivning	Enhet	Kostnad/serie
Formstål 1	Kr	276
Formstål 2	Kr	276
Huvudborr	Kr	1166
Förborr	Kr	947
Vändskär	Kr	300
Brotsch	Kr	2195
Bakborrningsborr	Kr	800
Stickstål	Kr	307

10.1.3 Materialkostnad

Bet.	Beskrivning	Enhet	Min	Max
k _M	Materialkostnad per kilogram	Kr/kg	38,5	
V _{spill}	Volym av spill vid tillverkning av en detalj	Kg	0,035	
V _{tot}	Totala vikten av detaljen innan bearbetning	Kg	0,046	
V _{det}	Vikt detalj	Kg	0,011	
r	Returpris	Kr/kg	30,5	

10.1.4 Maskinkostnad

Bet.	Beskrivning	Enhet	Min	Max
K ₀	Grundinvesteringen	MKr	2,8	3,2
k _{ren}	Nuvarande renoveringskostnader i förhållande till K ₀	Procentandel	5	
p	Kalkylränta	Procent	3	5
k _{Mh}	Planerad underhållskostnad per timme	Kr/h	381	
h _{PM}	Antal timmar innan nästa underhåll	h	300	
k _{ph}	Rörliga maskintimkostnaden under drift	Kr/h	40	
N _{ren}	Antal renoveringar, utöver planerat underhåll, under n år	Styck	3	8
n	Antal år maskinen ska användas	år	32	38
k _y	Kostnad för avdelningens lokalyta/kvm	Kr/kvm	500	
Y	Lokalyta	kvm	48	
κ _c	Kostnadsfaktor för maskinkostnaden	Faktorandel	1	

10.1.5 Lönekostnad

Bet.	Beskrivning	Enhet	Min	Max
	Lönekostnad per arbetare	Kr/h	305	
κ _D	Kostnadsfaktor för lönekostnaden	Faktorandel	1	
	Antal arbetare	Styck	0,5	
	Arbetseffektivitet	Procent	80	

10.1.6 Tvättning och ytbehandling

Bet.	Beskrivning	Enhet	Min	Max
	Kostnad för tvättning	Kr/st	0,2137	
	Kostnad för ytbehandling	Kr/st	0	

