



CHALMERS



Införande av Statistisk processtyrning i kemiindustrin

För en ökad kontroll och styrning

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Ekonomi och
produktionsteknik

**ANTON GUSTAFSSON
MATTIAS WEDIN**

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP VT22

Införande av Statistisk processtyrning i kemiindustrin

För en ökad kontroll och styrning

ANTON GUSTAFSSON
MATTIAS WEDIN

INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2022

Införande av Statistisk processtyrning i kemiindustrin
För en ökad kontroll och styrning

ANTON GUSTAFSSON
MATTIAS WEDIN

© ANTON GUSTAFSSON, 2022
© MATTIAS WEDIN, 2022

Institutionen för Industri- och Materialvetenskap
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Sverige
Telefon +46 (0)31-772 1000

Samarbetspartner: BIM Kemi AB.
Omslag: Bild på BIM Kemi AB:s logo.

Göteborg, Sverige 2022

FÖRORD

Examensarbetet avslutar våra studier på Chalmers Tekniska Högskola och ger oss en högskoleingenjörsexamen inom Ekonomi och produktionsteknik. Rapporten motsvarande 15 högskolepoäng har skrivits på institutionen för Industri- och materialvetenskap.

Examensarbetet har utförts i samarbete med företaget BIM Kemi AB på plats ute i deras fabrik i Stenkullen.

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare på Chalmers, Torbjörn Ylipää, för ett gott stöd och engagemang kring det utförda arbetet. Ett stort tack riktas även till vår handledare på BIM Kemi, Karin Dahlberg, för ett varmt mottagande på företaget och all hjälp vi fått under projektet. Till sist vill vi även lyfta engagemanget och samarbetet med samtliga berörda parter på företaget som har bidragit med värdefullt material till arbetet, ett speciellt tack till de två produktansvariga, Adrian Ott och Petter Bragd.

SAMMANFATTNING

Rapporten syftar till att besvara vad som krävs för att implementera statistisk processtyrning i en industri. En metod som bygger på att statistisk mäta och kontrollera processer för att säkerställa att de fungerar till sin fulla potential. Statistisk processtyrning utvärderas utifrån hur det kan användas i styrande syfte samt hur det bidrar till ständiga förbättringar kring kvalitet inom produktion. Projektet bygger på ett samarbete med BIM Kemi AB som är verksamma inom kemikalieproduktion för pappersindustrin. En litteraturstudie och en nulägesbeskrivning ligger till grund för det praktiskt genomförda arbetet med att implementera styrdiagram samt tillämpa dessa med hjälp av larmregler. Vidare har faktorer analyserats ute i produktionen som orsakar variation, vilket är ett avgörande arbete inom statistisk processtyrning där målet är att eliminera urskiljbar variation. Resultatet visar dels hur styrdiagram kan tillämpas och tolkas i processer, samt hur ett statistiskt verktyg kan bidra till ökad styrning och kontroll. En ökad styrning och kontroll möjliggörs av att beslut kan stödjas med faktabaserat underlag då processens röst blir hörd. För att bidra till ständiga förbättringar har också alternativa arbetsmetoder tagits fram inför framtiden med avsikten att reducera variationer för ökad produktkvalitet och kontroll över tillverkningen.

Nyckelord: *Effektivitet, variation, kvalitet, kontrolldiagram, styrdiagram, processflöde, SPC.*

ABSTRACT

This thesis project aims to answer what is required to implement statistical process control in an industry. A method where statistics are used to measure and control processes in order to ensure that it runs to its full potential. Statistical process control is evaluated based on how it can be used for controlling purposes and how it contributes to continuous improvements in production. The project is based on a collaboration with BIM Kemi AB, a company active in chemical production for the paper industry. The creation and implementation of control charts, and how they are used combined with alarm rules, are based on a literature study and current situation analysis. Furthermore, factors that can cause variation in the production have been analyzed, which is a crucial work in statistical process control where the goal is to eliminate discernible variation. The results show how control diagrams can be applied and interpreted in processes, and how statistical tools can contribute to increased control. Increased steering and control are made possible when decisions can be based on data from the voice of the process. In order to contribute to continuous improvements, alternative working methods have also been developed for the future with the intention of reducing variation for increased product quality and control.

Keywords: *Efficiency, variation, quality, control charts, process flow, SPC.*

TERMINOLOGI

ARL: Average Run Length

SPC: Statistisk processtyrning / Statistisk processkontroll

VoC: Voice of the Customer (kundspecifikation)

VoP: Voice of the Process (kontrollgränser)

UCL: Upper Control Limit

LCL: Lower Control Limit

USL: Upper Specification Limit

LSL: Lower Specification Limit

Innehållsförteckning

1. INLEDNING.....	1
1.1 <i>Bakgrund.....</i>	<i>1</i>
1.1.1 BIM Kemi.....	1
1.1.2 Skumdämpare.....	1
1.1.3 BIM Bright.....	2
1.1.4 Bakgrund till projektet.....	2
1.2 <i>Syfte.....</i>	<i>2</i>
1.3 <i>Avgränsningar.....</i>	<i>2</i>
1.4 <i>Precisering av frågeställningen.....</i>	<i>3</i>
2. TEORI.....	4
2.1 <i>Kvalitet och dess definition.....</i>	<i>4</i>
2.1.1 ISO 9000: 2015.....	5
2.2 <i>Varför kvalitet är strategiskt viktigt för organisationer.....</i>	<i>5</i>
2.3 <i>Taguchi Quality Loss Function.....</i>	<i>6</i>
2.4 <i>Varför kvalitetsproblem fortsätter att uppstå.....</i>	<i>7</i>
2.5 <i>Six Sigma.....</i>	<i>7</i>
2.6 <i>Statistisk Processtyrning.....</i>	<i>8</i>
2.6.1 <i>Styrdiagram.....</i>	<i>9</i>
2.6.1.1 <i>Styrdiagrammets uppbyggnad.....</i>	<i>9</i>
2.6.1.2 <i>Faser av kontrolldiagram.....</i>	<i>10</i>
2.6.1.3 <i>Average run length.....</i>	<i>11</i>
2.6.1.4 <i>Xbar-R diagram.....</i>	<i>11</i>
2.6.1.5 <i>X-mR diagram.....</i>	<i>12</i>
2.6.1.6 <i>Varningssignaler för Shewhart kontrolldiagram.....</i>	<i>14</i>
2.6.1.7 <i>När kontrollgränserna bör revideras.....</i>	<i>15</i>
2.6.1.8 <i>EWMA.....</i>	<i>16</i>
2.6.1.8.1 <i>Design av EWMA.....</i>	<i>16</i>
2.6.1.9 <i>CUSUM.....</i>	<i>17</i>
2.6.1.9.1 <i>Tabellerat-CUSUM.....</i>	<i>18</i>
2.6.1.9.2 <i>Design av CUSUM kopplat till ARL.....</i>	<i>19</i>
2.6.1.9.3 <i>CUSUM med Fast Initial Response.....</i>	<i>20</i>
2.7 <i>Sannolikhetsdiagram för normalfördelning.....</i>	<i>20</i>
3. METOD.....	22
3.1 <i>Datainsamling.....</i>	<i>22</i>
3.1.1 <i>Litteraturstudie.....</i>	<i>22</i>
3.1.2 <i>Intervjuer.....</i>	<i>22</i>
3.1.3 <i>Analys av befintlig produktionsprocess.....</i>	<i>23</i>
3.1.4 <i>Analys av historiska data.....</i>	<i>23</i>
3.2 <i>Tillämpning av kontrolldiagram.....</i>	<i>23</i>
3.2.1 <i>Konstruering av kontrolldiagram.....</i>	<i>23</i>
3.3 <i>Utförande av normalfördelningstest.....</i>	<i>23</i>

3.4 Alternativa arbetsrutiner för framtidens kvalitetsarbete.....	24
3.5 Reliabilitet och validitet vid datainsamling.....	24
3.5.1 Reliabilitet	24
3.5.2 Validitet	24
3.6 Källkritiskt förhållningssätt.....	25
4. RESULTAT	26
4.1 Nulägesbeskrivning	26
4.1.1 Processflöde BIM Bright.....	26
4.1.2 Processflöde Skumdämpare.....	27
4.1.3 Val av kvalitetsparameter	28
4.1.3.1 BIM Bright.....	28
4.1.3.2 Skumdämpare.....	28
4.1.4 Problematik idag.....	28
4.1.4.1 BIM Bright.....	28
4.1.4.2 Skumdämpare.....	29
4.1.5 Dagens arbete med avvikelser	29
4.1.5.1 BIM Bright.....	29
4.1.5.2 Skumdämpare.....	30
4.1.5.3 Nuvarande arbetsflödet vid kvalitetskontroll	30
4.2 Förflyttad kvalitetskontroll för Skumdämpare.....	31
4.3 Normalfördelningsantagande BIM Bright.....	31
4.3.1 Normalfördelningsplot	32
4.3.2 Histogram med normalfördelningskurva.....	32
4.4 X-mR diagram.....	33
4.4.1 BIM Bright.....	33
4.4.2 Skumdämpare	34
5. ANALYS	36
5.1 Nuvarande tillstånd.....	36
5.1.1 BIM Kemis förutsättningar för styrdiagram.....	36
5.1.2 De tre orsakerna till variation.....	37
5.1.2.1 Ingående råvara	37
5.1.2.2 Operatör	38
5.1.2.3 Maskin.....	38
5.1.3 Dagens arbete med avvikelser	38
5.1.4 Relevanta larmregler att använda för X-mR diagram.....	39
5.1.5 Underlag för att revidera kontrollgränser.....	39
5.2 Analys av produkten BIM Bright.....	40
5.2.1 Möjliga orsaker till variation	40
5.2.2 Analys av normalfördelningstest.....	40
5.2.2.1 Normalfördelningsplot.....	40
5.2.2.2 Histogram med normalfördelningskurva	40
5.2.3 Analys av X-mR diagram	41
5.3 Analys av produkten Skumdämpare.....	42
5.3.1 Möjliga orsaker till variation	42
5.3.2 Placering av kvalitetskontroll	42
5.3.3 Analys av X-mR diagram	43

5.4 Fortsatt arbete mot ökad kvalitet	44
5.4.1 Nytt arbetsflöde för att öka kvalitet	46
6. SLUTSATS.....	48
6.1 Betydelsen av statistisk processtyrning.....	48
6.2 Införandet av styrdiagram.....	48
6.3 Det fortsatta arbetet med SPC mot ständiga förbättringar	49
6.4 Förslag på fortsatta forskning.....	49
7. REFERENSLISTA.....	50
8. BILAGOR.....	I

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

1.1.1 BIM Kemi

BIM Kemi AB är ett familjeägt kemiföretag som grundades av Peter Wållberg år 1973 och har idag ungefär 220 anställda världen över. Affärsidén är att erbjuda hållbara och kundanpassade kvalitetsprodukter samt koncept till papper- och pappersmassaindustrin. Konzepten är utvecklade för att förbättra kundernas processer och produkter genom exempelvis resursbesparingar i energi, vatten och träråvara eller att kunna ersätta plast med pappersfiber. Kunderna finns över nästan hela världen och BIM har lokal representation i de flesta papper- och pappersmassatillverkande länder. Tillverkning sker i Sverige, Norge, Finland och England.

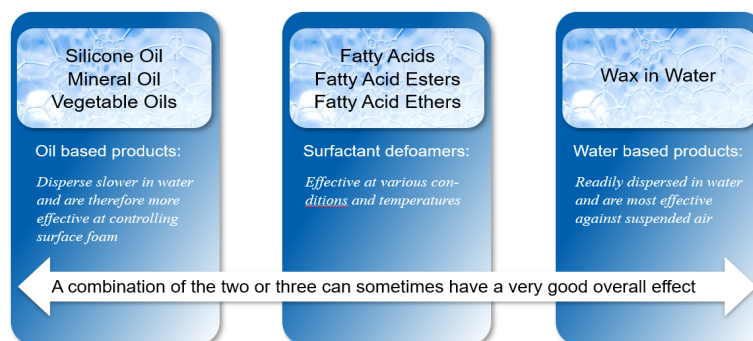
BIM Kemis grund bygger på att skapa större värde från få använda resurser så att världens begränsade tillgångar används mer effektivt. Med ett långsiktigt fokus på innovation, kundorienterad flexibilitet och hållbarhet utmärker sig BIM Kemi från andra genom:

- Ett starkt kundfokus.
- Snabb respons och korta ledtider vid framtagning av designade lösningar.
- Förmågan att kunna leverera unika produkter anpassade till den enskilda kunden.
- Att bevara sin position på marknaden som ett nischat företag med fokus på massa och pappersindustrin.

BIM Kemi erbjuder bland annat de två olika produkterna Skumdämpare och BIM Bright, som har varit fokus i projektet.

1.1.2 Skumdämpare

Luft och skum påverkar papperstillverkning negativt i form av problem med centrifugalpumpar samt kvalitet på papper. BIM Kemis Skumdämpare är en produkt för att reducera skum och luft inom papperstillverkning. Luft tränger sig in i processer, framför allt i de icke trycksatta processtegen, vidare kan också kallvatten innehålla en hög andel olöst luft. I regel avlägsnas luften från vätskan med tiden, men vid högre produktionstakt kan det krävas en Skumdämpare som påskyndar processen. BIM Kemi erbjuder följande tre varianter.



Figur 1: BIM Kemis tre Skumdämpare.

1.1.3 BIM Bright

BIM Bright är en blektillsats som i huvudsak består av magnesiumhydroxidpartiklar i vatten. Produkten har till syfte att kemiskt reagera med blekmedlet väteperoxid som då får sin blekande funktion. Dessutom hjälper BIM Bright till att skydda väteperoxiden från att brytas ner via andra ej önskade reaktioner.

1.1.4 Bakgrund till projektet

Utöver genomtänkta och hållbara produkter har även ett behov av ökat kvalitetsfokus i produktionen uppdragats. Då företaget har bristande kunskaper kring processvariation och processkontroll, infinner sig viss svårighet att producera med en hög och jämn kvalitet. Under senare tid har företaget haft utmaningar med att kontrollera variationer och har tvingats arbeta mer reaktivt än proaktivt. Skumdämpare och BIM Bright är två utmärkande produkter med produktionsproblem, varpå variationer i tillverkningsprocessen har gjort att kvaliteten på produkterna är varierande inom de nuvarande toleransgränserna. Nämnade brister ovan leder projektet in på ämnet statistisk processkontroll.

Förutom avsaknaden av statistisk processkontroll finns även behov för vidare analys av de nuvarande toleransgränserna för respektive produkt. I dagsläget är övre- och undre toleransgräns framtagna baserat på den kvalitet då produkten inte längre går att sälja till kund. Därmed krävs vidare analys över hur ett matematiskt samband för övre- och undre kontrollgränser kan tillämpas för att skapa möjligheter till bättre förståelse för när BIM Kemi skall agera på variationer. Slutligen saknar även BIM Kemi metoder för att dokumentera variationer inom produktion. Denna avsaknad resulterar i bristande underlag för hantering och beslut vid förbättringsarbete. Det ovan diskuterade problemområdena lägger grunden för det nedan formulerade syftet.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att analysera hur statistisk processtyrning kan tillämpas i ett företag verkande inom kemiindustrin. Målet är att öka företagets kunskaper kring hur variationer i produktionsprocesser kan hanteras för ökad kvalitet med hjälp av statistiska verktyg. Slutligen skall nya arbetsmetoder beaktas för att säkerställa att de statistiska verktygen används i arbetet mot reducerad variation och bidrar till ständiga förbättringar.

1.3 Avgränsningar

BIM Kemi genomför ett projekt över våren 2022 där examensarbetet är en central del. Här kommer arbetet att avgränsas till området statistisk processkontroll och förslag till arbetsrutiner för att reducera variation i processer.

Examensarbetet omfattar 15 högskolepoäng och begränsas till 20 veckors arbete. Arbetet kommer att behandla specifika delar av BIM Kemis produktion där två olika produkter analyseras. Denna prioriteringsplan har upprättats i samråd med handledare från företaget. Följaktligen kommer denna rapport inte behandla företagets alla produkter, rapporten kommer enbart i begränsad utsträckning behandla ekonomiska aspekter kopplat till kvaliteten i

produktion. Ett annat område som inte kommer behandlas i större utsträckning är företagets affärssystem IFS samt utbildning av projektgrupper.

Normalfördelningstestet kommer inte genomföras på produkten Skumdämpare då data är bristande. Vidare är det enbart den vax-baserade Skumdämparen av de tre olika varianterna som kommer behandlas i rapporten.

Slutligen är det upp till BIM Kemi att utifrån projektets resultat genomföra och implementera tänkbara förbättringar och övervaka framtida processer.

1.4 Precisering av frågeställningen

Följande frågor preciserar syftet och lägger grunden för kommande resultat samt analys.

1. Vad krävs för att implementera statistisk processtyrning?
2. Hur kan BIM Kemi utnyttja statistisk processtyrning inom sin produktion?
3. Hur sätts kontrollgränser och när ska de användas?
4. Vilka larmregler är relevanta för BIM Kemi?
5. Vilka arbetsrutiner kan vidtas för att reducera variation i processen kopplat till ständiga förbättringar?

2. TEORI

2.1 Kvalitet och dess definition

Hur kvalitet definieras kan variera på många sätt och beror bland annat på förväntningar som föreligger på en produkt eller tjänst. Förväntningar grundar sig ofta i vad produkten eller tjänsten är ämnad att utföra och därmed följer olika definitioner på vad kvalitet är i förhållande till omständigheten. En produkts kvalitet kan analyseras utifrån olika kvalitetsdimensioner. Nedan följer åtta dimensioner för hur kvalitet utvärderas och redovisas enligt Montgomery (2012).

Den första dimensionen är produktens *prestanda*. Prestanda besvarar om produkten kommer att klara av det den är ämnad för samt hur väl den utför uppgiften. Denna dimension är oftast avgörande för kunden då prestanda besvarar huruvida produkten kommer fylla sitt syfte för kundens ändamål. Prestanda utvärderas utefter de egenskaper som produkten besitter, exempelvis hur snabbt något kan utföras, noggrannhet i precision eller driftsäkerhet.

Den andra dimensionen som utvärderas är *pålitlighet*. Kvalitet bedöms även utifrån hur säkert det är att produkten kommer vara fungerande vid användning. Kunder bedömer kvaliteten hos en produkt baserat på pålitlighet, med andra ord anses en produkt som ofta är i behov av service som ett icke driftsäkert alternativ och kan bli ett störningsmoment. Ofta kräver komplexa produkter service under sin livscykel men då det sker alltför frekvent uppstår istället uppfattningen om dålig kvalitet.

Produktens *hållbarhet* är en annan kvalitetsdimension som beskriver hur väl och under hur lång tid en produkt kan prestera som önskat. Produktens effektiva livslängd anses vara en viktig aspekt när produktens kvalitet utvärderas. Generellt gäller att produktens livslängd skall vara lång för att det skall vara en hållbar investering för kunden.