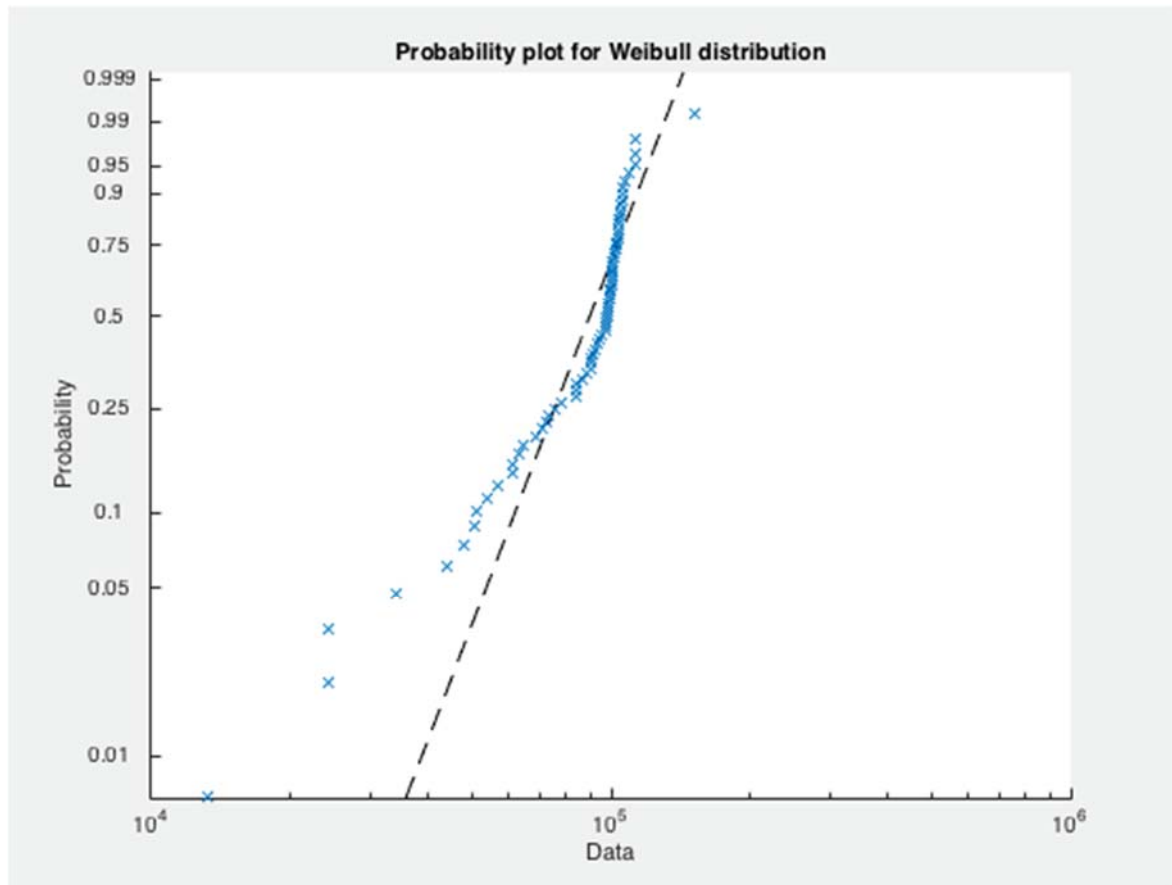
10.1.7 Seriestorlek

Weibullfördelning med parametrarna:

Alfa: 4

Beta: 96134

Medelvärde: 87 860 stycken



10.2 Indata till MTW hylsa, Ecobrass

10.2.1 Data som används av flera kostnadstermer.

Bet.	Beskrivning	Enhet	Min	Max
q _Q	Andel kassationer	Procentandel	2,2	
q _s	Andel produktionsstillestånd	Procentandel	2,6	7
t ₀	Nominell cykeltid per detalj	Minuter	0,113	
U _{RP}	Utnyttjandegrad	Procentandel	100	
q _Q	Andel kassationer	Procentandel	2,2	
q _s	Andel produktionsstillestånd	Procentandel	2,2	
T _{plan}	Planerad produktionstid	h	3600	
T _{su}	Ställtid (omställningstid)	min	360	600
x _p	Utvecklingsfaktor – cykeltiden	Faktorandel	1	

10.2.2 Verktygskostnad

Beskrivning	Enhet	Kostnad/serie
Formstål 1	Kr	276
Formstål 2	Kr	276
Huvudborr	Kr	1166
Förborr	Kr	947
Vändskär	Kr	300
Brotsch	Kr	2195
Bakborrningsborr	Kr	800
Stickstål	Kr	307
Justeringar	Kr	3158

10.2.3 Materialkostnad

Bet.	Beskrivning	Enhet	Min	Max
k_M	Materialkostnad per kilogram	Kr/kg	53,6	
V_{spill}	Volym av spill vid tillverkning av en detalj	Kg	0,035	
V_{tot}	Totala vikten av detaljen innan bearbetning	Kg	0,046	
V_{det}	Vikt detalj	Kg	0,011	
r	Returpris	Kr/kg	30,5	

10.2.4 Maskinkostnad

Bet.	Beskrivning	Enhet	Min	Max
K_0	Grundinvesteringen	MKr	2,8	3,2
k_{ren}	Nuvarande renoveringskostnader i förhållande till K_0	Procentandel	5	
p	Kalkylränta	Procent	3	5
k_{Mh}	Planerad underhållskostnad per timme	Kr/h	381	
h_{PM}	Antal timmar innan nästa underhåll	h	300	
k_{ph}	Rörliga maskintimkostnaden under drift	Kr/h	40	
N_{ren}	Antal renoveringar, utöver planerat underhåll, under n år	Styck	3	8
n	Antal år maskinen ska användas	år	32	38
k_y	Kostnad för avdelningens lokalyta/kvm	Kr/kvm	500	
Y	Lokalyta	kvm	48	
K_c	Kostnadsfaktor för maskinkostnaden	Faktorandel	1	

10.2.5 Lönekostnad

Bet.	Beskrivning	Enhet	Min	Max
	Lönekostnad per arbetare	Kr/h	305	
K_D	Kostnadsfaktor för lönekostnaden	Faktorandel	1	
	Antal arbetare	Styck	0,5	
	Arbetseffektivitet	Procent	80	

10.2.6 Tvättning och ytbehandling

Bet.	Beskrivning	Enhet	Min	Max
	Kostnad för tvättning	Kr/st		0,2137
	Kostnad för ytbehandling	Kr/st		0