Vidare är även produktens *möjlighet till reparation* en viktig kvalitetsdimension att ta i beaktning. För att en produkt skall anses vara en hållbar investering behöver det finnas möjligheter till reparation och service som inte är alltför kostsam eller tidskrävande.

En annan vinkel på kvalitet är den *estetiska* dimensionen, denna innehåller karaktärsdrag som design, färger, utformning av paketering etcetera. Den estetiska dimensionen innehåller faktorer som gör att åskådaren visuellt dras till produkten. Förenklat berör de estetiska aspekterna hur produkten upplevs och vad den utstrålar mot kund.

Nästa kvalitetsdimension tar produktens *funktioner* i beaktning vilket innebär vad produkten kan utföra. I denna dimension utvärderas en produkts funktioner utifrån vad som anses vara standard och krav. Erhåller en produkt färre funktioner än den allmänna förväntningen upplevs det som dålig kvalitet, om produkten däremot överträffar förväntan med mer funktioner än grundnivån eller jämfört med konkurrenter, upplevs det som hög kvalitet.

Upplevd kvalitet är en dimension som är mer kopplad till hur synen är på företaget som producerar produkten, alltså den allmänna bilden om företaget och dess varor. I många fall väljer kunden att köpa en produkt baserat på ett företags rykte och tidigare upplevd produktkvalitet. Dimensionen för hur kvalitet upplevs beror därav mycket på hur ofta en produkt felar samt hur kunden blir bemött av företaget då fel har inträffat. Därmed är även upplevd kvalitet, kundlojalitet och bevarande av affärsrelationer nära sammanbundna till varandra.

Den sista av de åtta kvalitetsdimensionerna är *överensstämmelse med standarder*. Dimensionen berör kvalitet beroende på hur väl den producerade produkten möter de mått som följer av en ritning, alltså såsom konstruktören har designat produkten. Dimensionen berör således kvaliteten på hur exakt tillverkningen klarar att producera en produkt utifrån utlovade dimensioner.

Kvalitet är baserat på flera dimensioner vilket gör området komplext att definiera. Montgomery (2012) diskuterar vidare den traditionella synen på kvalitet som baseras på att produkter och tjänster måste möta kraven uppsatta av dess användare. Den traditionella synen på kvalitet är alltså lämplighet för användning. Vidare tar författaren upp en mer modern tolkning av kvalitet där variationer ingår. Denna definition av kvalitet säger att ifall variation i de viktiga produktens egenskaper kan reduceras kommer även produktens kvalitet att öka. Kvalitet är därmed omvänt proportionell mot variabilitet. Ur denna definition blir det mer påtagligt med vikten av att arbeta med kvalitetsförbättringar genom att reducera variation i produkter och processer (Montgomery, 2012).

2.1.1 ISO 9000: 2015

En annan definition av kvalitet återfinns i serien ISO 9000: 2015 som berör ledningssystem för kvalitet. I denna serie av olika standarder summeras termer och metoder som berör kvalitetsledning. Genom att tillämpa ISO 9000:2015 kan en organisation både skaffa sig konkurrenskraftiga fördelar samt ökade möjligheter till att nå uppsatta mål. Exempel på konkurrenskraftiga fördelar genom tillämpning av denna standard är fler framgångsrika affärssamarbeten, bättre förståelse för kundens behov och slutligen förbättrad kommunikation både internt och externt (Svenska Institutet för Standarder [SIS], u.å.-b). En specifik standard som återfinns inom denna serie är ISO 9001:2015 som behandlar processer inom en verksamhet. Standarden har bland annat till syfte att stärka upp och effektivisera aktivitetsflöden i organisationen. Tre av grundprinciperna som ISO 9001:2015 baseras på är processinriktning, förbättring samt faktabaserade beslut (SIS, u.å.-a).

2.2 Varför kvalitet är strategiskt viktigt för organisationer

I en skrift av Sandholm (2020) rörande ledning, strategi och säkring behandlas hur förmågan hos en organisation att leverera kvalitet har en direkt påverkan på framgång. Denna framgång står och faller med huruvida organisationen lyckas erbjuda varor och tjänster som möter kundens behov. Kvalitet handlar om att göra rätt saker på rätt sätt. Vidare berörs en organisations kvalitetsarbete av att strategiskt arbeta med både kvalitetsutveckling samt

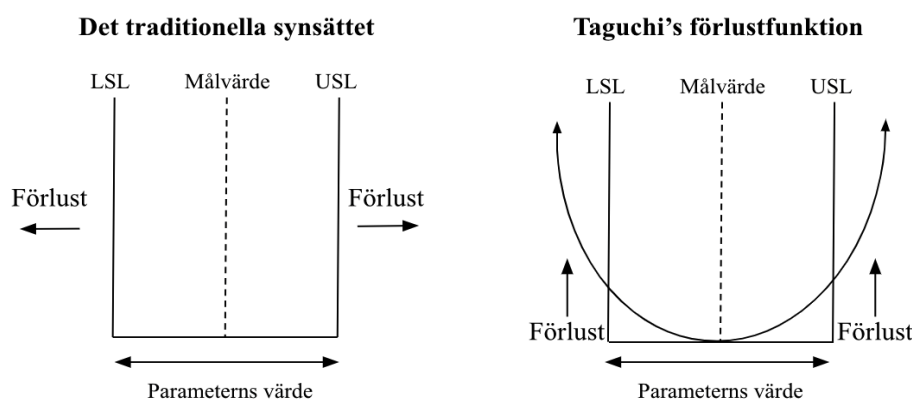
kvalitetssäkring för att erhålla både yttre och inre effektivitet inom organisationen. På så vis kan organisationen skapa högsta kundvärde samt undvika onödiga kostnader, brister och fel. En organisation som inte värderar kvalitet riskerar inte bara stora direkta kostnader som kan uppkomma i form av fel och brister, utan också indirekta kostnader såsom inkomstbortfall över ett långsiktigt tidsperspektiv (Sandholm, 2020).

Idag ses inte heller kvalitetsarbete som enbart en framgångsfaktor, utan något som kan kopplas till överlevnad på marknaden. En global kvalitetskonkurrens skapas av större länder såsom Kina och Indien där en målmedveten kvalitetsutveckling står i fokus. Vidare riskerar en verksamhet som inte följer denna utveckling att ses som ett lågprisalternativ (Sandholm, 2020).

2.3 Taguchi Quality Loss Function

Det traditionella sättet att se på kvalitetsförluster är att förlusten är noll då kvaliteten är innanför specifikationsgränserna (Lundell & Nagarajan, 2012). Förluster uppstår alltså bara då det producerade inte möter specifikationsgränserna och därmed inte går att sälja till kund.

Taguchi's förlustfunktion förklarar hur kvalitet och kostnad är kopplat till variation. Mer precist definierar Taguchi samspelet som förlusten vilket produkten tillför samhället från det att produkten är designad till att den skickas till kund (D.R. Kiran, 2017). Taguchi's förlustfunktion är en grafisk representation över hur förluster och missnöjdheten hos kund ökar i takt med att produktkvaliteten avviker från målvärdet (se figur 2). All variation som bidrar till avvikelser från målvärdet kommer leda till ökade förluster. Exempelvis kan dessa förluster vara produktionskostnader, ökad kostnad för omarbetning, funktionalitetsfel, underhålls- och reparationskostnader, ökad kundmissnöjdhet samt försämrat rykte (D.R. Kiran, 2017). Förlustfunktionen visar hur variation i processer påverkar en produkts värde negativt vilket i sin tur lyfter behovet av att införliva kvalitet och tillförlitlighet i konstruktionsstadiet innan produktionen startas, i syfte att minimera variationer.



Figur 2: Taguchi Quality loss function, inspirerad av webbsidan Lean Six Sigma Definition (u.å.).

Taguchi's grafiska illustration av förlustfunktionen visar att all variation innanför specifikationsgränserna är förlust för kunden då produkten inte är optimal, produkten svarar inte mot målvärdet men är fortfarande godtagbar. Medan all variation som går utanför

specifikationsgränserna är förlust för företaget då produkten inte går att sälja utan att korrigera dess kvalitet genom exempelvis omarbetning (D.R. Kiran, 2017).

2.4 Varför kvalitetsproblem fortsätter att uppstå

I Angel (2019) talar författaren om tre olika observationer som grundar sig i att kvalitetsproblem fortsätter att uppkomma hos företag. Den första observationen handlar om att företag i regel är för snabba med att finna en lösning till problemet och därigenom missar andra bättre tänkbara lösningar. Vidare påverkas också förmågan att implementera hållbara lösningar från början.

Den andra observationen handlar om att många företag inte uppfattar vikten av kvalitet. Företagen värderar inte kvalitetskulturen tillräckligt högt vilket återigen resulterar i snabba och reaktionära lösningar. Genom reaktionära lösningar kommer troligen kvalitetspraxis inte att få fäste inom företaget vilket påverkar både värderingar och utförande av arbetsaktiviteter.

Den sista observationen Angel tar upp i sin bok bygger på strategi, företag skaffar sig inte en strategi för kvalitet. Strategi sammanfattar följande tre observationer och här syftar Angel på vikten av att ha en faktiskt plan för att både leda förbättringsarbete, men också upprätthålla det. Bristen påverkar både dess kvalitetspraxis och beteende inom företaget. Exempel på faktorer som bidrar till problem inom företag kan kopplas till organisationens uppbyggnad och struktur, vilket handlar om vem som är ansvarig för resultat och vart i hierarkin kvalitetsavdelningen är placerad.

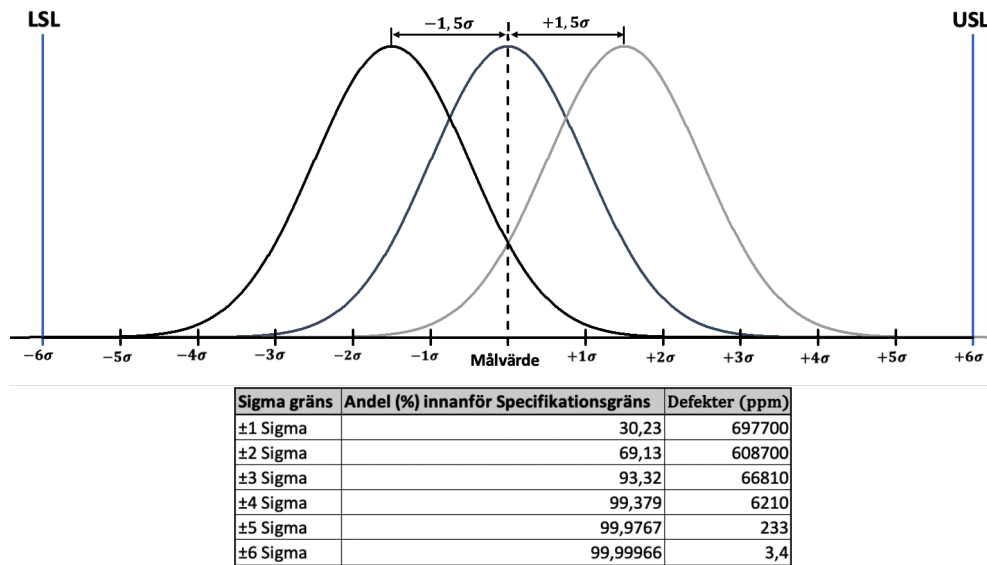
2.5 Six Sigma

Under senare delen av 1980-talet utvecklade Motorola ett program för att minska mängden variation i processer som var avgörande för produktkvaliteten. Motorolas program är det som benämns Six Sigma och där huvudfokus är att eliminera variation till den grad att defekter och fel är mycket osannolikt att inträffa (Montgomery, 2012). Implementering av Six Sigma i organisationer innebär att öka fokus på kundkrav, förebyggande av defekter, cykeltidsreducering och kostnadsbesparingar (Pyzdek & Keller, 2018).

Pyzdek & Keller skriver också att Six Sigma är ett processkvalitetsmål där sigma är ett statistiskt mått på variabiliteten hos processen. Six Sigma blir därmed ett sätt att analysera hur kapabel en process är att producera utan defekter. Målet med Motorolas Six Sigma koncept är att reducera variation i processer till en nivå att specifikationsgränserna är sex standardavvikelser från målvärdet (Pyzdek & Keller, 2018).

Ett antagande som tillämpades när Six Sigma skapades var att även då processen har uppnått en Six Sigma kvalitetsnivå är processens medelvärde fortfarande utsatt för störningar som kan skapa förflyttningar upp till 1,5 standardavvikelser från målvärdet. I en sådan situation innebär nivån för Six Sigma att 3,4 defekter tillverkas per miljon (se figur 3). Resultatet är därmed att även då medelvärdet förskjuts med 1,5 standardavvikelser från målvärdet, kan en

process med Six Sigma nivån ändå möta specifikationsgränserna så pass väl att endast 3,4 enheter blir defekta av en miljon tillverkade (Montgomery, 2012).



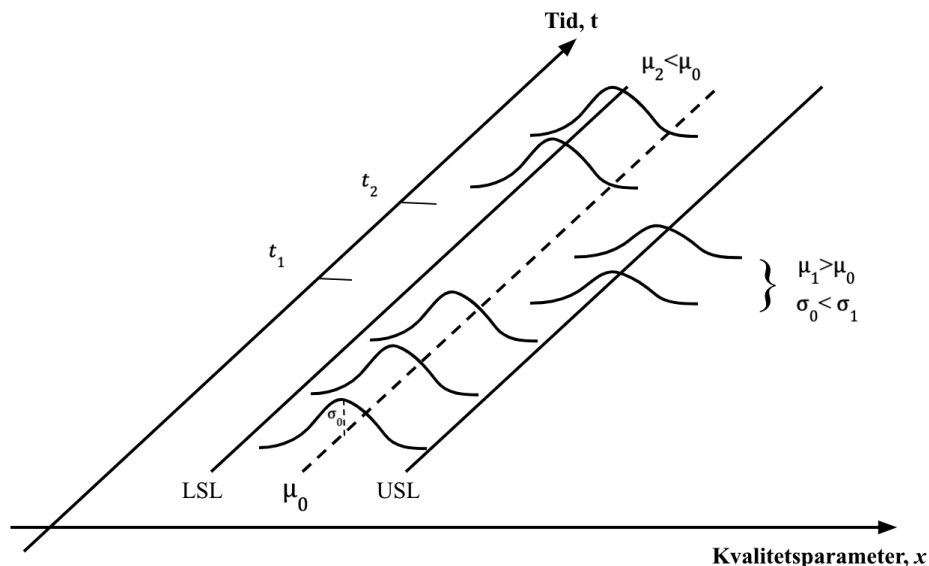
Figur 3: Antalet defekter per Sigma nivå för en process med skiftande medelvärde, inspirerad av Montgomery (2012, s. 28).

2.6 Statistisk Processtyrning

Statistisk processtyrning, SPC, är en samling verktyg där statistiska metoder används för att mäta och kontrollera en process i huvudsyfte att säkerställa att den fungerar i sin fulla potential. En process under SPC arbetar förutsägbart där variationer upptäcks samt korrigeras för att uppnå en högre kvalitet hos produkterna. Genom att förebygga problem i ett tidigt stadium möjliggör SPC ett minskat slöseri samt lägre risk att bristande kvalitet når kund (Madanhire & Mbohwa, 2016).

Generellt finns det alltid någon form av naturlig variation i en process. Oavsett hur noggrant underhållen eller kontrollerad en process är uppstår något som brukar benämnas "bakgrundsbrus". Bakgrundsbrus ses som den kumulativa effekten av många mindre slumpmässiga orsaker som kan anses oundvikliga. Inom SPC ses en process som enbart belastas av bakgrundsbrus vara i statistisk kontroll. Med andra ord accepteras dessa slumpmässiga orsaker och anses vara en del av processen (Montgomery, 2012).

Vidare enligt Montgomery existerar även variation som inte anses tillhöra det slumpmässiga och kan uppstå från framförallt tre olika källor, maskiner som är felaktigt justerade eller kontrollerade, råvara som innehåller defekter samt fel orsakade av operatör. Denna form av variation benämns oftast som "speciella orsaker". Till skillnad från bakgrundsbrus accepteras inte denna typ av urskiljbara variation inom SPC och en process som berörs av urskiljbar variation ses som en icke kontrollerbar process.



Figur 4: Illustration över hur en process påverkas av variation, inspirerad av Montgomery (2012, s. 190).

Variation som kommer från speciella orsaker påverkar en process på så vis att processens prestanda avviker från det som anses vara inom kontroll. Variation som inte är av slaget bakgrundsbrus resulterar bland annat i att processen får en skiftning i medel (se figur 4), antingen så att $\mu_1 > \mu_0$ eller $\mu_2 < \mu_0$, där μ_0 representerar processens medelvärde för inom kontroll och μ_1, μ_2 skildrar processens nya tillstånd. Urskiljbar variation kan även innebära att processens standardavvikelse förändras (Montgomery, 2012). En sådan förändring kan innebära att $\sigma_0 < \sigma_1$ (se figur 4), där σ_0 representerar processens standardavvikelse inom kontroll och σ_1 är processens nya standardavvikelse. Skiftningar som påverkar processens inom-kontrollvärden, μ_0 eller σ_0 , kan leda till att processen hamnar utom kontroll och orsakar att de producerade enheterna inte möter specifikationsgränserna (Montgomery, 2012).

2.6.1 Styrdiagram

Styrdiagram är ett viktigt verktyg inom statistisk processtyrning som under tid samlar ett antal observationer vilket sedan ligger till grund för en kvalitetsindikator. Genom styrdiagram visualiseras processen över tid och förändringar synliggörs (Montgomery, 2012).

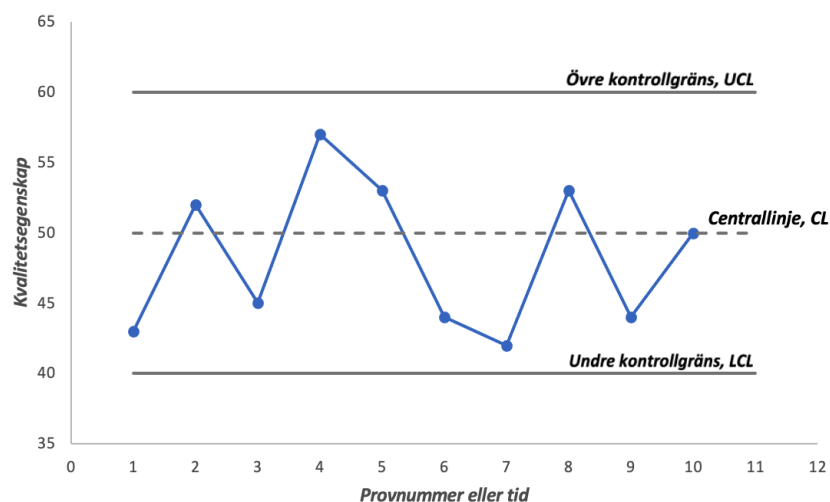
Syftet med styrdiagram är att visualisera händelser och trender som kan ge underlag till förbättringsarbete av processen. Användandet av styrdiagram kan tillämpas inom flera arbetsområden. Dels används styrdiagram för att hitta urskiljbara orsaker i en instabil process, men också för att övervaka, analysera samt larma vid förändringar av en stabil process (Oakland, 2008).