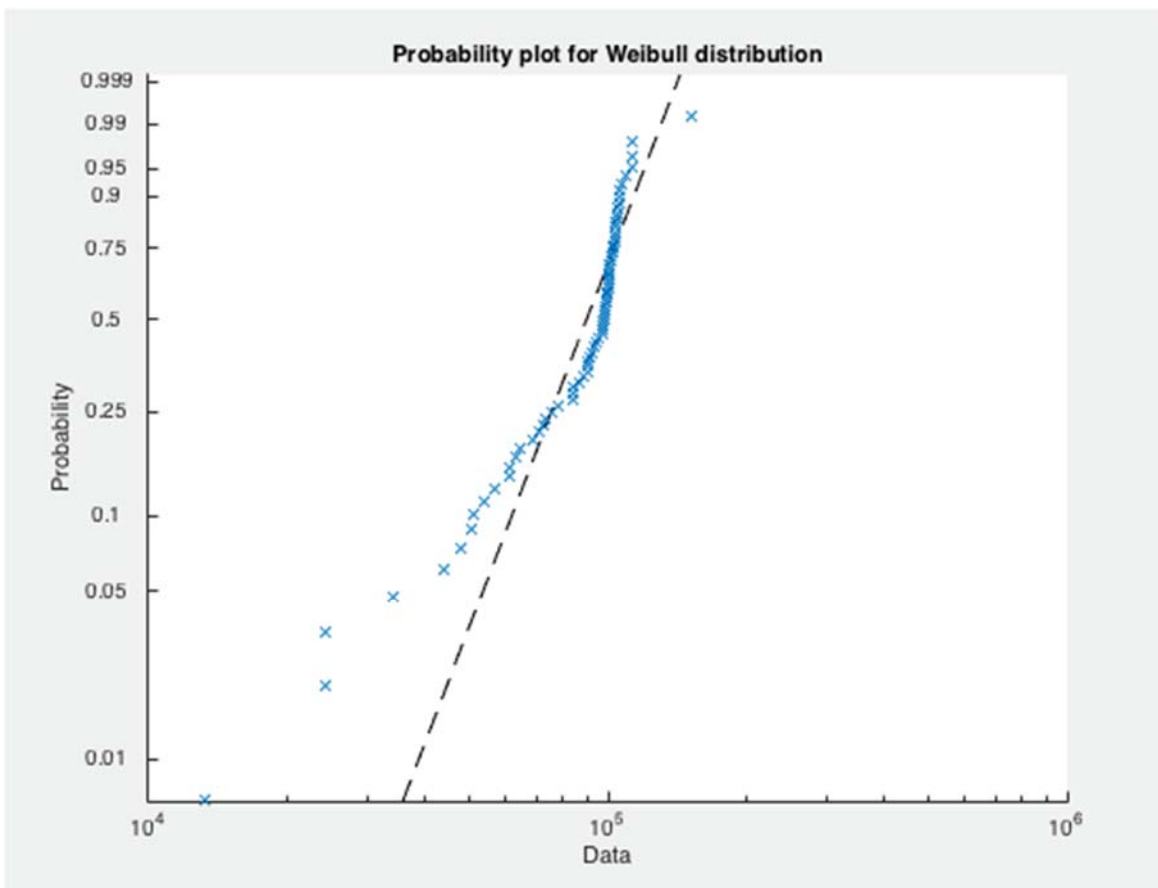
10.2.7 Seriestorlek

Weibullfördelning med parametrarna:

Alfa: 4

Beta: 96134

Medelvärde: 87 860 stycken



10.3 Indata till kopplingsmutter, Lågblead mässing

10.3.1 Data som används av flera kostnadstermer.

Bet.	Beskrivning	Enhet	Min	Max
q _Q	Andel kassationer	Procentandel	0,2	
q _s	Andel produktionsstillestånd	Procentandel	0	
t ₀	Nominell cykeltid per detalj	Minuter	0,058	
U _{RP}	Utnyttjandegrad	Procentandel	100	
T _{plan}	Planerad produktionstid	h	4500	
T _{su}	Ställtid (omställningstid)	min	180	300
x _p	Utvecklingsfaktor – cykeltiden	Faktorandel	1	

10.3.2 Verktygskostnad

Tillverkning av backarna

Operation	Maskintimkostnad	Bemannat(h)	Obemannat(h)	Kostnad (Kr)
Gnistning	341	10-15	45-50	
Fräsning	421	4	14	
Kapning	200	4,5	-	
Svarvning	200	4,5	-	
Borrning	200	4,5	-	
Uppritning	-	4	-	
Härdning				600
Externa kostnader				105 500