2.6.1.1 Styrdiagrammets uppbyggnad

Ett styrdiagram, även kallat kontrolldiagram, består av en centrallinje som representerar processens kvalitetsegenskap under ett kontrollerat tillstånd och är baserat på egenskapens medelvärde. Vidare finns en övre kontrollgräns, UCL, samt en undre, LCL, i form av två horisontella linjer. Syftet med dessa kontrollgränser är att rama in ett intervall där processen anses vara under kontroll. Så länge provdata samlas inom kontrollgränserna krävs ingen

åtgärd då processen anses vara under statistisk kontroll. Skulle däremot en punkt hamna utanför gränserna krävs utredning samt korrigerande åtgärd för att eliminera orsaken (Montgomery, 2012).

Styrgränsernas placering spelar stor roll vid risk för falsklarm. Uppkomsten av falsklarm minskar då styrgränserna har ett större mellanrum, samtidigt ökar istället risken för att viktiga signaler inte upptäcks i processen. Något viktigt att poängtera är skillnaden på styrgränser och specifikationsgränser. Specifikationsgränser bestäms av kunder, utvecklare och ledningen medan styrgränser baseras på statistik. Framtagna specifikationsgränser tar inte någon hänsyn till prestationen och stabiliteten hos processen (Montgomery, 2012).



Figur 5: Styrdiagrammets uppbyggnad, inspirerad av Montgomery (2012, s. 190).

2.6.1.2 Faser av kontrolldiagram

Arbetet med statistisk kvalitetsstyrning associerat med kontrolldiagram kan generellt delas upp i två olika faser enligt Montgomery (2012). Det som skiljer dessa två faser från varandra är förutsättningarna och målsättning. Montgomery beskriver fas ett som ett arbete där data samlas in för att konstruera kontrolldiagram i syfte att skaffa sig en uppfattning om processens stabilitet. Diagrammen kan ses som test och ska besvara frågor såsom ifall processen var under kontroll vid insamlingen av data samt vilka möjligheter som finns till att skapa en stabil process inför framtiden. Montgomery hävdar att i de flesta fall anses processen vara utom kontroll vid början av den första faser och således bygger denna fas även på att skapa statistisk kontroll. Fas ett är en itererande process där data samlas in för att kunna sätta nya styrgränser och stegvis eliminera urskiljbar variation i processen. Ifall punkter utanför dessa gränser uppenbarar sig ska dessa följaktligen undersökas för att ta fram potentiell orsak. Vidare utesluts dessa punkter och nya kontrollgränser beräknas på resterande data. De nya kontrollgränserna kommer att vara baserade på resterande punkter vilket också resulterar i smalare gränser, därav kan kvarvarande punkter fortfarande hamna utanför gränserna. Slutligen fås en stabil process och även denna definieras av ett reviderat kontrolldiagram.

Eftersom fas ett kännetecknas av större variationer rekommenderar Montgomery specifikt Shewharts kontrolldiagram, exempelvis X-mR eller Xbar-R. Vidare är denna typ av diagram

relativt enkla att konstruera vilket effektiviserar den itererande processen. När processen anses vara under statistisk kontroll kan fas två påbörjas. Vilket är en fas som kännetecknas av ett stabilt läge fri från större variation och där målsättningen istället är att övervaka processen, men fortfarande med hjälp av kontrolldiagram. Under andra fasen undersöks istället mindre processkillnader, vilket görs effektivare genom användandet av EWMA eller CUSUM diagram (Montgomery, 2012).

2.6.1.3 Average run length

Chakraborti (2000) redogör för hur ett kontrolldiagramms prestanda utifrån både satta kontrollgränser samt risken för falsklarm ofta utvärderas utifrån average run length, ARL. Run length är en variabel som anger antalet prover som plottas ut innan ett diagram visar på en förändring samt ger en signal. Således representerar då average run length medellängden innan en signal uppstår. Vidare kan ARL definieras i två olika tillstånd, ARL_0 representerar körlängden i en stabil process medan ARL_1 berör ett instabilt läge. För att skapa ett effektivt kontrolldiagram bör därför ARL_0 vara högt och ARL_1 lågt (Chakraborti, 2000).

2.6.1.4 Xbar-R diagram

För processer som hanterar någon form av kvalitetsegenskap kan det vara lämpligt att övervaka kvalitetsegenskapens medelvärde och dess variabilitet. Kontroll av processmedelvärde eller kvalitetsmedelvärde utförs vanligtvis genom användandet av ett kontrolldiagram för medelvärde, och benämns Xbar-diagram. Tillsammans med ett Xbar-diagram kan processvariabilitet övervakas genom användandet av ett R-diagram (Montgomery, 2012).

Montgomery redogör för hur ett Xbar-R diagram konstrueras och representeras av formlerna ett till fem nedan. Första steget för att konstruera ett Xbar-diagram är att beräkna centrollinjen. Beräkning sker genom att ta ut m prover, där m bör representeras av 20-25 prover. Alla prover har dessutom undergrupper där n observationer har gjorts på kvalitetsegenskapen, ett rimligt värde på n är mellan fyra och sex observationer. Därmed beräknas centrollinjen först genom provgruppens medelvärde och tecknas $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m$, sedan beräknas processmedelvärdet enligt formel ett.

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m} \quad (1)$$

Kontrollgränserna för Xbar-diagrammet konstrueras genom att skatta processens standardavvikelse, σ . Denna skattning är möjlig att utföra genom att analysera spridningen mellan de m proverna. Först beräknas spridningen inom undergrupperna genom skillnaden mellan största och minsta värdet för x_1, x_2, \dots, x_n . Spridningen inom undergrupperna beräknas enligt formel två.

$$R = x_{max} - x_{min} \quad (2)$$

Låt därefter R_1, R_2, \dots, R_m teckna spridningens storlek i varje undergrupp. Processens medelvariation beräknas sedan genom att ta medelvärdet av varje undergrupps spridning enligt formel tre.

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m} \quad (3)$$

Då processmedelvärdet och processens medelvariation är beräknade kan kontrollgränserna definieras. Xbar-diagrammets kontrollgränser beräknas med hjälp av konstanten A_2 och varierar beroende på undergruppens storlek. De olika värdena på konstanten A_2 återfinns i bilaga fyra. Kontrollgränserna för ett Xbar-diagram beräknas enligt formel fyra.

$$\begin{aligned} UCL &= \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} \\ \text{Centrallinje} &= \bar{\bar{x}} \\ LCL &= \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} \end{aligned} \quad (4)$$

När provgruppens spridning R_1, R_2, \dots, R_m och medelvariationen (\bar{R}) är beräknade kan ett R-diagram konstrueras med hjälp av konstanterna D_3 och D_4 (se bilaga 4). Kontrollgränserna för ett R-diagram konstrueras enligt formel fem.

$$\begin{aligned} UCL &= D_4 \bar{R} \\ \text{Centrallinje} &= \bar{R} \\ LCL &= D_3 \bar{R} \end{aligned} \quad (5)$$

I R-diagrammet plottas provgruppens spridning ut mellan övre- och undre kontrollgräns som sammankopplade punkter (Montgomery, 2012).

2.6.1.5 X-mR diagram

Montgomery (2012) redogör för tillfällen då det inte lämpar sig eller är möjligt att utföra kontrolldiagram med provgrupper större än ett, då kan istället ett X-mR diagram användas. X-mR diagram, även kallat för Shewharts kontrolldiagram för individuella mätningar, används då ett kvalitetsprov tas per tillverkad enhet. Diagrammet lämpar sig vid tillfällen då alla enheter testas och det saknas grund för en rationell undergruppering. Det är även fördelaktigt vid tillfällen då provtagningen sker mindre frekvent samt när skillnader i upprepade mätningar enbart grundar sig i laboratorie- eller analysfel som i exempelvis kemiska processer (Montgomery, 2012).

X-mR diagram består av två delar varav X-diagrammet skildrar det individuella mätresultatet och mR-diagrammet skildrar hur spridningen förändras mellan två på varandra följande punkter, där "mR" betecknar moving range.

Montgomery redogör för hur ett X-mR diagram beräknas med formler, dessa formler är de som nedan återfinns och numreras sex till tio. Första steget i att konstruera ett X-diagram är

att göra en skattning för processvariabiliteten. Skattning framställs genom att först beräkna skillnaden mellan två på varandra följande mätningar enligt formel sex.

$$MR_i = |x_i - x_{i-1}| \quad (6)$$

Därefter beräknas processvariabiliteten som medelvärdet av spridningsmått enligt formel sju.

$$\overline{MR} = \frac{\sum MR_i}{i-1} \quad (7)$$

Sedan beräknas centrollinjen för X-diagrammet som medelvärdet av alla provtagningar enligt formel åtta.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_i}{i} \quad (8)$$

Nästa steg är att konstruera X-diagrammets övre- och undre- kontrollgräns med hjälp av den tabellerade konstanten d_2 då $n=2$, konstanten motsvarar då värdet 1,128 (se bilaga 4). Kontrollgränserna beräknas enligt formel nio.

$$\begin{aligned} UCL &= \bar{x} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \\ \text{Centrallinje} &= \bar{x} \\ LCL &= \bar{x} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \end{aligned} \quad (9)$$

MR-diagrammets kontrollgränser skapas därefter med hjälp av de tabellerade konstanterna D_3 och D_4 , återigen då $n=2$, konstanterna motsvarar då värdena 0 respektive 3,267 (se bilaga 4). Kontrollgränserna beräknas genom formel tio.

$$\begin{aligned} UCL &= D_4 \overline{MR} \\ \text{Centrallinje} &= \overline{MR} \\ LCL &= D_3 \overline{MR} \end{aligned} \quad (10)$$

För att konstruera ett X-mR diagram behövs ett antal mätpunkter. Wheeler (2008) redovisar att antalet mätpunkter som krävs för att beräkna representerbara kontrollgränser kan vara så få som sex stycken utan att erhålla någon ökad risk för falsklarm. Anledningen är att efter sex mätpunkter kommer risken för falsklarm förbli lika stor som den teoretiska motsvarigheten på 0,27%. Det kan därmed konstateras att efter sex mätpunkter kommer risken för falsklarm vara lika stor oavsett antal mätpunkter som används för beräkning av kontrollgränser (Wheeler, 2008). Vid färre mätpunkter blir det dock viktigare att utgå från ett stabilt processtillstånd. Wheeler menar på att skiftningar som infinner sig bland ett fåtal mätpunkter kommer att få en större påverkan på kontrollgränserna. Ett större antal mätpunkter ger istället en utjämnande effekt på skiftningen och därmed mindre påverkan på gränserna. När färre mätpunkter

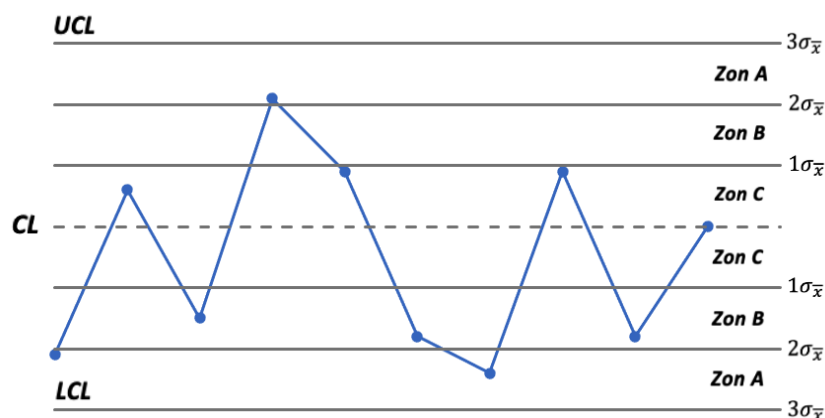
används vid konstruering av kontrollgränser är det därför viktigt att utgå från ett stabilt processläge för att inte kompromissa med diagrammets känslighet.

Wheeler redogör även för att ett X-mR diagram är okänsligt för vilken typ av sannolikhetsfördelning mätdata samlas in från. Mätdata måste därmed inte vara normalfördelad då ett X-mR diagram fungerar för alla typer av sannolikhetsfördelningar. Vidare redogör författaren att det huvudsakliga målet är att separera bakgrundsbruset från den urskiljbara variationen, därmed är kontrollgränsernas syfte att skilja på de olika typerna av variation. Kontrollgränser som är baserade på tre sigma har visat sig vara tillfredsställande för att urskilja på de två typerna av variation. Wheeler har även konstaterat att tre sigma är fungerande för olika sannolikhetsfördelningar vilket har resulterat i ett flertal slutsatser. Den första slutsatsen lyder att användningen av tre sigma gränser kommer filtrera ut det mesta av bakgrundsbrus oavsett mätdatans sannolikhetsmodell, vilket även leder in på den andra slutsatsen. Alla punkter som faller utanför tre sigma gränsen är en potentiell signal för att en processförändring har inträffat. Sista slutsatsen från att använda symmetriska tre sigma gränser är att de funkar bra mot förskjutna sannolikhetsmodeller (Wheeler, 2008).

2.6.1.6 Varningssignaler för Shewhart kontrolldiagram

Användningen av kontrolldiagram ger en bra överblick huruvida en process är i kontroll eller ej. Montgomery (2012) redogör för att mätpunkter som hamnar utanför kontrollgränser är en indikation på att processen är utom kontroll, men det finns även en möjlighet att processen är utom kontroll när mätpunkter hamnar innanför kontrollgränserna. Ett kontrolldiagram där de plottade punkterna inte uppvisar ett slumpmässigt beteendemönster kan vara en indikation på att processen är utom kontroll. Ett exempel på en utom kontroll indikation är sex punkter i rad som stadigt ökar eller minskar. För att de plottade punkterna ska anses vara slumpmässiga bör utfallet visa en jämnare distribution över och under centrollinjen (Montgomery, 2012).

Det är vanligt förekommande att dela in styrdiagrammen i flera zoner. Ett vanligt sätt är att dela in området utifrån en-sigma, två-sigma och tre-sigma. Montgomery illustrerar Western Electric's zonindelning där zonerna benämns zon-A, zon-B och zon-C (se figur 6).



Figur 6: Western Electric's zon-indelning baserat på sigma nivåer, inspirerad av Montgomery (2012, s.204).

Indelningen används tillsammans med varningsreglerna som hjälpmedel för att öka sensibilitet hos kontrolldiagrammet. Genom att öka kontrolldiagrammets känslighet kan processen lättare analyseras och ger operatören mer information. Montgomery har listat tio sensibiliseringsregler för Shewhart-diagram varav de fyra första härstammar från boken "The Western Electric Statistical Quality Control Handbook". Reglerna används för att upptäcka olika signaler som visar på att en process är utom kontroll.

De tio sensibiliseringsregler är följande:

1. En eller flera punkter hamnar utanför UCL eller LCL.
2. Två av tre på varandra följande punkter hamnar utanför två-sigma gränsen, men fortfarande inom UCL och LCL.
3. Fyra av fem på varandra följande punkter är utanför en-sigma gränsen.
4. Åtta på varandra följande punkter hamnar ovanför eller under centrollinjen.
5. Sex punkter i rad som stadigt ökar eller minskar.
6. Femton punkter i rad inom en-sigma gränsen, antingen över eller under centrollinjen.
7. Fjorton punkter i rad som varierar upp och ner.
8. Åtta punkter på rad med ingen punkt inom en-sigma gränsen, både ovan och under centrollinjen.
9. Ett ovanligt eller ej slumpmässigt mönster av data.
10. En eller flera punkter nära en varnings- eller kontrollgräns.

2.6.1.7 När kontrollgränserna bör revideras

Wheeler (2008) beskriver vikten av att beräkna kontrollgränserna utifrån en baslinje som anses vara fri från processskiftningar kontra att använda sig av flera mätpunkter. Vid tydliga bevis för att en skiftning infinner sig i den fas som gränserna baseras på, bör följaktligen en revidering av kontrollgränserna genomföras. Utifrån resonemanget ovan är det mer relevant att rationellt välja en baslinje som är fri från skiftningar än att välja ett visst antal datapunkter.

Vidare redogör Wheeler för fyra frågor som Perry Regier formulerat som stöd för när gällande gränser bör revideras. Dessa fyra frågor lyder:

1. Tyder data på en tydlig förändring i beteende jämfört med tidigare?
2. Är orsaken för denna förändring känd?
3. Är processens nya beteende önskvärt?
4. Är det meningen samt förväntat att det nya beteendet hos processen skall fortsätta?

Ifall det är möjligt att svara ja på samtliga fyra frågorna finns det underlag för att revidera gränserna. I annat fall bör resurser läggas på att hitta orsaken till processens beteendeförändring samt därefter arbeta med att eliminera orsaken till skiftningen för att återfå processens önskade tillstånd (Wheeler, 2008).

2.6.1.8 EWMA

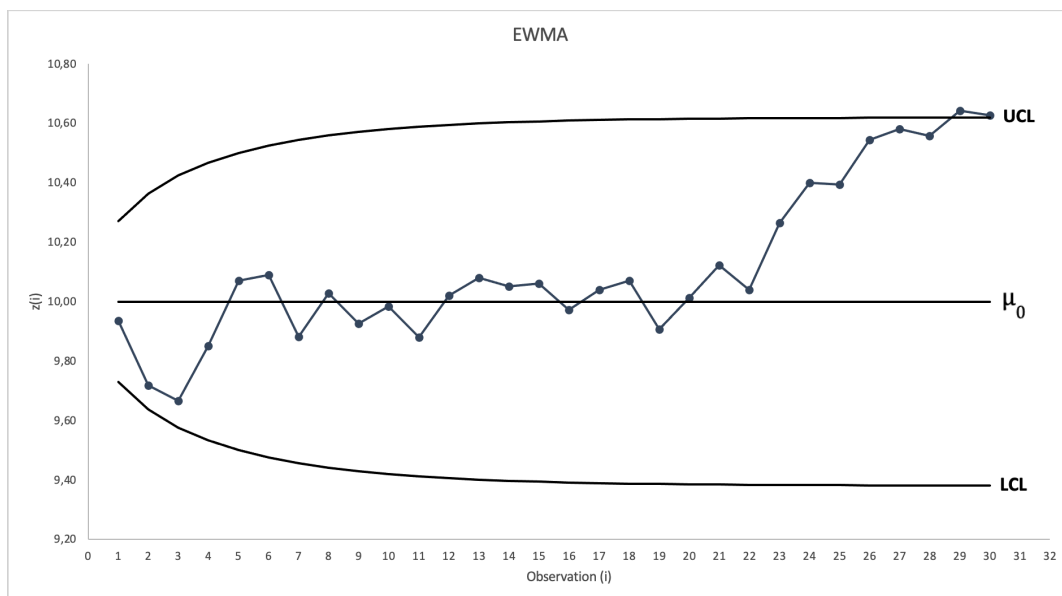
Exponentially Weighted Moving Average, EWMA, är ett kontrolldiagram som lämpar sig för detektering av små till medelstora skiftningar i en process. Till skillnad från de klassiska Shewhart diagrammen av typen X-mR eller Xbar-R diagram, är således EWMA ett bra verktyg när processen anses vara i ett kontrollerat tillstånd och arbetet istället handlar om att urskilja små förändringar i en process. En av anledningarna till att EWMA fungerar bättre vid mindre variation är att diagrammet bygger på information från tidigare mätvärden (Khan et al., 2018).

Författaren Oakland (2008) beskriver EWMA som ett medelvärdesdiagram där ett exponentiellt viktat medelvärde skapas efter varje nytt tillgängligt mätvärde. Variabeln z_i är det viktade medelvärdet som plottas ut i diagrammet och beräknas enligt formel 11.

$$z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)z_{i-1} \quad (11)$$

Där x_i representerar ett nytt mätvärde och z_{i-1} det senaste viktade värdet.

Utjämningskonstanten λ väljs utifrån hur stor vikt det nya mätvärdet skall erhålla och kan anta ett värde mellan noll och ett (Oakland, 2008).



Figur 7: Ett exempel på EWMA, inspirerad av Montgomery (2012, s.435).

2.6.1.8.1 Design av EWMA

Kontrollgränserna för EWMA sätts enligt formel 12.

$$\begin{aligned} UCL &= \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \\ \text{Centrallinje} &= \mu_0 \\ LCL &= \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \end{aligned} \quad (12)$$

De påverkbara parametrarna i designen av ett EWMA diagram är “L” som multipliceras med sigma, samt λ . Vid val av dessa parametrar sökes den optimala designen för den önskade genomsnittliga körlängden av processen, ARL (Montgomery, 2012). Enligt Montgomery är ett λ inom intervallet $0,05 \leq \lambda \leq 0,25$ vanligt förekommande. Ett mindre värde på λ resulterar i att mindre skiftningar fångas upp, samtidigt uppstår det också en tröghetseffekt av det mindre värdet. Tröghetseffekten kan beskrivas på så vis att det kan ta flera mätningar för att ett nytt medelvärde i en motsatt riktning ska upptäckas. Förklaringen ligger i att det nya värdet då får en liten påverkan som ett resultat av den lilla viktningen från λ . I dessa fall blir EWMA ett ineffektivt verktyg för att uppmärksamma förändringar.

Variabeln L som representerar kontrollgränsernas bredd bör anpassas till valet av λ . Vid ett större värde på λ kan L sättas till exempelvis $L = 3$ baserat på regeln om tre sigma enheter som gräns. Motsvarande bör L minskas vid ett lägre λ som fångar upp mindre skiftningar. Flertalet studier har utförts gällande λ och L för att hitta ett tillfredsställande par av respektive parameter, däribland Lucas och Saccucci från 1990. Deras studie ligger till grund för nedan förenklad tabell av värden på λ och L i par och motsvarar prestanda på ARL som återfås. Se bilaga tre för fullständig tabell.

Förändring i medel (multipel av σ)	ARL prestanda då L & λ är		
	L=3,054	L=2,998	L=2,814
	$\lambda=0,4$	$\lambda=0,25$	$\lambda=0,1$
0	500	500	500
0,5	71,2	48,2	31,3
1	14,3	11,1	10,3
1,5	5,9	5,5	6,1

Tabell 1: Genomsnittligt ARL för EWMA, inspirerad av Montgomery (2012, s. 437).

2.6.1.9 CUSUM

CUSUM står för “Cumulative Sum” och innebär att den kumulativa summan av provvärdernas avvikelse beaktas och plottas i ett diagram. Montgomery (2012) uppger att CUSUM-diagram är effektivt för att snabbt upptäcka variationer av mindre storlek, upp till cirka en standardavvikelse, och är därmed användbart i fas två då intresset är att övervaka processerna. Liksom EWMA beskrivs CUSUM som ett typ av tidsviktat diagram som tar hänsyn till tidigare mätvärden.

Vidare redogör Montgomery att CUSUM-diagram är applicerbart för både provdata med rationell undergruppering och för enskilda mätpunkter $n \geq 1$. CUSUM-diagram är vanligt förekommande i kemi- och processindustri där provtagning oftast sker på enskilda mätpunkter, $n = 1$. Diagrammen innehåller direkt information om provvärderna i sekvens då den kumulativa summan av mätvärdernas avvikelse från målvärdet plottas. Målvärdet är ofta det önskade processmedelvärdet och tecknas vanligtvis μ_0 (Montgomery, 2012).

Då CUSUM bygger på att mätvärdets avvikelse från målvärdet kumulativt summeras och illustreras i ett diagram, återfås tydlig information om när processen är utom eller inom kontroll. När processen är inom kontroll kommer diagrammet enbart visa en “vandring” längs

medel, vilket motsvara noll. Då processen istället är utom kontroll kommer avvikelserna ackumuleras antingen uppåt eller nedåt och resultera i en signal när kontrollgränserna överskrids. Det är då en indikation på att en analys bör genomföras för att hitta orsaken till larmsignalens uppkomst (Montgomery, 2012).

2.6.1.9.1 Tabellerat-CUSUM

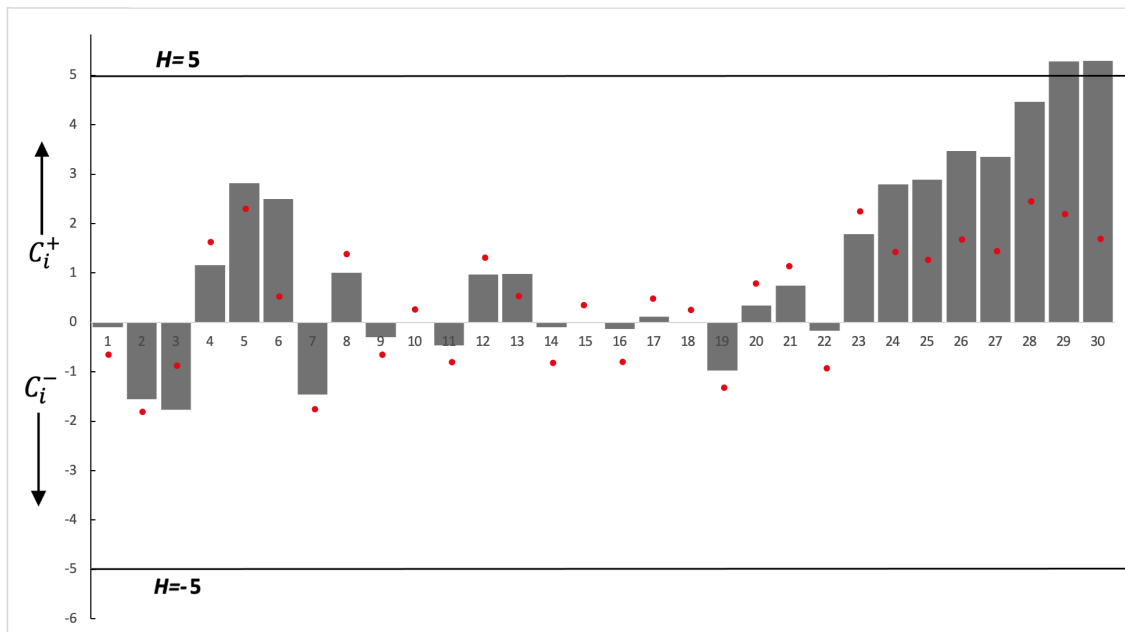
En metod för att konstruera ett CUSUM för övervakning av processmedelvärde benämns tabellerat-CUSUM eller algoritmiskt-CUSUM. Det är inom kemi- och processindustrin ofta vanligt att μ_0 representerar målvärdet för någon kvalitetsegenskap x , exempelvis viskositet. Det tabellerade-CUSUM fungerar på så vis att avvikelser som är över målvärdet, μ_0 , ackumuleras med en parameter C^+ och under målvärdet med en annan parameter C^- (Montgomery, 2012). C^+ och C^- beräknas enligt formel 13.

$$\begin{aligned} C_i^+ &= \max[0, x_i - (\mu_0 + K) + C_{i-1}^+] \\ C_i^- &= \max[0, (\mu_0 - K) - x_i + C_{i-1}^-] \\ \text{Startvärde} &= C_0^+ = C_0^- = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

I formel 13 representerar K ett referensvärde, ibland även kallat slackvärde. Slackvärdet är det spann av variation som tillåts i processen och inte kumuleras. Vanligtvis väljs denna parameter utifrån halvvägs mellan målvärdet μ_0 och μ_1 , där μ_1 är processens medelvärde efter ett skifte som har orsakats av ej acceptabel variation. Variabeln μ_1 bestäms enligt $\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma$, där δ är storleken i standardavvikelser av den förändringen som önskas att upptäckas och σ är processens standardavvikelse (Montgomery, 2012). Parametern K beräknas enligt formel 14.

$$K = \frac{\delta}{2}\sigma = \frac{|\mu_1 - \mu_0|}{2} \quad (14)$$

Därmed ackumuleras C_i^+ och C_i^- med avvikelser från målvärdet, μ_0 , som är större än K . Ett tabellerat-CUSUM kan presenteras i diagramform för att förtydliga resultaten och kallas då CUSUM-statusdiagram (se figur 8). I ett CUSUM-statusdiagram plottas den kumulativa summan, C_i^+ och C_i^- , som staplar mot respektive provnummer (Montgomery, 2012). Det är även möjligt att plotta ut det observerade mätvärdet x_i som en punkt i statusdiagrammet. Då x_i används som tillägg i diagrammet blir det för användaren tydligare hur processen faktiskt presterar samt hur enskilda mätvärden har lett fram till det kumulativa värdet. I statusdiagrammet är även beslutsintervallet, H , utritat och motsvarar UCL och LCL för ett Shewhart diagram och illustrera när processen är utom kontroll (Montgomery, 2012).



Figur 8: Exempel på ett CUSUM-statusdiagram, inspirerad av Montgomery (2012, s. 421).

Ett CUSUM-statusdiagram är användbart för att avgöra när i tiden en urskiljbar orsak påverkade processens prestanda. För att ta reda på när processmedelvärdet började drifva uppåt eller nedåt, räknas antalet punkter bakåt från utom kontrollsignalen till det att processen började avvika från noll. Observera att som tidigare nämnt är det enbart när C_i^+ eller C_i^- överstiger beslutsintervallet, H , som processen anses vara utom kontroll (Montgomery, 2012).

2.6.1.9.2 Design av CUSUM kopplat till ARL

För att konstruera ett tabellerat-CUSUM med hänsyn till ARL måste slackvärdet, K , och beslutsintervallet, H , anpassas. Vanligtvis rekommenderas parametrarnas värden att väljas utifrån en önskad ARL-prestanda. Parametrarna H och K definieras enligt $H = h\sigma$ och $K = k\delta\sigma$, där σ är processens standardavvikelse och δ är storleken på avvikelserna som önskas att upptäckas. Generellt är värdena $h=4$ eller $h=5$ och $k=1/2$ bra alternativ för att generera ett CUSUM med förmåga att upptäcka förändringar av storleken en standardavvikelse (Montgomery, 2012). Förenklad tabell nedan visar olika värden på ARL-prestanda baserat på val av lilla h och storleken på förändringen i processmedel. Se bilaga två för fullständig tabell.

Förändring i medel (multipel av σ)	ARL då $h=4$	ARL då $h=5$
0	168	465
0,5	26,6	38
1	8,38	10,4
1,5	4,75	5,75

Tabell 2: ARL prestanda då $k=1/2$, $h=4$ eller $h=5$ för olika storlekar på avvikelser i processmedel, inspirerad av Montgomery (2012, s. 422).

2.6.1.9.3 CUSUM med Fast Initial Response

Fast Initial Response förkortas FIR och är en metod för att öka CUSUM-diagrammets känslighet vid uppstart. FIR-metoden innebär att ett startvärde tilldelas C_i^+ och C_i^- och därmed startar inte diagrammet från noll. Ett exempel på startvärdet är hälften av beslutsintervallet, H . Fördelen med att tillämpa FIR-metoden är att processens tillstånd definieras snabbare vid uppstart och det kan tidigare konstateras huruvida processen är stabil eller ej. Ifall processen vid uppstart är utom kontroll krävs det mindre efterkommande mätningar för att den kumulativa summan skall ackumuleras och uppgå till larmnivån. En process som startar i ett stabilt tillstånd kommer att vandra kring medel då den kumulativa summan inte adderas (Montgomery, 2012).

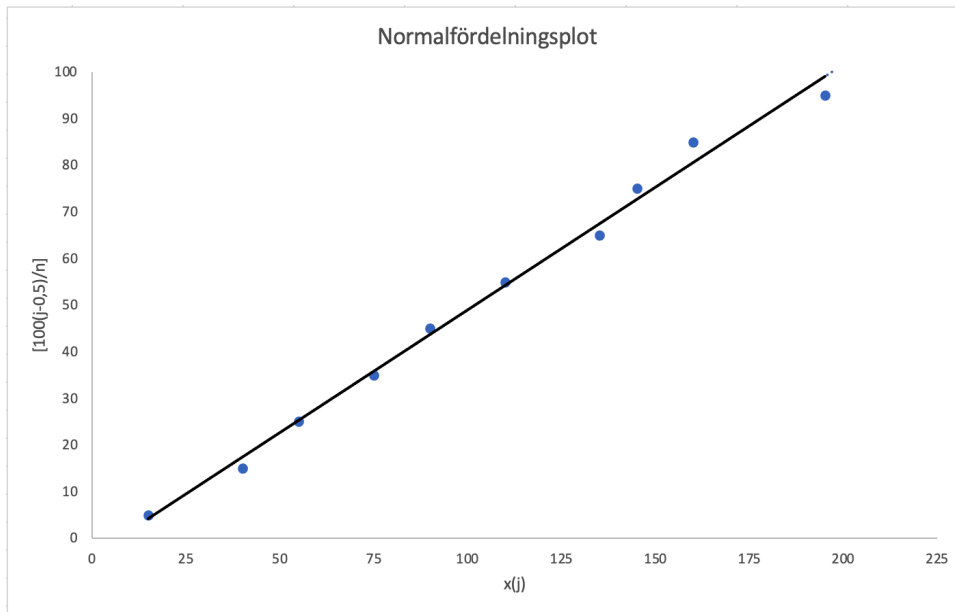
2.7 Sannolikhetsdiagram för normalfördelning

För att ta reda på vilken typ av sannolikhetsfördelning som en process följer, kan en grafisk teknik kallat sannolikhetsdiagram tillämpas. Genom denna metod kan det konstateras om insamlad provdata överensstämmer med en hypotesfördelning. Analys genomförs genom att använda ett designat grafpapper kallat sannolikhetspapper. Metoden är tänkt att pröva hypotesfördelningen mot överensstämmelse med den misstänkta sannolikhetsfördelningen. Denna grafiska metod utvärderar om mätdata ter sig som den tänkta hypotesfördelningen och därmed kan processen som analyseras beskrivas utifrån den sannolikhetsfördelning som bäst överensstämmer med resultatet (Montgomery, 2012).

Första steget i att konstruera en normalfördelningsplot är att samla mätdata x_1, x_2, \dots, x_n . Därefter rangordnas mätvärdena från minsta till störst värdet $x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(j)}$, där $x_{(1)}$ är minsta och $x_{(j)}$ är största. Efteråt ställs den rangordnade mätdatan mot den observerade kumulativa frekvensen (Montgomery, 2012). Den kumulativa frekvensen beräknas enligt formel 15.

$$\frac{(j-0,5)}{n} \quad (15)$$

Vidare plottas mätvärdet ut mot motsvarande observerade kumulativa frekvens på ett normalfördelningspapper. Plottens vertikala axel representeras av formeln $100(j-0,5)/n$ och den horisontella axeln representerar den observerade egenskapens värde, $x_{(j)}$ (Montgomery, 2012). En normalfördelningsplot illustreras i figuren nedan.



Figur 9: Exempel på normalfördelningsplot, inspirerad av Montgomery (2012, s. 98).

Montgomery menar vidare på att om mätdata är representerbar av en normalfördelning så skall de plottade punkterna approximativt följa en rak linje. Därmed blir denna avvägning subjektiv i fråga om punkterna följer en rak linje eller ej. En riktlinje för hur linjen skall anpassas till de plottade punkterna är huvudsakligen att linjen följer de mittersta mätvärdena.

3. METOD

Följande avsnitt beskriver utförandet av examensarbetet där respektive del svarar för olika tillvägagångssätt som bidragit till insamlingen av information, analys och slutsats.

3.1 Datainsamling

Nedan presenteras tillvägagångssätt för olika former av datainsamling.

3.1.1 Litteraturstudie

Ett första steg i projektet var att skapa en grundläggande förståelse för ämnet statistisk processkontroll och kvalitetsarbete. Det utfördes en litteraturstudie i ett tidigt stadium av arbetet där teori samlats från flertalet litteraturkällor. Litteraturen byggde på grundläggande teori för SPC, vilken nytta som företag kan ha av dessa verktyg samt hur de kan tillämpas i produktionsprocesser. Litteraturstudien skapade även en bra grund för att ta beslut baserat på fakta och bidrog till en ökad kvalitet på rapporten. Slutligen gav den också en bättre överblick och förståelse för omfattningen av arbetet vilket underlättade planeringen. På digitala plattformar såsom Chalmers bibliotek och Google Scholar har följande sökord använts:

- Kvalitetsstyrning
- Statistisk processtyrning
- Statistical process control
- SPC- chemistry industries
- Control chart
- Six Sigma
- Variation- process

3.1.2 Intervjuer

För att skapa en förståelse för företagets situation, arbetsrutiner, produkter och utmaningar, har intervjuer utförts med företagets personal. Intervjuer har genomförts med sakkunnig personal för att anpassa arbetet mot kemikalieproduktion. Hur produkterna produceras samt problem och utmaningar med både produkt och process har diskuterats med berörda operatörer samt produktansvarige. Att inkludera kvalitetspersonal i intervjuerna har också varit relevant i arbetet att samla in information kring nuvarande kvalitetsarbete samt kunna skapa en framtida plan för ett fortsatt förbättringsarbete.