Verktyg

Beskrivning	Enhet	Kostnad/serie
Sågklinga	Kr	500
Vändskär 1	Kr	50
Vändskär 2	Kr	50
Vändskär 3	Kr	50
Vändskär 4	Kr	73
Vändskär 5	Kr	73
Diamantskär 1	Kr	179
Diamantskär 2	Kr	179
Gängtapp	Kr	1091

10.3.3 Materialkostnad

Bet.	Beskrivning	Enhet	Min	Max
k_M	Materialkostnad per kilogram	Kr/kg	46,7	
v_{spill}	Volym av spill vid tillverkning av en detalj	Kg	0,0237	
v_{tot}	Totala vikten av detaljen innan bearbetning	Kg	0,043	
v_{det}	Vikt detalj	Kg	0,0193	
r	Returpris	Kr/kg	30,5	

10.3.4 Maskinkostnad

Bet.	Beskrivning	Enhet	Min	Max
K_0	Grundinvesteringen	MKr	12	13
k_{ren}	Nuvarande reoveringskostnader i förhållande till K_0	Procentandel	3	
p	Kalkylränta	Procent	3	5
k_{Mh}	Planerad underhållskostnad per timme	Kr/h	381	
h_{PM}	Antal timmar innan nästa underhåll	h	300	
k_{ph}	Rörliga maskintimkostnaden under drift	Kr/h	50	
N_{ren}	Antal reoveringar, utöver planerat underhåll, under n år	Styck	1	5
n	Antal år maskinen ska användas	år	15	25
k_y	Kostnad för avdelningens lokalyta/kvm	Kr/kvm	500	
Y	Lokalyta	kvm	96	
k_c	Kostnadsfaktor för maskinkostnaden	Faktorandel	1	

10.3.5 Lönekostnad

Bet.	Beskrivning	Enhet	Min	Max
	Lönekostnad per arbetare	Kr/h	305	
k_D	Kostnadsfaktor för lönekostnaden	Faktorandel	1	
	Antal arbetare	Styck	0,33	
	Arbetseffektivitet	Procent	80	

10.3.6 Tvättning och ytbehandling

Bet.	Beskrivning	Enhet	Min	Max
	Kostnad för tvättning	Kr/st		0,1604
	Kostnad för ytbehandling	Kr/st		0,3

10.3.7 Seriestorlek

Normalfördelning med parametrarna:

Väntevärde: 30 000

Standardavvikelse: 10 000

Då efterfrågan understiger 40 000 detaljer inom en sjudagarsperiod, så till verkar 40 000 detaljer, medan om det inom perioden överstiger 40 000 detaljer, så kommer det att öka med ett intervall på 1000 detaljer till dess att önskad seriestorlek är uppnådd.

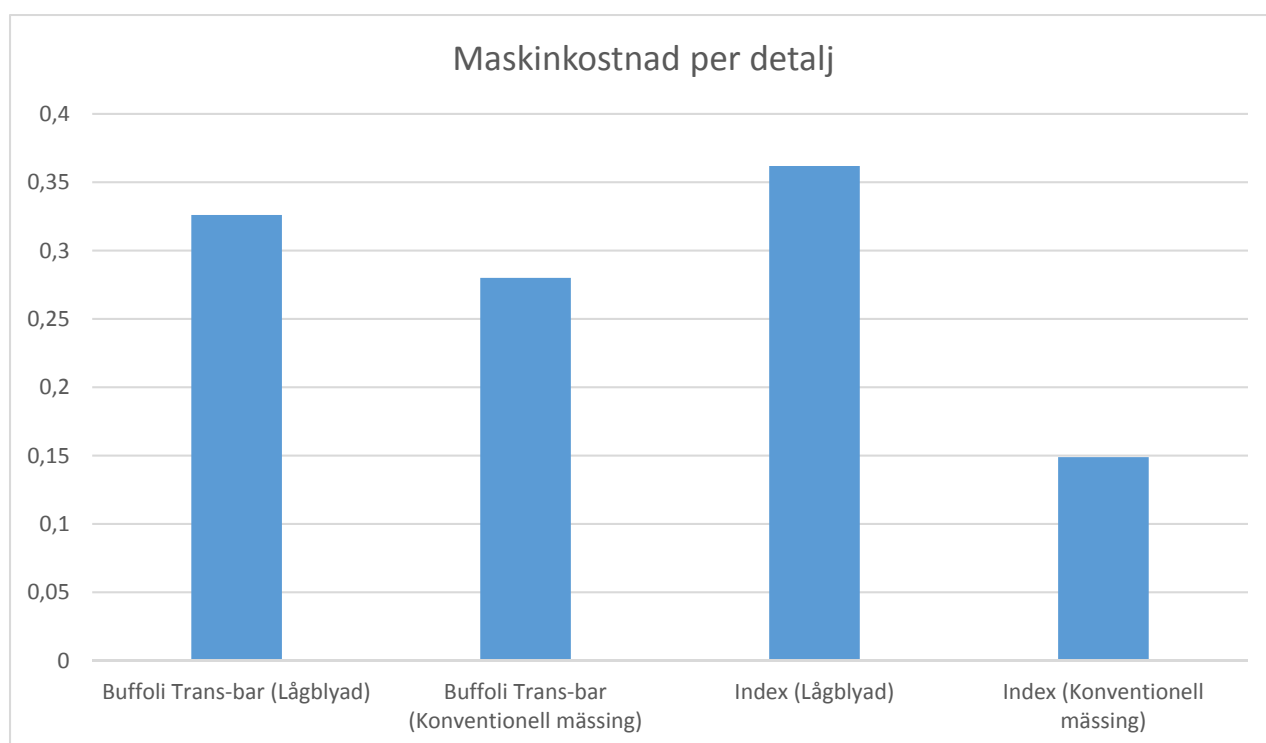
10.4 Kostnadsjämförelser för lön och maskinkostnader för kopplingsmuttern

Nedan ges kostnadsjämförelser mellan olika investeringsalternativ. Skillnaderna mellan alternativen är investeringskostnaden och de ändringar som har gjorts från indatan för kopplingsmuttern finns i tabellerna, övrig indata är samma som tidigare. De olika jämförelserna som har undersökts i detalj är maskinkostnaden under produktion och stillestånd, samt lönekostnaden.

Det ska tilläggas att den här analysen är grov och många parametrar kopplade till tillverkningskostnaden är generaliserade och speglar inte nödvändigtvis verkligheten. Dessa parametrar har en påverkan på resultatet. På grund av ofullständig data har författarna inte kunnat ta hänsyn till olika taktförluster, stillestånd, omställningstider, kassationer, utnyttjandet av råmaterialet och verktygskostnader för de olika maskinerna. Dessa delar påverkar med högsta sannolikhet Buffoli Tans-bar maskinen positivt.

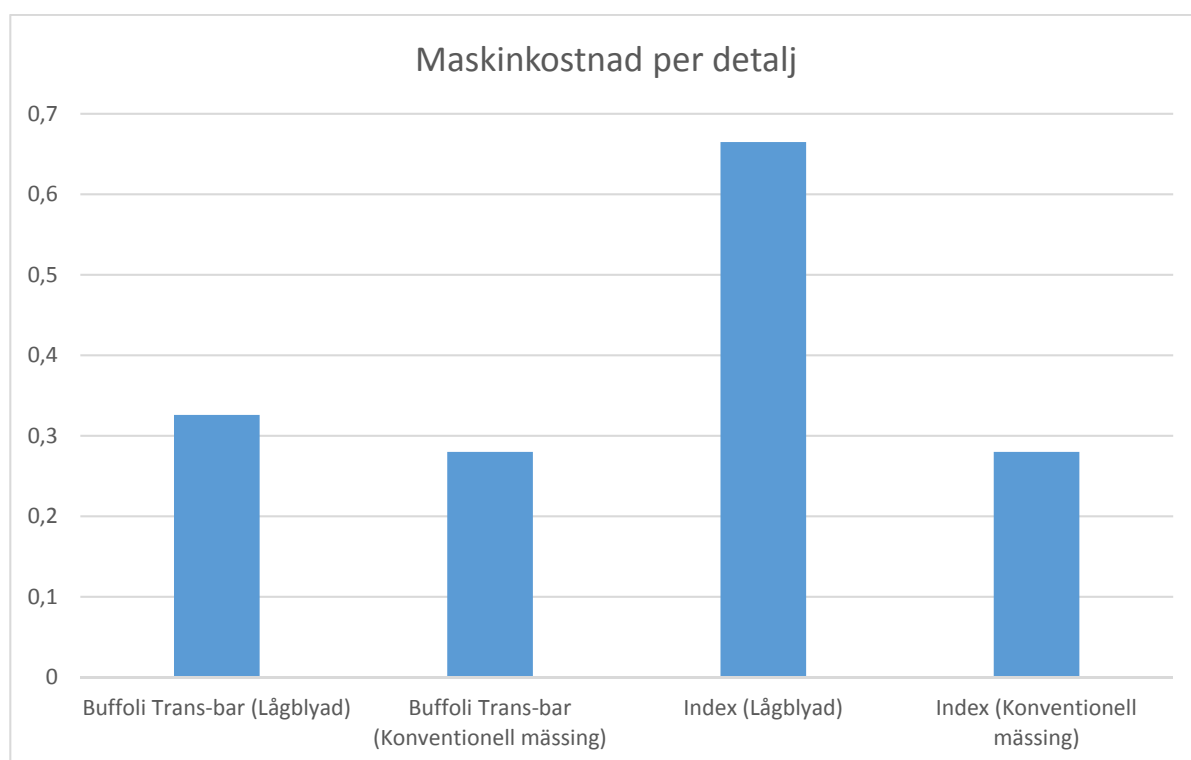
Kopplingsmutter – skillnader mellan gamla och nya maskinen, alternativ 1.