Intervjuerna ligger till grund för nulägesanalysen av företaget. Från samtal med personal har även åsikter och tankar kring projektet beaktats. Dels för att skapa en bättre bild över eventuella utmaningar som kan uppstå men också de anställdas inställning till projektet. Genom intervjuerna har projektet lättare kunnat planeras då risker och utmaningar har kunnat vägas in. En sista anledning till att utföra intervjuer var att skapa en relation till de berörda parterna. I huvudsak för att främja goda arbetsförhållanden och skapa förutsättningar för ett välarbetat projekt.

3.1.3 Analys av befintlig produktionsprocess

Från de fjorton formulerade principerna i boken *The Toyota Way : 14 Management Principles From the World's Greatest Manufacturer* berör den tolfte principen att gå och skapa sig en egen uppfattning på plats för att grundligt förstå situation (Liker, 2004).

Produktionsprocesserna har analyserats på plats för att skapa en förståelse för tillverkningsprocesserna. Informationsinsamlingen var avgörande för att förstå orsaken till variationer i BIM Kemis tillverkningsprocess och vart i flödet variationer kan uppstå. För att förstå hur olika funktioner i företaget är sammankopplade i processer, har förädlingen analyserats från ett råvarustadium till det att produkten anses vara klar för leverans till kund.

3.1.4 Analys av historiska data

En annan viktig del av projektet var att skapa sig en förståelse för hur företaget BIM Kemi har arbetat historiskt med kvalitetsarbete. Därav har dokumentering av äldre mätdata och rapportering från produktion analyserats. Till att börja med har data analyserats från tidigare år som visualiseras i diagram. Vidare var också dokumentering av tidigare mätmetoder av intresse för att förstå olika arbetsrutiner. Den historiska dokumenteringen gav också en bakgrund till de befintliga interna specifikationsgränserna mot kund, gränser uppsatta av BIM Kemi tänkta att representera en godkänd kvalitet mot kund.

3.2 Tillämpning av kontrolldiagram

För att konstruera kontrolldiagram samlades mätdata in under en bestämd tidsperiod. Efter datainsamlingen genomfördes arbetet med att konstruera lämpligt styrdiagram för kvalitetsparametern viskositet. I ett sista steg utvärderades kontrolldiagram utifrån reliabilitet och validitet.

3.2.1 Konstruering av kontrolldiagram

För att konstruera kontrolldiagrammen för BIM Bright och Skumdämparen har teorin för X-mR tillämpats (se teori 2.6.1.5). Respektive produkts styrdiagram har skapats i Excel med hjälp av data för viskositet. BIM Brightens styrdiagram skapades med mätdata mellan den 10 februari och 10 mars 2022 vilket resulterade i 25 mätvärden. För Skumdämparen användes mätvärden mellan den 1 april till den 22 april 2022 och motsvarade nio mätpunkter. En grundförutsättning var att X-mR diagrammen även kunde utvärderas utifrån larmreglerna (se teori 2.6.1.6) och av den anledningen beräknades också zonerna för en respektive två sigma. För att utvärdera om styrdiagrammens kontrollgränser, Voice of the Process (VoP), var representativa användes ramverket för revidering (se teori 2.6.1.7). Till sist kompletterades även styrdiagrammen med de interna specifikationsgränserna, Voice of Customer (VoC), för att tydliggöra processens kapabilitet.

3.3 Utförande av normalfördelningstest

I undersökande syfte har processdata för BIM Bright testats för att se om processen ter sig normalfördelat eller ej. Normalfördelningsantagandet har undersökts genom två metoder. Det första testet var en normalfördelningsplot och det andra var ett histogram med överlappande normalfördelningskurva. Normalfördelningsplotten konstruerades enligt teori 2.7 med 25

mätpunkter över viskositet mellan den 10 februari och 10 mars 2022. Histogrammet konstruerades utifrån mätdata mellan den 16 mars till 31 augusti 2021, mätdatan från tidsspännet resulterade i 428 mätpunkter. Efter att histogrammet hade skapats kontrollerades antagandet rörande den normalfördelad data genom att överlappa histogrammet med den beräknade normalfördelningskurvan för processen. Normalfördelningsplotten och histogrammet skapades genom programmet Excel.

3.4 Alternativa arbetsrutiner för framtidens kvalitetsarbete

Den avslutande delen av projektet var tänkt att resultera i ett förslag gällande hur företaget kunde fortsätta sitt kvalitetsarbete. Förslaget var tänkt att vägleda företaget vidare i arbetet mot att reducera variationer i tillverkningen och förbättra produkternas kvalitet. Förslaget som togs fram i form av ett nytt arbetsflöde skapades tillsammans med kvalitetschefen och har anpassats efter företagets situation i dagsläget.

3.5 Reliabilitet och validitet vid datainsamling

Under följande två avsnitt redovisas reliabilitet och validitet som var två viktiga begrepp vid framställning av rätt kvalitativ information.

3.5.1 Reliabilitet

Reliabilitet beskrivs som pålitligheten hos mätmetoder och mätinstrument. Det går aldrig att hävda hundra procent reliabilitet, utan begreppet bygger istället på en skala där olika metoder och tester kan ha mer eller mindre reliabilitet. Vidare presenterar litteraturen två varianter av reliabilitet. Den första kallas för "test-retest reliability" och handlar om att ett resultat ska uppvisa samma värde vid upprepade mätningar. För att uppnå hög reliabilitet ska också två eller fler personer ge liknande bedömning av fenomenet vilket utgör den andra varianten "interrater reliability" (Graziano & Raulin, 1989).

För att projektet skulle uppnå en hög kvalitet och skapa diskussion samt beslut baserat på korrekt fakta, var det viktigt att jobba för att förhindra variationer och fel vid genomförande av olika mätmetoder. Med målsättningen att öka reliabiliteten i projektet utfördes mätningar i samråd med och övervakat av sakkunnig personal vid ett flertal tillfällen. Möten där resultat redovisades samt diskuterades var en metod för att säkerställa liknande slutsatser bland berörda parter.

3.5.2 Validitet

Begreppet validitet handlar om att säkerställa rätt metodologi för att mäta rätt saker, vilket kan påverkas av upplägg och design av tester (Graziano & Raulin, 1989). Validitet kan vidare delas in i två delar, intern och extern validitet. Intern validitet berör frågeställningar kring hur bra en metod passar för sitt ändamål medan den externa validiteten behandlar metodens lämplighet rent generellt (Hernon & Schwartz, 2009).

Undersökningar har utformats utifrån en kombination av teoretisk bakgrund och BIM Kemis förutsättningar.

3.6 Källkritiskt förhållningssätt

All teori som har använts genom projektets gång har granskats kritiskt och är antingen peer reviewed eller erkänd litteratur. Peer review är en process då texten granskas av experter inom ämnet. Att ha ett källkritiskt förhållningssätt till litteraturen är grundläggande för att projektet skall baseras på väl beprövad teori och uppnå önskat utfall. För att arbetet skall vara trovärdigt och anses autentiskt har även sakkunniga inom de olika ämnesområdena granskat arbetet för att minimera risken för feltolkningar som påverkar det slutliga resultatet av projektet.

4. RESULTAT

4.1 Nulägesbeskrivning

Nedan beskrivs processtegen för respektive produkt samt motivering till de kvalitetsparametrar som BIM Kemi själva har valt att utvärdera vid framställning. Slutligen presenteras dagens problematik kopplat till produkterna och avvikelshantering då fel uppstår. Kapitel 4.1 är baserat på intervjuer med produktionschef, produktansvariga och operatörer samt dokument med produktrecept och processflöden.

4.1.1 Processflöde BIM Bright

Operation 1 Laddning:

Ett kallblandningskärl laddas med kallvatten samt kem1 och kem2 (se figur 10). Kem1 och vatten blandas i kärlet genom att operatören startar blandningen från panelen. Kem2 tillförs kärlet manuellt från säckar av beställd råvara från leverantör. Blandningen rörs om i minst tio minuter. Kallblandningskärls kanter spolras rent med max 100 liter vatten. Slutligen laddas reaktorn med vatten och omröraren startas.

Operation 2 Pumpning:

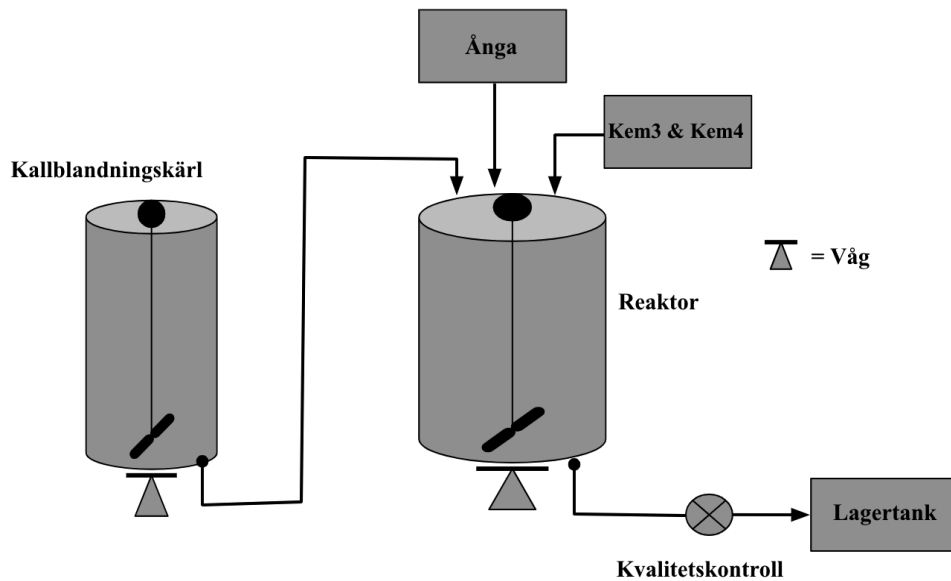
Halva mängden av kallblandningen från operation ett pumpas över till vald reaktor. Pumpningen ställs in manuellt av operatör till valt flöde för operation tre.

Operation 3 Värmning:

Reaktorblandningen värms med ånga direkt in i reaktorn till temperaturen 90 grader Celsius. Vid 95 grader Celsius blir reaktorblandningen till en exoterm process som reagerar med sig själv och värms ytterligare. Därefter förs resterande mängd kallblandning in i reaktorn. När det återstår 500 kg blandning i kallblandningskärlet spolras det ut manuellt och resterande mängd pumpas över till vald reaktor. Sedan får reaktorblandningen efterreagera i 60 minuter och efteråt tillsätts vatten till önskad vikt.

Operation 4 Kylning:

Kylprocessen startar genom att pumpa in kem3 och kem4 i respektive mängder in i reaktorn och blandningen har sedan fått sin slutvikt. Sedan ska blandningen kallna till 25 grader Celsius och i ett sista steg genomförs kvalitetskontrollen där viskositet, torrhalt och pH mäts.



Figur 10: Förenklad illustration över BIM Brights tillverkningsprocess.

4.1.2 Processflöde Skumdämpare

Operation 1 Stearat:

Först blandas kem5 och kem6 i kärlet “stearat” (se figur 11). Därefter värms kärlet till 160 grader Celsius och vid rätt uppnådd temperatur startas omröraren. Reaktionen pågår i minst 15 timmar och max i 17 timmar.

Operation 2 Stabbe:

Vatten med en temperatur på 72 grader Celsius tillsätts kärlet “Stabbe” och omrörare startas på 15% av kapacitet. Ytterligare vatten tillsätts kombinerat med kem7 via en tratt och därefter rörs blandningen om i minst två timmar, alternativt längre. Kem8, kem9 och kem10 tillsätts i den omrörda blandningen.

Operation 3 Reaktor:

Värmen i reaktorn ställs in på 89 grader Celsius. Sedan fylls reaktorn med blandningen från operation ett tillsammans med kem11. Blandningen rörs om i minst en timme innan operation fyra påbörjas.

Operation 4 Rundkörning:

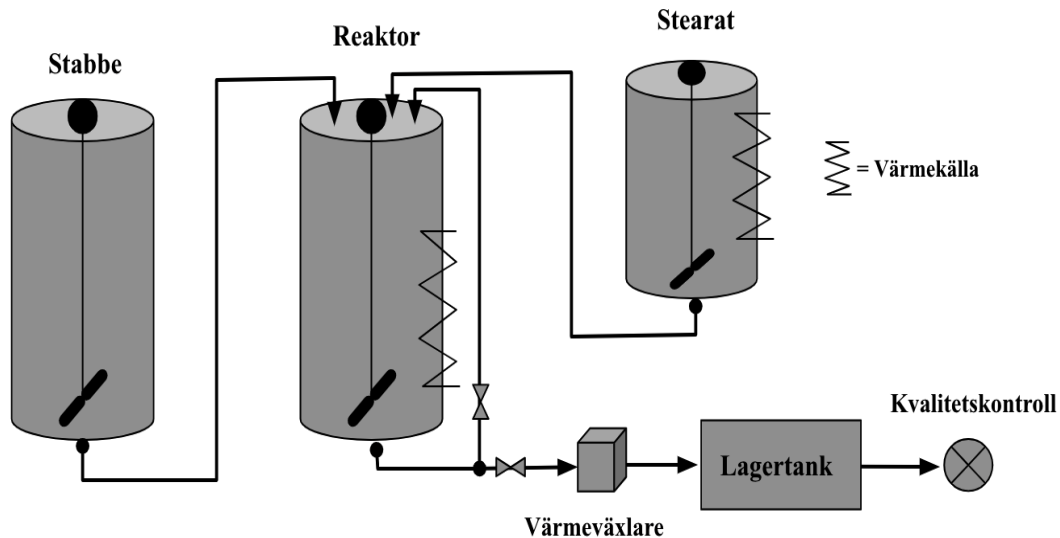
Blandning från operation två pumpas över till reaktorn, samtidigt fylls Stabbe tanken ytterligare. När överpumpning är klar från Stabbe startas rundkörningen i reaktorn via mixpumpen som har till uppgift att slå sönder befintliga partiklar. Rundkörning genomförs i 90-120 minuter tills det att rätt partikelstorlek har uppnåtts.

Operation 5 Konservering:

I operation fem tillsätts kem12 och sedan påbörjas pumpning till lagringstank.

Operation 6 Utkörning:

Under utkörning till lagringstank kyls produkten till 15-18 grader Celsius via värmeväxlare samtidigt som mixerpump körs på lägre varvtal. När produkten är överförd till lagringstanken omröres den i 16 timmar. Kvalitetsprov tas från lagertank där viskositet, torrhalt och pH mäts.



Figur 11: Förenklad illustration över Skumdämparens tillverkningsprocess.

4.1.3 Val av kvalitetsparameter

4.1.3.1 BIM Bright

Att mäta viskositet är viktigt för att det dels säger mycket om stabiliteten hos BIM Bright, men också för att kunder ska kunna anpassa sina pumpar utifrån produkten. Ifall kunden vill ha viskositet specificerat måste BIM Kemi kunna tillhandahålla denna information. Torrhalt representerar koncentrationen av fast material. Kunden vill även känna till torrhalten på produkten BIM Bright för att veta vad de betalar för, med andra ord aktiv substans. Kvalitetsparametern pH mäts främst av historiska skäl.

4.1.3.2 Skumdämpare

De valda kvalitetsparametrarna för skumdämparen, viskositet, torrhalt och pH anses vara relevanta då de återspeglar kvaliteten på produkten. Viskositeten är viktig av samma anledning som för BIM Bright. För hög viskositet skapar problem hos kund vid bland annat pumpning. Slutligen återger torrhalt information om att receptet är följt och att produkten har rätt kvalitet. Likt BIM Bright mäts även här pH av historiska skäl.

4.1.4 Problematik idag

4.1.4.1 BIM Bright

En problematisk faktor idag är att det just nu sker ett utbyte av råvara kopplat till BIM Bright. Både priset och tillgången på råvaror har ökat kraftigt världen över, här märker BIM i första hand av priset. BIM har tidigare köpt in råvaror från en leverantör men där priset nu har ökat

till en ej acceptabel nivå då det påverkar marginalerna för lönsamheten. Företaget kan därav inte fortsätta köpa in och producera som på tidigare vis. Under den senaste tiden har företaget jobbat proaktivt på så vis att en råvara har bytts ut mot en ny som produceras av en annan leverantör. Vid bytet krävs validering för att säkerställa att råvaran presterar på samma sätt hos kund. Det har visat sig att den nya råvaran beter sig annorlunda mot den gamla och ett flertal kvaliteter har utvärderats i syfte att välja den råvara som kostar minst men fortfarande fungerar väl. BIM är i nuläget fortfarande inom en utvärderingsfas av råvaran från den nya leverantören.

Idag är stabiliteten hos BIM Bright huvudfokus på grund av att den är svår att uppnå. Stabiliteten hos produkten är även ett historiskt problem hos BIM Kemi vilket exempelvis har resulterat i färdiga produkter som har cementerat i tankbilar samt börjat koka på grund av efterreaktion. Stora partiklar hos den färdiga produkten BIM Bright är orsaken till att produkten bland annat har cementerat. De stora partiklarna härstammar från den råvara som köps in, generellt är problemet med partikelstorlek mer utmärkande hos den valda leverantören jämfört med andra alternativ på marknaden. På grund av problemet med partikelstorleken kan det konstatera att BIM Kemi har en sämre kvalitet på ingående råvara. För att öka stabiliteten hos produkten tillförs ett kemiskt ämne som samtidigt ökar viskositeten hos produkten. På så vis är problematiken kring partikelstorleken kopplat till viskositeten och kan skapa problem hos kund vid bland annat pumpning av produkten.

4.1.4.2 Skumdämpare

Skumdämparen är en komplex produkt med många parametrar som påverkar kvaliteten och därav uppkommer många faktorer som skapar variation. Det är viktigt att råvaror med rätt kvalitet används liksom försäkran av att receptet följs korrekt. Komplexitet hos produkten resulterar också i stora svårigheter i att lokalisera orsaker till problem när kvaliteten brister.

4.1.5 Dagens arbete med avvikelser

4.1.5.1 BIM Bright

Det system som idag används för att hantera en produkts avvikelse är kopplat till företagets affärssystem, IFS, och kallas Non Conformance Report, NCR. Systemet används för att dokumentera avvikelser och bygga ett case i syfte att jobba med förbättringar. I NCR finns möjligheten att både definiera problemet samt planera åtgärder.

Däremot finns det idag inget strukturerat tillvägagångssätt för hur verksamheten arbetar med avvikelser på BIM Brighten i produktionen. Det konstateras att en batch har för hög eller för låg viskositet vilket sedan noteras. För att kompensera för en batch med högre viskositet än önskat produceras de efterföljande batcherna med en lägre viskositet i syfte att jämna ut den totala blandningen. Blandningen sker sedan i en större lagertank.

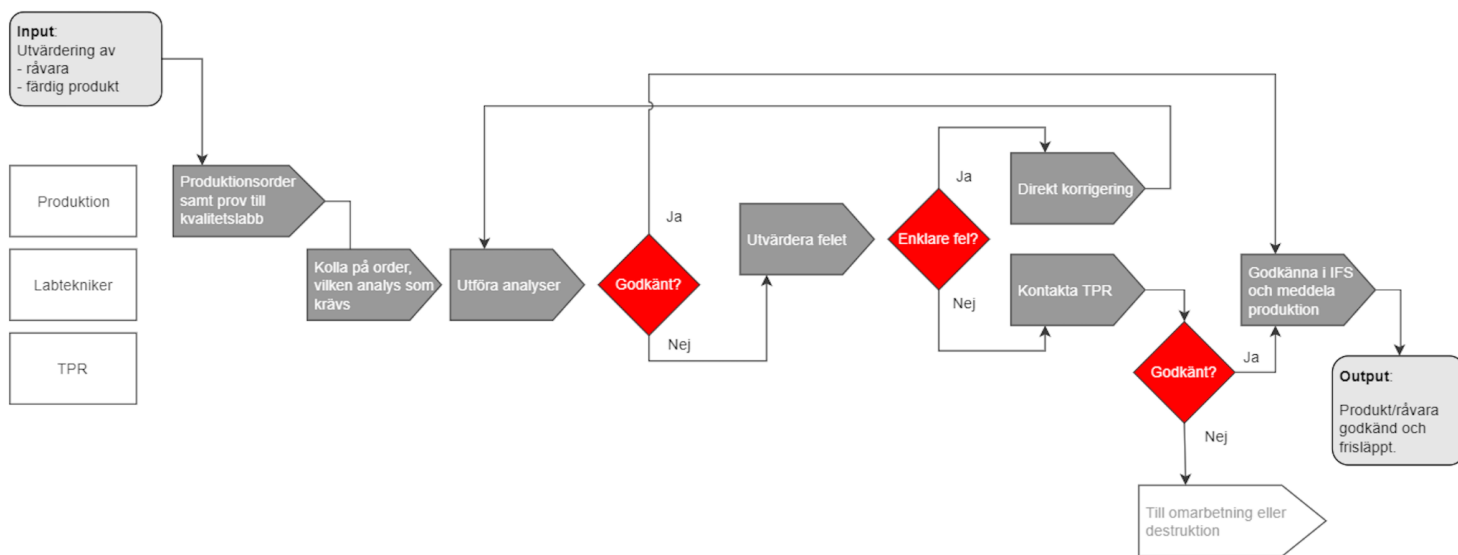
4.1.5.2 Skumdämpare

Produkten innehåller ett antal olika kemikalier där noggrannheten för respektive mängd varierar. För de råvaror som anses viktiga finns en definierad toleransnivå som ska följas. Ifall mängden råvara avviker från bestämd nivå ska det dokumenteras för att kunna analyseras i händelse av framtida fel. När en batch avviker för mycket separeras denna från de övriga till en egen tank. Nästkommande batch anpassas utifrån den separerade tanken i syfte att kunna blanda följande två. En batch med för låg viskositet blandas således med en ny där viskositeten är högre. Skulle en batch avvika för mycket från de interna specifikationsgränserna, görs en avvägning där produktansvarige tar beslutet gällande vad som ska göras.

Liknande BIM Bright arbetar personalen utifrån systemet NCR vid avvikelser i produkten, exempelvis när en kund klagar på viskositeten hos färdig produkt. Det tillsätts då en undersökning där den specifika batchen analyseras. Även för denna produkt saknas ett strukturerat arbetssätt vid avvikelshantering kopplat till produktionen.

4.1.5.3 Nuvarande arbetsflödet vid kvalitetskontroll

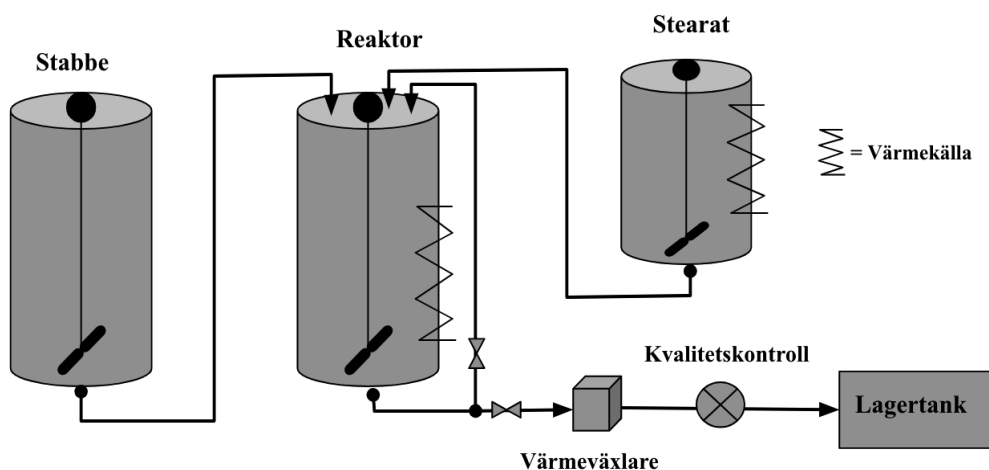
Figuren nedan beskriver den nuvarande arbetsprocessen på BIM Kemi vid kvalitetskontroll. Efter en utförd analys av ett kvalitetsprov konstateras ifall produkten ska godkännas eller inte, baserat på tidigare nämnda kvalitetsparametrar. När ett kvalitetsprov inte godkänns definieras problemets omfattning. Problemet kan anses vara av enklare karaktär såsom exempelvis för hög torrhalt. Problemet kan då enkelt korrigeras genom att addera mer vatten i batchen för att späda ut produkten. Vid ett sådant scenario sker en direkt korrigerings i produktionen och därefter genomförs återigen en analys för att kunna godkänna den korrigerade batchen. Vid ett större fel som inte kan lösas på plats i produktionen kontaktas istället den produktansvariga som sedan beslutar vad som ska göras. Det slutliga steget när ett prov har godkänts är att dokumentera den godkända batchen i verksamhetens affärssystem, IFS, samt meddela produktion att batchen är godkänd.



Figur 12: BIM Kemis nuvarande arbetsflöde för att kvalitetskontrollera sina produkter.

4.2 Förflyttad kvalitetskontroll för Skumdämpare

I samband med projektet har ett förslag på att flytta kvalitetskontrollen för produkten Skumdämpare tagits fram. Förflyttningen skulle innebära att provtagningen ur lagertank (se figur 11), flyttas till att utföras innan produkten har blandats med flera batcher i lagertanken (se figur 13). Resultatet av förändringen blir att mätvärden kan utvinnas från den enskilda batchen och ett X-mR diagram kan konstrueras för produkten.



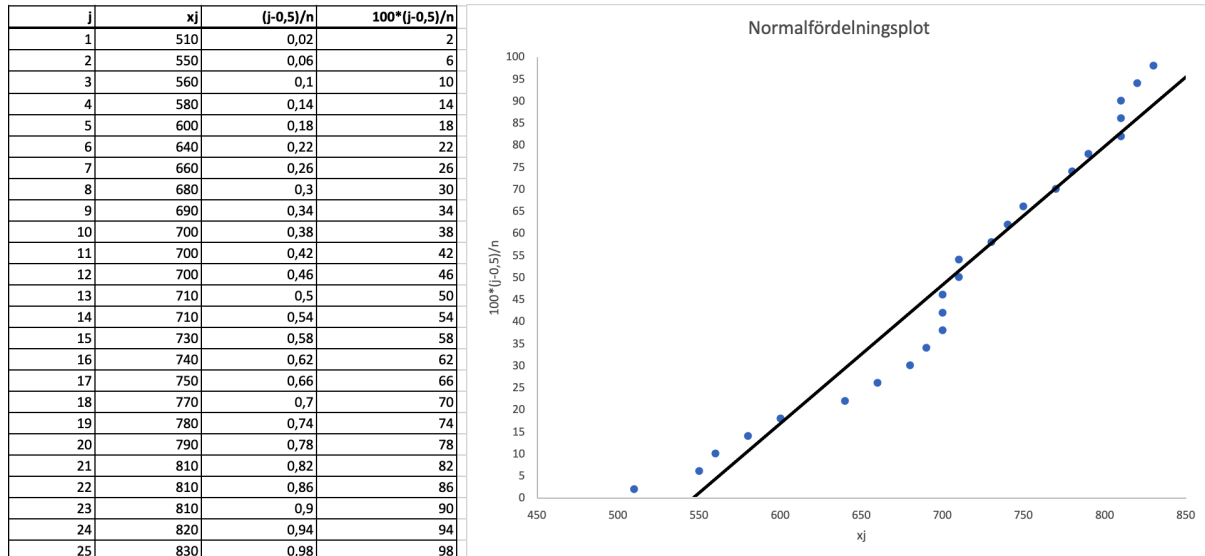
Figur 13: Skumdämparens produktionslayout med förflyttad kvalitetskontroll.

4.3 Normalfördelningsantagande BIM Bright

Under följande avsnitt redovisas resultaten av normalfördelningstesten på BIM Bright som har genomförts utifrån två metoder.

4.3.1 Normalfördelningsplot

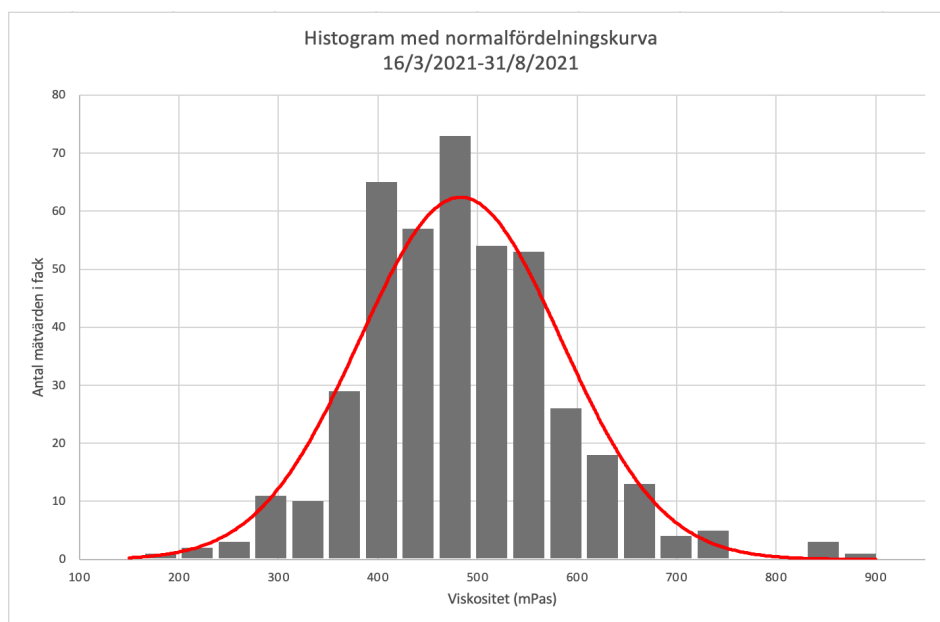
Nedan följer resultatet av den konstruerade normalfördelningsplotten baserad på (teori 2.7) där mätvärden mellan 10 februari och 10 mars 2022 har analyserats för produkten BIM Bright. Resultatet (se figur 14) visar att de plottade punkterna till viss del följer en rak linje men det är även tydligt att avvikande partier är närvarande.



Figur 14: Normalfördelningsplot baserad på mätdata från BIM Bright.

4.3.2 Histogram med normalfördelningskurva

Vidare testades normalfördelningsantagandet genom att konstruera ett histogram tillsammans med överlappande normalfördelningskurva. Resultatet nedan är baserat på 428 mätvärden som har samlats in mellan 16 mars och 31 augusti 2021. Valet av period grundar sig i att tidsintervallet ansågs vara relativt stabilt enligt produktansvarig. Histogrammet visar på en viss tendens till förskjutning åt vänster då flertalet mätvärden antar en lägre viskositet.



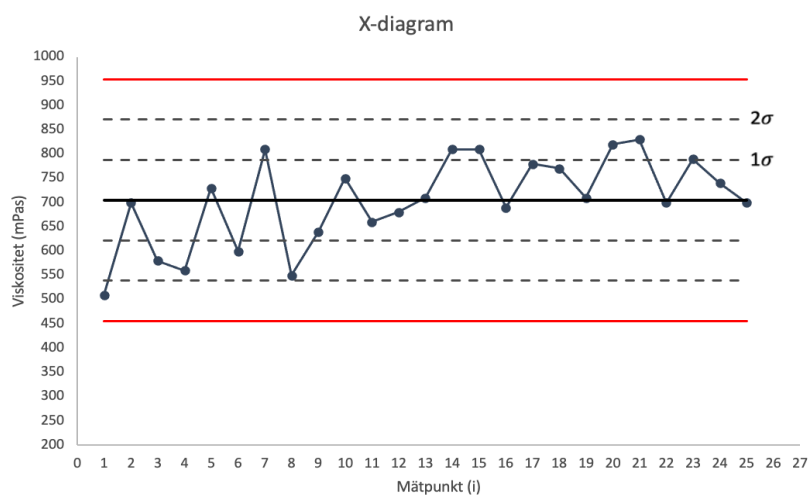
Figur 15: Histogram med normalfördelningskurva baserad på mätvärden från BIM Bright.

4.4 X-mR diagram

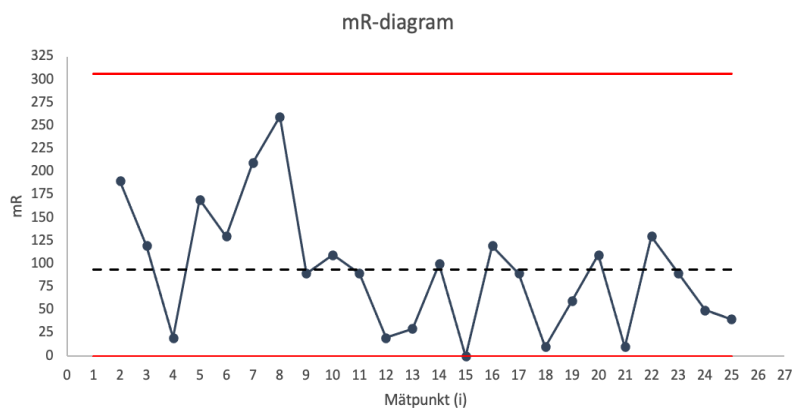
Nedan redovisas resultat från framställda styrdiagram för respektive produkt.

4.4.1 BIM Bright

Nedan presenteras X-mR diagram baserade på 25 mätvärden för viskositet för produkten BIM Bright, under tidsperioden 10 februari till 10 mars. Det första diagrammet (se figur 16) visar viskositetens värde för respektive mätpunkt som sammankopplade punkter. Diagrammet visar även övre och undre kontrollgräns som röda linjer samt en centrallinje. Vidare är respektive sigma gräns utritad som en streckad linje. Det andra diagrammet (se figur 17) visar på spridningen i mR, återigen i form av sammankopplade punkter och en övre och undre kontrollgräns utritade som röda linjer. Till sist visas centrallinjen för mR-diagrammet som en streckad linje.



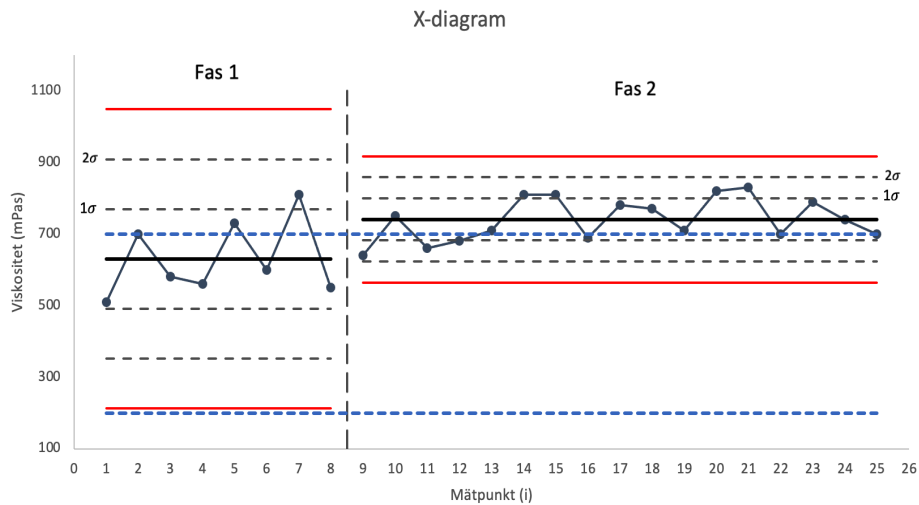
Figur 16: X-diagram för BIM Bright, 25 mätvärden mellan 10 februari och 10 mars.



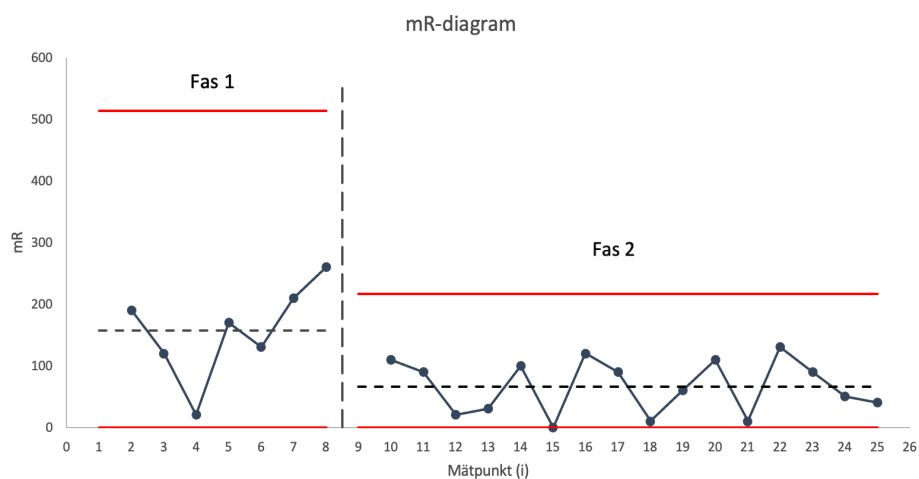
Figur 17: mR-diagram för BIM Bright, 25 mätvärden mellan 10 februari och 10 mars.

Till följd av att figur 16 & 17 visar på en förändring i processens tillstånd och att larmregel nio (se teori 2.6.1.6) alarmerar, fanns underlag till att dela upp baslinjen till två faser för att erhålla stabila baslinjer både innan och efter mätpunkt nio. Resultatet av denna uppdelning illustreras i figurerna 18 & 19 och skildrar processens tillstånd och kapacitet för respektive fas. Fas ett är konstruerat baserat på åtta mätpunkter innan processskiftet och fas två är baserat

på de 17 efterföljande mätpunkterna. Figur 18 & 19 visar X-mR diagrammen med två faser där respektive fas innehåller ett stabilt processtillstånd över baslinjens längd.