Maskin	Buffoli Trans-bar	Buffoli Trans-bar	Index	Index
Material	Lågblyad	Konventionell	Lågblyad	Konventionell
Investeringskostnad (mkr)	12,5	12,5	3	3
Cykeltid	3,2	2,7	10	4
Operatör	0,33	0,33	0,5	0,5
Livslängd (år)	10-20	10-20	10-20	10-20



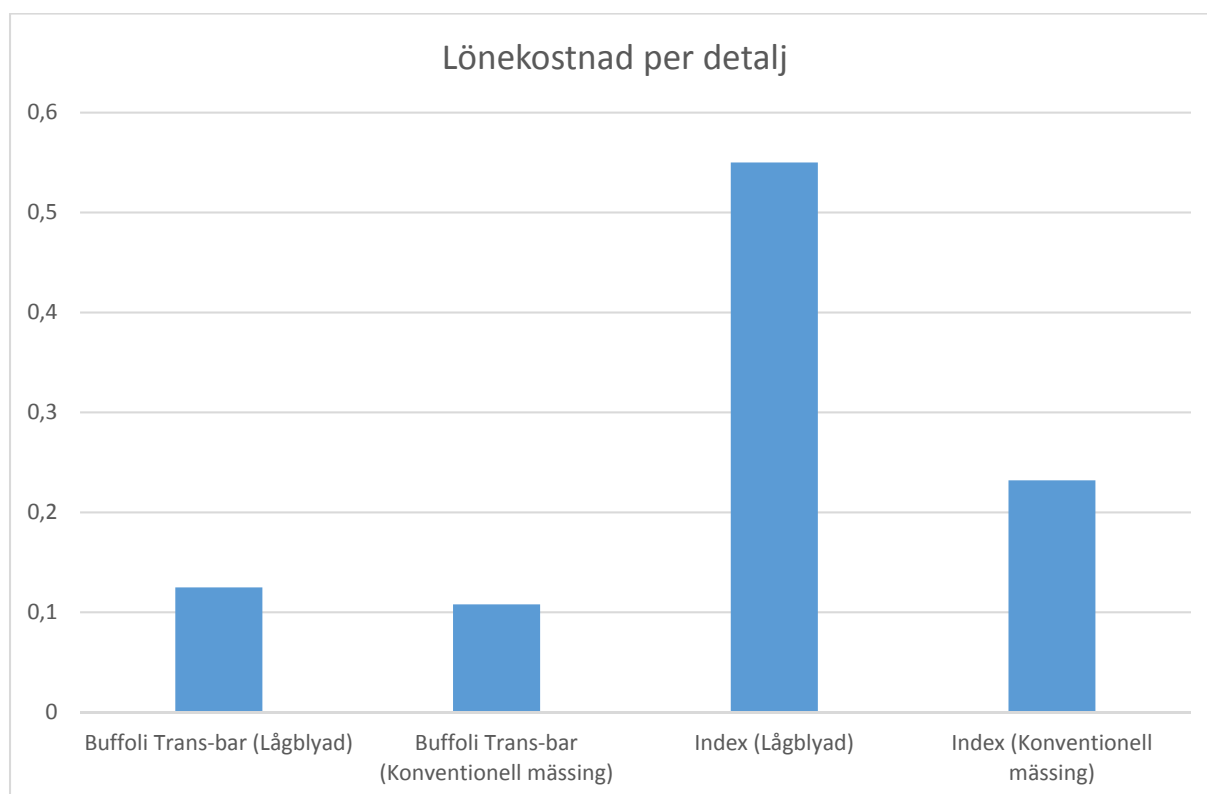
Kopplingsmutter – Skillnader mellan gamla och nya maskinen, alternativ 2.