Figur 18: X-diagram för BIM Bright uppdelad i två faser, 25 mätvärden mellan 10 februari och 10 mars.



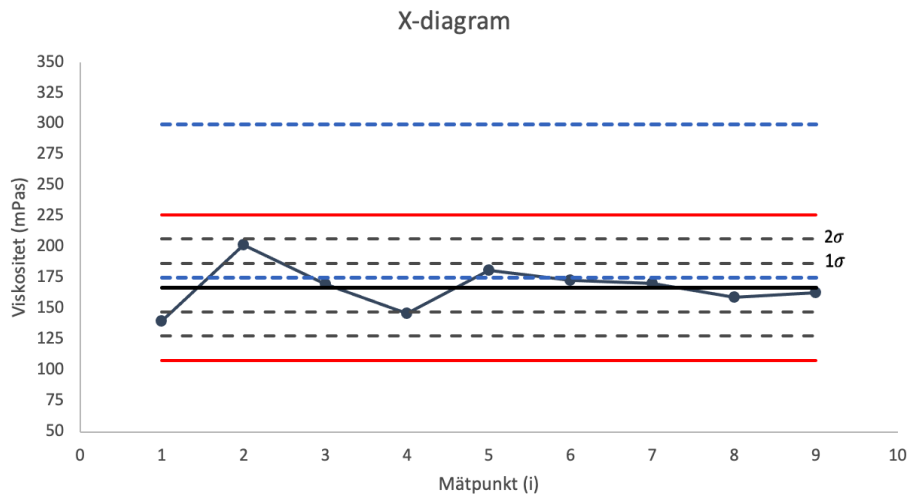
Figur 19: mR-diagram för BIM Bright uppdelad i två faser, 25 mätvärden mellan 10 februari och 10 mars.

I fas två har X-diagrammets centrollinje, viskositetens medelvärde, höjts från 630 till 740 mPas (se figur 18). Även i mR-diagrammet kan det konstateras att centrollinjen, variationens medelvärde, har sänkts i fas två från 157 till 66 (se figur 19). Variationen i processen har därmed gått ned efter mätvärde nio samtidigt som medelvärdet på viskositeten har ökat. I figur 18 visas även de interna specifikationsgränserna, VoC, som blåa streckade linjer. Värdet för LSL är 200 mPas medan USL är 700 mPas. Kontrollgränserna, VoP, för fas två (se figur 18) är för LCL 564 mPas och för UCL 917 mPas.

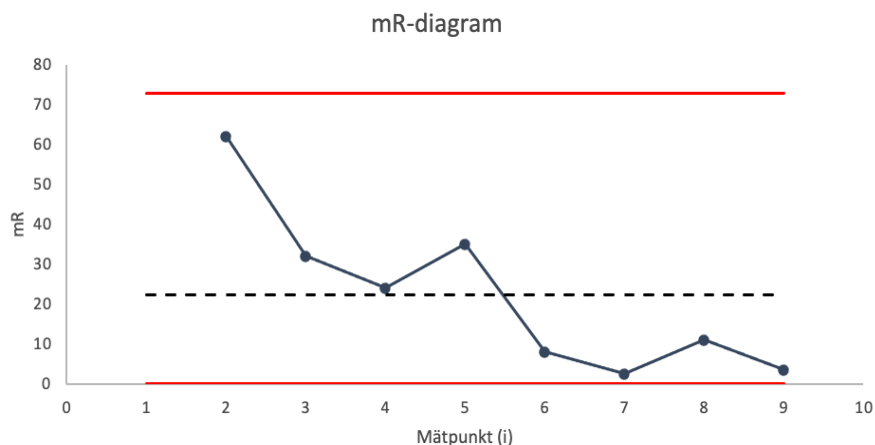
4.4.2 Skumdämpare

Styrdiagrammen som är konstruerade för Skumdämparen (se figur 20 & 21) följer samma typsnitt som de för BIM Brighten. X-diagrammet visar därmed övre och undre kontrollgräns, VoP, som röda heldragna linjer medan de interna specifikationsgränserna, VoC, illustreras av de blåa streckade linjerna. Vidare har X-diagrammet svarta streckade linjer som illustrerar

sigma gränserna som används för larmregler. Slutligen består även X-diagrammet av en centrollinje vilket är den svarta heldragna linjen och mätpunkternas värden visas som sammankopplade punkter. MR-diagrammet består av övre och undre kontrollgräns, VoP, som representeras av de röda linjerna samt en streckad centrollinje. Mätvärden i mR representeras av sammankopplade punkter.



Figur 20: X-diagram för Skumdämparen, 9 mätvärden mellan 1 april - 22 april.



Figur 21: mR-diagram för Skumdämparen, 9 mätvärden mellan 1 april - 22 april.

X-diagrammet (se figur 20) visar att centrollinjens värde motsvarar 167 mPas samt att undre- och övre kontrollgräns, VoP, uppgår till 108 mPas för LCL och 226 mPas för UCL. Vidare visar även X-diagrammet de interna specifikationsgränser, VoC, som motsvarar värden på 175 mPas för LSL och 300 mPas för USL. MR-diagrammets (se figur 21) centrollinje har ett värde på ca 22, vilket innebär att av de nio mätvärden som använts så avviker mätvärdena i snitt med 22 mPas.

5. ANALYS

5.1 Nuvarande tillstånd

Nedan analyseras implementeringen av SPC baserat på BIM Kemi's nuvarande tillstånd samt deras förutsättningar.

5.1.1 BIM Kemi's förutsättningar för styrdiagram

I dagens läge tar BIM Kemi ut mätdata från färdig produkt vilket möjliggör att viktiga kvalitetsparametrar kan följas upp genom ett styrdiagram. Diagram som ej är baserade på statistik har också tidigare använts för att visualisera processer vilket bidrar till att personalen känner igen verktyget. Slutligen stödjer också verksamhetens affärssystem användandet av styrdiagram.

Utifrån uppritade processflöden (se figur 10 & 11) för de båda produkterna kan det utläsas att provtagning av kvalitet i nuläget sker i slutet av processerna. Därmed finns det begränsningar för vilken data som kan användas i ett konstruerat styrdiagram. Att använda data från slutet av processen blir relevant i ett styrdiagram på så vis att den representerar det som skickas mot kund. Samtidigt skapas begränsningar i form av möjligheten till att uppmärksamma en defekt produkt tidigt i processen. Ifall BIM Kemi även tog ut prover på en kvalitetsparameter såsom viskositet under tidigare delar av processen hade det kunnat öppna upp för bättre kontroll genom hela förloppet.

Något som ytterligare påverkar BIM Kemi's förutsättningar till att tillämpa styrdiagram är huruvida kvalitetsproven tas från enskilda batcher eller ur en blandning av flera. Eftersom en mätpunkt i ett styrdiagram ska representera en tillverkad produkt bör dessa kontroller tas från den enskilda batchen. I nuläget tas provet för kvalitet av Skumdämparen från en lagringstank bestående av ett flertal batcher. För att kunna tillämpa styrdiagram inom denna process bör provet tas innan pumpning till lagertank (se figur 13), vilket det finns möjlighet till utifrån dagens förutsättningar.

På BIM Kemi används redan idag diagram som följer processerna inom verksamheten. I dagsläget är dock övre- och undre toleransgräns framtagna baserat på den kvalitet som krävs för att kunna sälja produkterna till kund. Diagram som inte baseras på statistik ger ingen information om processens tillstånd eller möjlighet till att prestera. Att enbart följa interna specifikationsgränser resulterar i att verksamheten är effektivt externt mot kund, men utelämnar hur processerna fungerar internt. Något annat som påverkas av huruvida ett diagram utgår från de interna specifikationsgränserna eller statistiskt framtagna kontrollgränser är genomförandet av förbättringsarbete. SPC möjliggör ett effektivare förbättringsarbete då det grundar sig i fakta. I fallet då BIM Kemi använder sig av de interna specifikationsgränserna istället för kontrollgränser återfår dem ingen information kring hur en förbättring påverkar processen. Interna specifikationsgränser är enbart ett krav på ytterligheterna för kvalitet och inget mått på processens kapabilitet. Som en följd av att enbart använda specifikationsgränser erhålls bristande informationsunderlag samt dålig återkoppling

rörande genomförda förbättringar, vilket i sin tur kan leda till ett kostsamt och ineffektivt arbete. En förutsättning för att kunna konstruera ett styrdiagram är att processen anses vara relativt stabil över den tidsperioden då mätvärdena plockas ut. Något som kan anses vara gemensamt för de båda produkterna är just att de över olika tidsperioder har ansetts vara instabila i respektive produktionsprocess. Det ska nämnas att stabiliteten är högt prioriterat för de båda produkterna men fortfarande ingen självklarhet. Ur ett kvalitetsperspektiv är produktens prestanda och pålitlighet två dimensioner för hur kvalitet utvärderas. Stabilitet har en indirekt påverkan på följande två dimensioner och bör därför prioriteras i processerna.

Ur ett annat perspektiv kan instabiliteten hos processerna försvåra arbetet med att konstruera ett styrdiagram. Det ökar vikten av att ha en bra kännedom kring de mätvärden som används i en baslinje för att skapa kontrollgränserna eftersom en stabil baslinje är nödvändig för att erhålla representativa gränser.

Vidare kan det konstateras att det finns viss osäkerhet kring vilken typ av sannolikhetsfördelning som infinner sig i processerna för BIM Bright och för Skumdämparen. Normalfördelningsantagandet har prövats för produkten BIM Bright (se resultat 4.3) men ej för Skumdämparen. Utifrån normalfördelningstestet går det inte med säkerhet att säga huruvida processerna ter sig normalfördelat eller ej, och då inget test har genomförts på Skumdämparen kan ingen fördelning konstateras. Därmed är det fördelaktigt att använda ett X-mR diagram då det är okänt för vilken sannolikhetsfördelning processen utgörs av.

För BIM Kemi är det primärt att kunna avgöra i vilken fas av statistisk processtyrning som verksamheten befinner sig i (se teori 2.6.1.2). Genom att kombinera vad som kännetecknas för respektive fas med resultatet från de konstruerade styrdiagrammen, kan det konstateras att verksamheten tydligt befinner sig i fas ett. Företaget är fortfarande nya och under upplärning kring arbetet med SPC och har ingen tidigare erfarenhet av matematiskt framtagna styrdiagram. Utöver den bristande kunskapen visar även de konstruerade X-mR diagrammen på för stora variationer för att tala om stabila processer. För att det ska bli aktuellt att påbörja fas två och användandet av diagram såsom CUSUM eller EWMA bör först fas ett avklaras där stabilitet i processerna kan konstateras till en tillfredsställande nivå. Ifall inte fas ett avklaras på korrekt vis finns risken att många larm kommer att uppstå då CUSUM och EWMA är avsevärt känsligare mot variationer. Sammanfattningsvis skall fas två inledas när VoP möter VoC och syftet blir således att övervaka processerna.

5.1.2 De tre orsakerna till variation

5.1.2.1 Ingående råvara

En av tre orsaker till variation i en process är enligt Montgomery (2012) den ingående råvarans kvalitet. Utifrån intervjuer med produktansvariga på BIM Kemi kan det vidare konstateras att kvaliteten för vissa kemikaliers som köps in är primär. För exempelvis produkten BIM Bright härstammar problemet rörande stora partiklar från den råvaran som köps in. På grund av påverkande faktorer såsom pris och tillgänglighet i världen använder sig

BIM Kemi av en råvara med sämre kvalitet än önskat. Råvaran av sämre kvalitet kan i sin tur vara en källa till att oönskad variation i processen, något som bör undvikas inom SPC.

En annan källa till variation som kan kopplas till råvara är de inköpta säckar med kem2 för BIM Bright som enligt operatör kan variera med över 100 kg i vikt. Denna variation resulterar i att den ansvariga operatören manuellt får kompensera för de skiftande mängderna med mer eller mindre vatten, följderna blir då att det ursprungliga receptet inte följs. Liksom för BIM Bright kan det vax som köps in för Skumdämparen också variera i vikt enligt ansvarig operatör, något som sedan påverkar tillförsel av de andra ingående delarna i receptet.

5.1.2.2 Operatör

En annan källa till variation som Montgomery (2012) redovisar är fel som uppstår på grund av en operatörs handlande. Trots att många moment är automatiserade vid framställning av både BIM Bright och Skumdämparen, finns det också ett flertal manuella operationer där operatörens påverkan blir direkt avgörande. Vid framställning av BIM Bright styr operatören tillförseln av ett flertal kemikalier och noggrannheten blir beroende av den aktuella situationen. I fallet med Skumdämparen uppstår situationer då blandningen får för låg temperatur vilket resulterar i att operatören manuellt får tillföra värme. Därmed skapas också variationer i utförande av processen samt hur noggrant recepten följs.

5.1.2.3 Maskin

Den sista källan till variation som Montgomery (2012) tar upp kan uppstå från maskiner. Denna faktor berör noggrannheten av rätt justerade samt kalibrerade maskiner. Med andra ord påverkas uppkomsten av denna variation av hur ofta BIM Kemi kontrollerar sin utrustning för att säkerställa att den svarar för den noggrannhet som recepten för produkterna förutsätter. Exempelvis kan utrustning som en våg behöva kalibreras för att säkerställa att rätt mängd kemikalier tillförs. Utifrån intervju med operatör har det visat sig att den vattenmätare som används i tanken "Stabbe" för produkten Skumdämpare varierar i noggrannhet, något som resulterat i att mängden tillfört vatten kan variera i över 100 kg. Ifall maskiner och utrustning ger fel data kan det leda till att operatörer avviker från recepten och variation skapas i processen.

5.1.3 Dagens arbete med avvikelser

BIM Kemis tillvägagångssätt för att hantera avvikelser kan ses som reaktivt på så vis att en defekt batch kompenseras med en ny som är anpassad. Eftersom information rörande batcher redan idag dokumenteras finns potentialen till att kunna gå djupare i analyser av avvikelser. Analys av avvikelser hade lämpligt kunnat genomföras med ett styrdiagram då olika perioder av tillverkning kan visualiseras och på så vis bidra till ett effektivare arbete. Petersson et al. (2009) talar för att en grundförutsättning i att arbeta framgångsrikt med avvikelser är att finna rotorsaken till ett uppkommet problem. Här kan styrdiagrammet bidra till att fastställa specifika batcher då förändring har uppkommit. Samtidigt kräver styrdiagrammen både resurser och en viss kompetens bland de som arbetar med avvikelserna, för att styrdiagrammet skall tolkas på rätt sätt.

Det finns redan idag en rutin för att hantera en avvikelse när klagomål uppkommer från kund. Genom systemet NCR skapas en fallstudie där den specifika batchen som har producerats för kund analyseras i syfte att ta fram förbättringar. Gällande Skumdämparen borde denna metod försvåras av att kvalitetsproven tas från en gemensam lagertank där flera batcher blandas. Det är rimligt att ifrågasätta huruvida det går att spåra tillbaka till den separata batchen då kvalitetsprovet är kopplat till en blandning av flera batcher tagen ur lagertank. Denna problematik talar för att kvalitetskontrollen gällande Skumdämparen borde flyttas till en punkt innan batcherna förs in i den gemensamma tanken, en förändring som föreslås i avsnittet 4.2.

5.1.4 Relevanta larmregler att använda för X-mR diagram

I en tidig fas kan det vara relevant för BIM Kemi att tillämpa samtliga tio sensibiliseringsregler formulerade av Montgomery (2012). Kunskapen kring både kontrolldiagram samt medföljande larmregler är troligen låg bland personalen och att i ett tidigt skede av implementeringen göra avvägningar rörande larmreglernas relevans kan vara direkt skadligt för processen. Vidare blir diagrammet känsligare i form av att fler kombinationer av mätpunkter analyseras, kontra fallet med enbart en punkt utanför kontrollgränserna. Med fler larmregler att följa upp ökar komplexiteten i systemet vilket kan försvåra arbetet för personalen. Vidare bör det dock lyftas att en viktig grundregel vid larm är att alltid analysera situationen utifrån grundliga fakta. Utifrån synsättet att alltid basera beslut på grundliga fakta blir resultatet av att använda sig av tio larmregler enbart extra arbete för personalen och således ingen risk att skada processen genom felaktiga beslut. Slutligen ska det nämnas att BIM Kemi redan idag har systemet IFS som stödjer styrdiagram och larmregler.

5.1.5 Underlag för att revidera kontrollgränser

I BIM Kemis framtida arbete med att säkerställa representativa kontrollgränser bör Perry Regiers fyra frågor som formuleras av Wheeler (2008) tas i beaktning. I regel ska BIM Kemi revidera kontrollgränserna ifall det finns underlag för ett nytt processtillstånd. Samtidigt ställs det krav på en viss kännedom kring förändringen och ifall organisationen inte kan fastställa orsaken till en processförändring bör resurser istället läggas på att analysera vad som låg till grund för det nya tillståndet. Med andra ord bör inte förhastade slutsatser tas innan det finns faktabaserad grund för att ta beslut. En förändring kan vara minst lika skadlig, som den kan vara strategiskt viktig för en organisation. En jämförelse kan göras med vikten av att göra rätt saker på rätt sätt. Ifall en organisation såsom BIM Kemi inte värderar denna risk kan kostnader på grund av bristande kvalitet uppstå, vilket kan resultera i inkomstbortfall över ett längre tidsperspektiv.

Vidare enligt Angel (2019) är en vanlig anledning till att kvalitetsproblem fortsätter att uppstå hos organisationer bristande kompetens vid implementering av hållbara lösningar. Ifall arbetet med att revidera gränser startas för tidigt, finns risken att viktig information utelämnas. En god förståelse kring en förändring är därmed avgörande för att säkert kunna eliminera en

processförändring långsiktigt och först därefter kan beslut om att revidera kontrollgränser diskuteras.

5.2 Analys av produkten BIM Bright

Nedan förs analys kring frågor specifikt kopplat till BIM Bright.

5.2.1 Möjliga orsaker till variation

De operationer inom BIM Bright som kan orsaka variation i slutlig produkt är enligt operatör bland annat kopplat till operation ett i processflödet. Det som kan påverka produktens slutliga karaktär är mängderna av respektive kemikalier som tillförs kallblandningskärlet. Dels påverkas mängden kem1 av hur noggrann operatören är med att bevaka tillförsele av kemikalien. Mängden kem1 kan variera enligt operatören med 20-50 kg beroende på noggrannheten. Den andra källan till variation i operation ett grundar sig i att de inköpta säckarna med kem2 varierar i mängd, säckarna kan variera med cirka 130 kg. För att hantera denna variation regleras mängden vatten som tillförs. För att uppnå ett önskat förhållande mellan vatten och kemikalie hanterar operatören problemet genom att både gå efter erfarenhet men också av att följa tidigare dokumenterade förhållanden. Ytterligare en faktor som kan påverka den färdiga produktens viskositet är mängden förtjockare som tillsätts. Orsaken till att det kan variera beror på operatörens noggrannhet med att stänga av påfyllningen förtjockare vid rätt mängd.