Maskin	Buffoli Trans-bar	Buffoli Trans-bar	Index	Index
Material	Lågblyad	Konventionell	Lågblyad	Konventionell
Investeringskostnad (mkr)	12,5	12,5	8	8
Cykeltid	3,2	2,7	10	4
Operatör	0,33	0,33	0,5	0,5
Livslängd (år)	10-20	10-20	10-20	10-20



Kopplingsmutter – Skillnader mellan gamla och nya maskinen, alternativ 1 och 2. Lönekostnaden påverkas inte av investeringskostnaden.

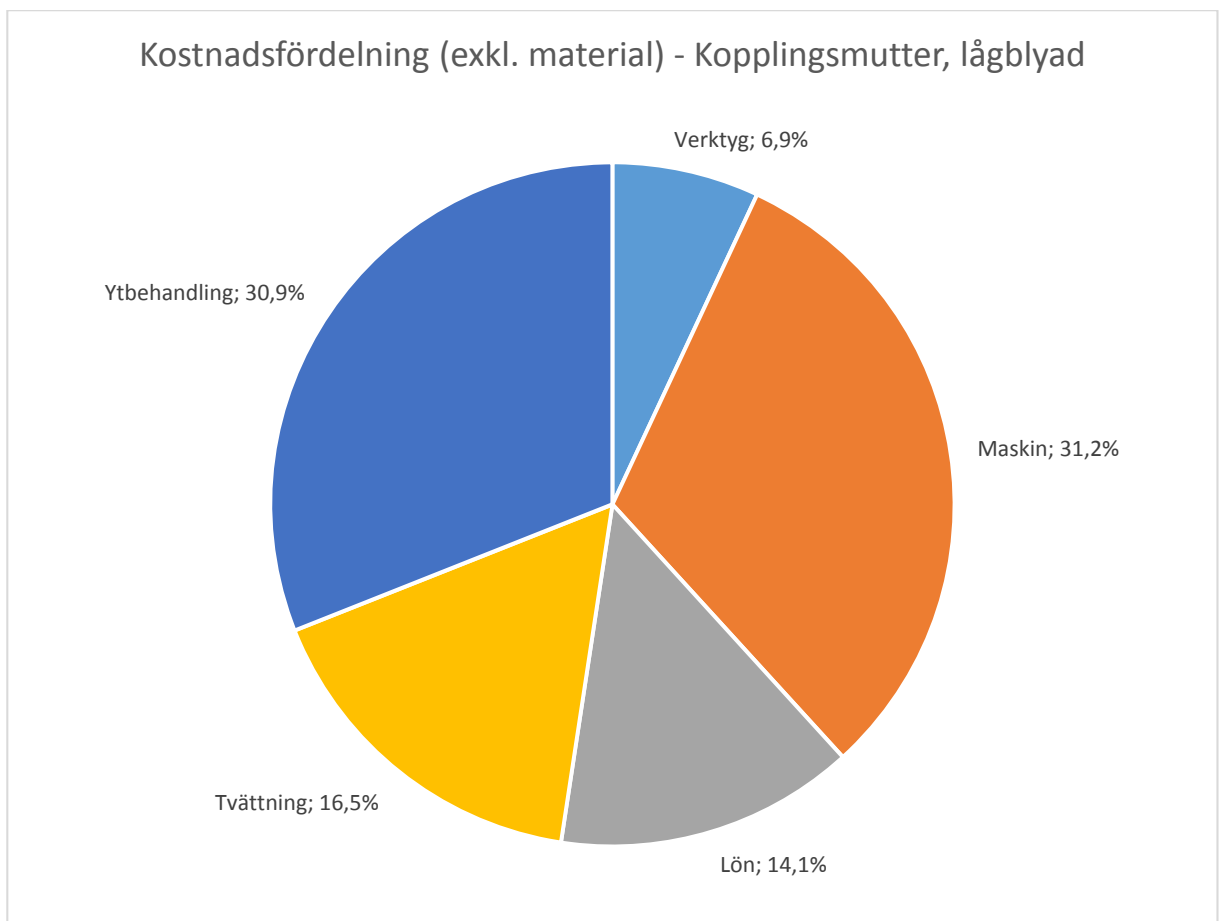
Maskin	Buffoli Trans-bar	Buffoli Trans-bar	Index	Index
Material	Lågblyad	Konventionell	Lågblyad	Konventionell
Investeringskostnad (mkr)	12,5	12,5	3/8	3/8
Cykeltid	3,2	2,7	10	4
Arbetare	0,33	0,33	0,5	0,5



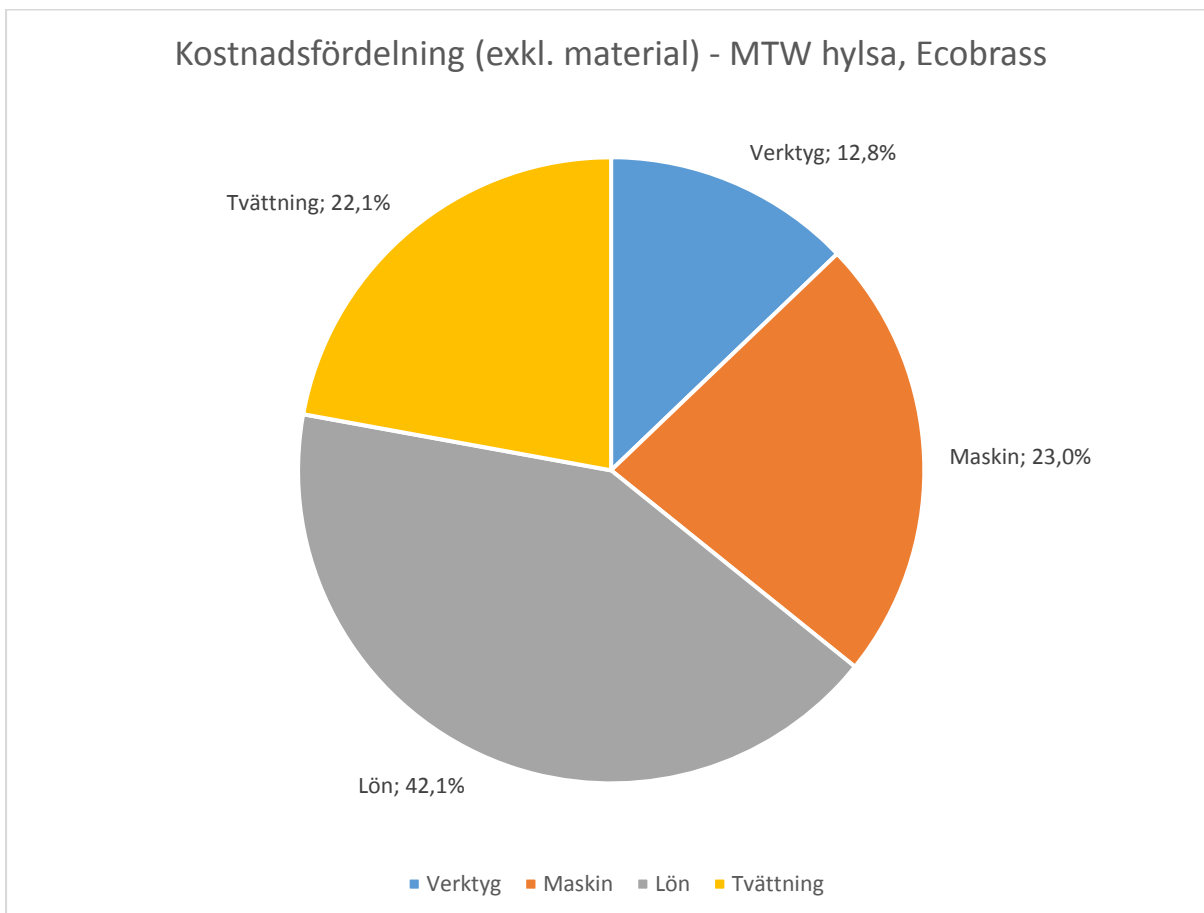
10.5 Kostnadsfördelning för komponenterna exklusive material.

Beräkna kostnadsfördelningen, exklusive material.

Kostnadsterm	Procentandel	Kostnad kr/detalj
Verktyg	6,9	0,067
Maskin	31,2	0,302
Lön	14,1	0,137
Tvättning	16,5	0,160
Ytbehandling	30,9	0,30



Kostnadsterm	Procentandel	Kostnad kr/detalj
Verktyg	12,8	0,124
Maskin	23,0	0,22
Lön	42,1	0,41
Tvättning	22,1	0,21



Kostnadsterm	Procentandel	Kostnad kr/detalj
Verktyg	13,5	0,089
Maskin	19,0	0,125
Lön	34,7	0,228
Tvättning	32,5	0,214