5.2.2 Analys av normalfördelningstest

Nedan följer analysen av normalfördelningstest som är utförd på produkten BIM Bright.

5.2.2.1 Normalfördelningsplot

Som tidigare har diskuterats i teori 2.7 är denna metod subjektiv när det kommer till att avgöra om mätdata ter sig normalfördelat eller ej. Huruvida mätdata är normalfördelat eller ej avgörs genom att utvärdera om mätvärdena bildar en rak linje eller inte, i denna fråga kan det råda skilda åsikter bland de som utvärderar resultatet. Normalfördelningsplotten bör analyseras av flera för att öka reliabiliteten och erhålla en gemensam uppfattning kring resultatet. Vidare kan en mer djupgående analys genomföras för att med större säkerhet kunna beskriva den typ av fördelning som infinner sig i BIM Brights processer. Ett exempel på en mjukvara är programmet JMP som jämför hur en normalfördelning passar en kontinuerlig variabel (JMP Statistical Discovery [JMP], u.å.).

5.2.2.2 Histogram med normalfördelningskurva

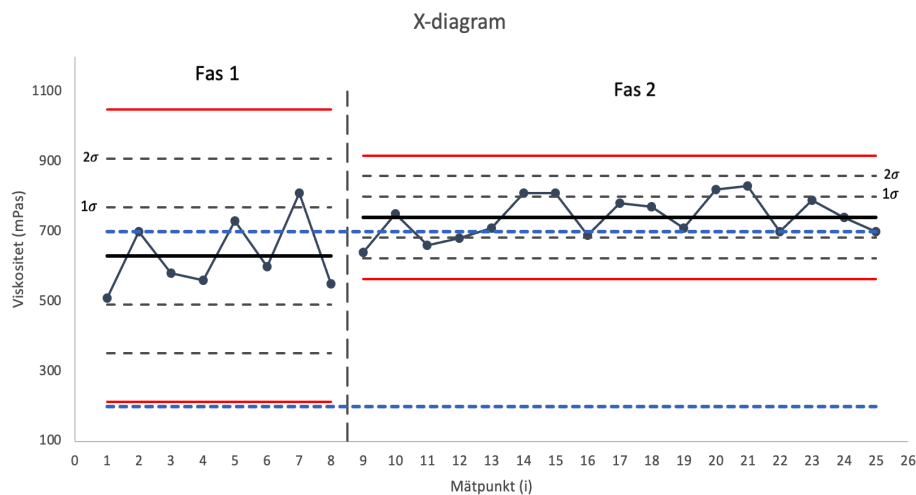
Histogrammet med normalfördelningskurva visar på en tendens att provdatan är förskjuten i förhållande till normalfördelningskurvan. Därmed kan inte normalfördelningsantagandet konstateras med säkerhet. För vidare analys av antagandet krävs följaktligen andra typer av metoder med en mer djupgående utvärdering, exempelvis med programmet JMP.

Från diskussion med produktansvarig för BIM Bright kan denna förskjutning bero på att de aktivt har gjort förändringar i produktionsprocesserna. Mätdata som användes sträcker sig

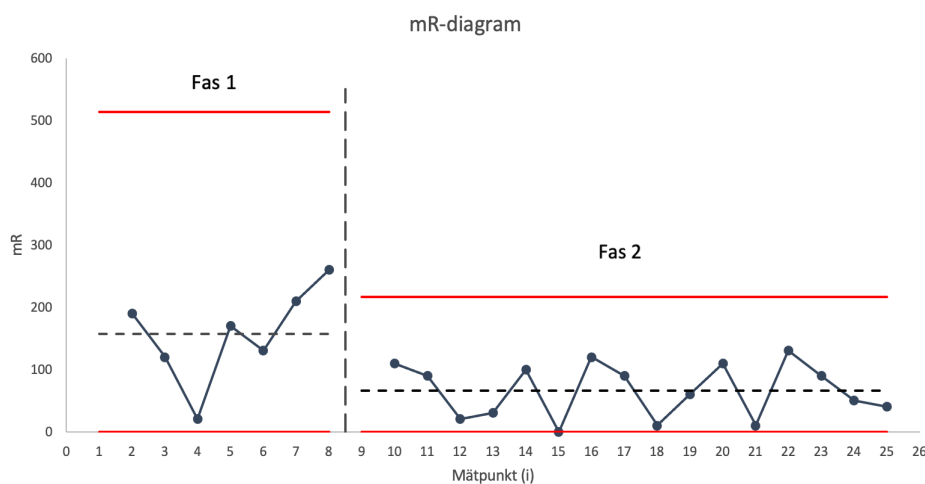
från 16 mars till 31 augusti 2021 och kan möjligen innehålla processskiften som orsakat förskjutningen i histogrammet.

5.2.3 Analys av X-mR diagram

Resultatet av figur 16 & 17 visar på att baslinjen som kontrollgränserna baserades på innehöll en förändring i processen från mätpunkt nio och framåt. Vidare uppvisar X-diagrammet även på ett icke slumpmässigt mönster enligt nionde varningssignalen (se teori 2.6.1.6.). På grund av de två signalerna kunde det konstateras att kontrollgränserna skulle revideras eftersom det är avgörande att basera gränserna på en process i stabilt tillstånd. Figur 16 & 17 visar även på att variationen efter mätpunkt nio är avsevärt lägre och därmed representerar inte kontrollgränser processens tillstånd vare sig innan eller efter skiftet, orsaken är att gränserna är baserade på en process med två tillstånd. Figur 22 & 23 skildrar därmed ett mer representativt läge av processens verkliga tillstånd över de 25 mätpunkterna.



Figur 22: X-diagram för BIM Bright uppdelad i två faser, 25 mätvärden mellan 10 feb - 10 mar, (kopia).



Figur 23: mR-diagram för BIM Bright uppdelad i två faser, 25 mätvärden mellan 10 feb - 10 mar, (kopia).

MR-diagrammet (se figur 23) i fas två visar på att centrallinjen har gått ned vilket innebär att variationen har minskat. Det går även att tyda att spannet mellan kontrollgränserna i fas två

har minskat, liksom processens variation. Utifrån denna analys kan det konstateras att processen är stabilare i fas två och processen är kapabel till att producera med mindre variation, dock på bekostnad av en högre viskositet.

Centrallinjen för X-diagrammet i fas två (se figur 22) har ökat efter fasuppdelningen. Förändring innebär att majoriteten av batcherna som produceras kommer ha ett värde större än USL. Vilket betyder att processen vid dessa tillfällen inte kommer kunna möta VoC samt att produkten inte godkänns. Likt det som D.R. Kiran (2017) grafiskt visualiserar av Taguchi's förlustfunktion kan kostnader uppstå för både företaget och kund. För ett företag som BIM Kemi kan bristande möjlighet att möta VoC leda till kostnader för både produktion och omarbetning, men också framtida inkomstbortfall som ett resultat av missnöjda kunder och ett försämrat rykte.

Vidare möjliggör styrdiagrammen en ökad diskussion. Exempelvis kan BIM vilja ställa sig frågan huruvida det nya tillståndet som visualiseras i diagrammen ska ses som tillfredsställande eller ej. I ett scenario kan en högre viskositet accepteras för att erhålla en lägre variation i processen, förutsatt att produkten fortfarande går att sälja baserat på VoC. Alternativt behöver processens nya tillstånd förändras för att återigen få ner viskositeten. I denna diskussion ska det tilläggas att verksamheten alltid bör sträva efter att förbättra processen och därigenom fortsätter förbättringsarbetet trots att det nya tillståndet i processen möjligen accepteras.

5.3 Analys av produkten Skumdämpare

Nedan förs analys kring frågor specifikt kopplat till produkten Skumdämpare.

5.3.1 Möjliga orsaker till variation

Över tid har partikelstorleken varierat vilket påverkar stabiliteten hos färdig produkt, där problemet tros bero på råvarans kvalitet. Ingående råvara av vax kommer i säckar och kan variera i vikt motsvarande ett kg. Vidare har trender visat på ett samband mellan viskositet och mängden vax, på så vis att mer vax i blandning ger högre viskositet. Ytterligare en påverkande faktor i processen är värme. När blandningar från de olika tankarna sammanförs i reaktorn har de olika temperatur vilket kan resultera i en blandning med för låg temperatur. Temperaturskillnaden kan i sin tur leda till att en viss kemikalie stelnar och det blir då nödvändigt att tillföra värme genom direktånga in i reaktorn. Denna problematik har inte visat sig påverka slutkvalitet av produkt men bidrar till variation i hur produkten framställs. Ytterligare en källa till variation har visat sig vara noggrannheten hos vattenmätaren kopplad till tanken "Stabbe". Vattenmätaren skapar en variation motsvarande 20 kg vatten extra per ton, och kan därför innebära cirka 170 kg mer vatten än vad receptet uppger.

5.3.2 Placering av kvalitetskontroll

BIM Kemi har för produkten Skumdämpare tagit kvalitetsprover ur lagertank där flera batcher blandas tillsammans (se figur 11). Kvalitetsprov från lagertank resulterar i att mätdata inte speglar den specifika batchen. Följden av denna provtagningsmetod blir att ingen information

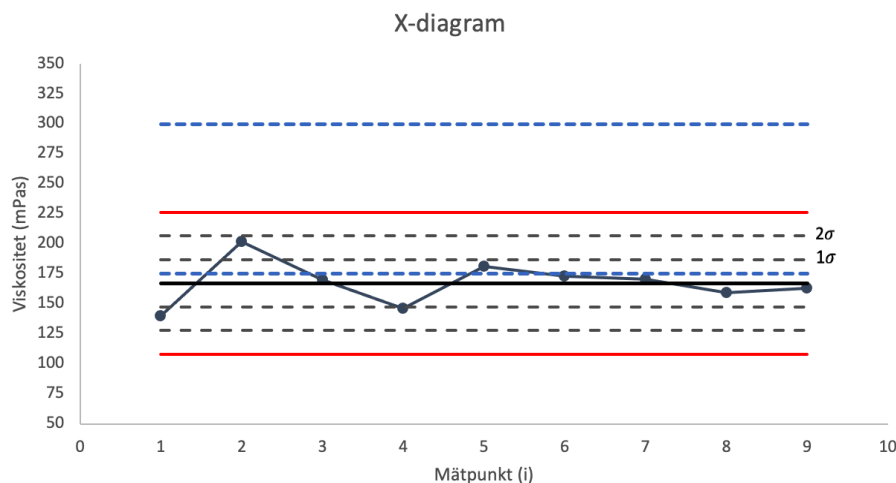
återfås om den enskilda batchens kvalitetsegenskap eller processens tillstånd.

Kvalitetskontroll ur lagertank med flera batcher medför svårigheter i att kunna spåra och fastställa orsaker till processvariation samt anledningar för varierande produktkvalitet.

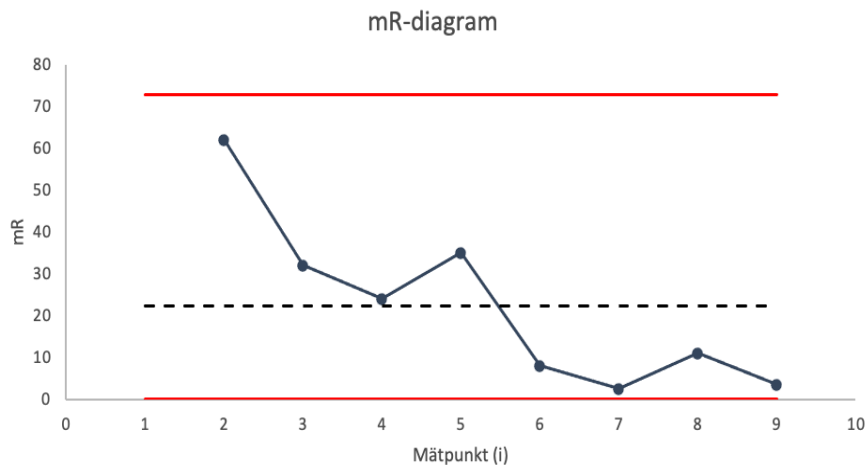
Då X-mR diagram bygger på övervakning av den enskilda batchen lämpar sig därför inte den nuvarande placeringen av kvalitetskontrollen från lagertank. En tänkbar möjlighet är att utföra kvalitetskontroll innan batchen pumpas över till lagertank (se figur 13). Förändringen skulle innebära att provtagning ger information kring respektive batch kontra den blandade massan i lagertanken. Genom förflyttning av provtagningen blir också kontrollidiagram tillämplbart.

5.3.3 Analys av X-mR diagram

X-mR diagrammen för Skumdämparen (se figur 24 & 25) är konstruerade med nio mätvärden mellan 1 april och 22 april 2022. När få mätvärden används är det av extra stor vikt att styrdiagrammen konstrueras utifrån en stabil baslinje (Wheeler, 2008). Ifall baslinjen inte är stabil kan de konstruerade kontrollgränserna vara missvisande och representerar då inte processen sanna tillstånd. Ifall VoP har beräknats utifrån två olika processtillstånd kan det leda till att spannet mellan gränserna blir större. Vad som kännetecknar ett stabilt tillstånd redogörs för i teori 2.6, där en stabil process illustreras i figur fyra fram till det att t_I infaller. När baslinjen har baserats på två processtillstånd har data blivit insamlad över en period då processen haft olika processmedelvärden och standardavvikelse, vilket illustreras i figur fyra då processen övergår till fasen t_I .



Figur 24: X-diagram för Skumdämparen, 9 mätvärden mellan 1 april - 22 april, (kopia).



Figur 25: mR-diagram för Skumdämparen, 9 mätvärden mellan 1 april - 22 april, (kopia).

Skumdämparens mR-diagram (se figur 25) visar att variationen i processen har minskat från mätpunkt fem och framåt. Att variationen har minskat blir även tydligt i X-diagrammet (se figur 24) då de efterkommande mätpunkterna ligger nära centrallinjen. Genom att analysera diagrammen utifrån larmreglerna formulerade av Montgomery (2012), finns det inga signaler på att processen är utom kontroll. Dock visar mR-diagrammet på en tydlig minskning i variation vilket därmed kan innebära att kontrollgränserna är konstruerade på en icke stabil baslinje. Därmed bör de nästkommande mätvärdena analyseras för att utvärdera om processen numera har antagit ett nytt tillstånd. Ifall processen visar sig bestå av ett nytt tillstånd bör kontrollgränserna revideras eftersom de nuvarande gränserna då inte är baserade på en stabil process. Beslutet skall enbart tas om det finns tydligt underlag för att ett nytt tillstånd är närvarande, annars skall ingen revidering genomföras.

En konsekvens av att använda X-mR-diagrammen (se figur 24 & 25) även fast de ej är helt representabla för processen är att larmsignaler kan missas. Då styrdiagrammen enbart är baserade på nio mätvärden så får varje värde en större inverkan på kontrollgränserna och likaså ett processskifte. Därmed kan gränserna för dessa diagram vara uppblåsta, vilket gör att avvikelser som är signifikanta ej upptäcks.

Vidare går det att utläsa från X-diagrammet (se figur 24) att centrallinjen ligger under de interna specifikationsgränserna. Det innebär att produktionen i snitt kommer att missa VoC då processen inte är tillräckligt kapabel. Mer konkret betyder det att produkten som produceras kommer ha lägre viskositet än önskat i de flesta fallen. Styrdiagrammen ger därmed indikationen att förbättringsarbete bör genomföras för att processens kapabilitet skall öka.

5.4 Fortsatt arbete mot ökad kvalitet

För att BIM Kemi skall fortsätta att utvecklas inom sitt framtida kvalitetsarbete krävs det att verksamheten vidare beaktar förluster som uppstår av att arbeta reaktivt. Enligt Svenska Institutet för Standarder (u.å.-c) kan kvalitetsbristkostnader uppgå till 10-30% av den totala omsättningen för en verksamhet, där besparing går att finna i bland annat produktion samt andra processer associerat med kunder och leverantörer. För att minimera kostnader på grund

av kvalitetsbrister bör ett proaktivt arbetssätt tillämpas. Arbetet kan handla om att exempelvis implementera styrdiagram tidigare i processen för att erhålla större kontroll över produktens slutliga kvalitet. Idag utförs kvalitetskontroll då produkten anses vara färdigproducerad vilket begränsar möjligheten till att arbeta proaktivt eftersom produktens kvalitet blir känd först när den är färdig. Vidare kan ett proaktivt kvalitetsarbete även skapa förutsättningar för att lättare hitta orsaker till att stabiliteten hos produkten varierar. Genom att följa upp ingående mängder av viktiga råvaror med styrdiagram, kan mer information utvinnas kring vad som påverkar den slutliga kvaliteten. Styrdiagram tidigare i processen ger därmed förutsättningar för att lättare finna samband mellan råvarumängder och slutlig produktkvalitet samt stabilitet.

Från både intervjuer med de produktansvariga samt utifrån det nuvarande arbetsflödet vid kvalitetskontroll, kan det noteras att det i dagsläget sker en form av utvärdering av råvara. En tänkbar förbättringsåtgärd mot minskad variation i produktionen är att komplettera utvärderingen med att utföra ett kvalitetstest på den ingående råvaran. I tidigare analys (se analys 5.1.2.1) diskuteras den råvara som BIM Kemi köper in som en form av källa till variation i processen. Eftersom produktansvariga anser att kvaliteten på vissa ingående kemikalier är primärt, hade mer utförliga mätningar på ingående kemikalier varit ett sätt att arbeta i ett mer förebyggande syfte. Att utföra kvalitetstest på ingående råvara där det finns misstankar kring exempelvis varans stabilitet skulle ett tidigt test kunna motverka denna källa till variation.

En annan källa till variation i processer är maskiner, därmed kan även ett framtida arbete för att säkerställa utrustningens prestation ge positiva resultat i form av minskade variationer. Bland annat kan arbetet innebära att kontinuerligt övervaka samt säkerställa noggrannheten hos samtliga vågar då rätt mängd kemikalie är en viktig faktor vid blandning efter recept. Arbetet berör även annan utrustning såsom exempelvis vattenmätaren vid tillverkningen av Skumdämparen.

Vidare är det även relevant för BIM Kemi att öka personalens kunskaper kring vad variationer innebär samt hur SPC kan tillämpas. Enligt Liker (2005) är det åttonde slöseriet att inte utnyttja personalens kreativitet. Därmed kan personalens bristande kunskaper inom SPC resultera i att företaget går miste om idéer på tänkbara möjligheter till utveckling. Den outnyttjade kreativiteten blir dessutom mer tillgänglig om personalen även besitter kunskaper om vad som skapar variationer samt innebörden av SPC. Med en genomgående kännedom kring ämnet främjas kommunikationen mellan de olika parterna i företaget och personalens kreativitet kan enklare utvinnas.

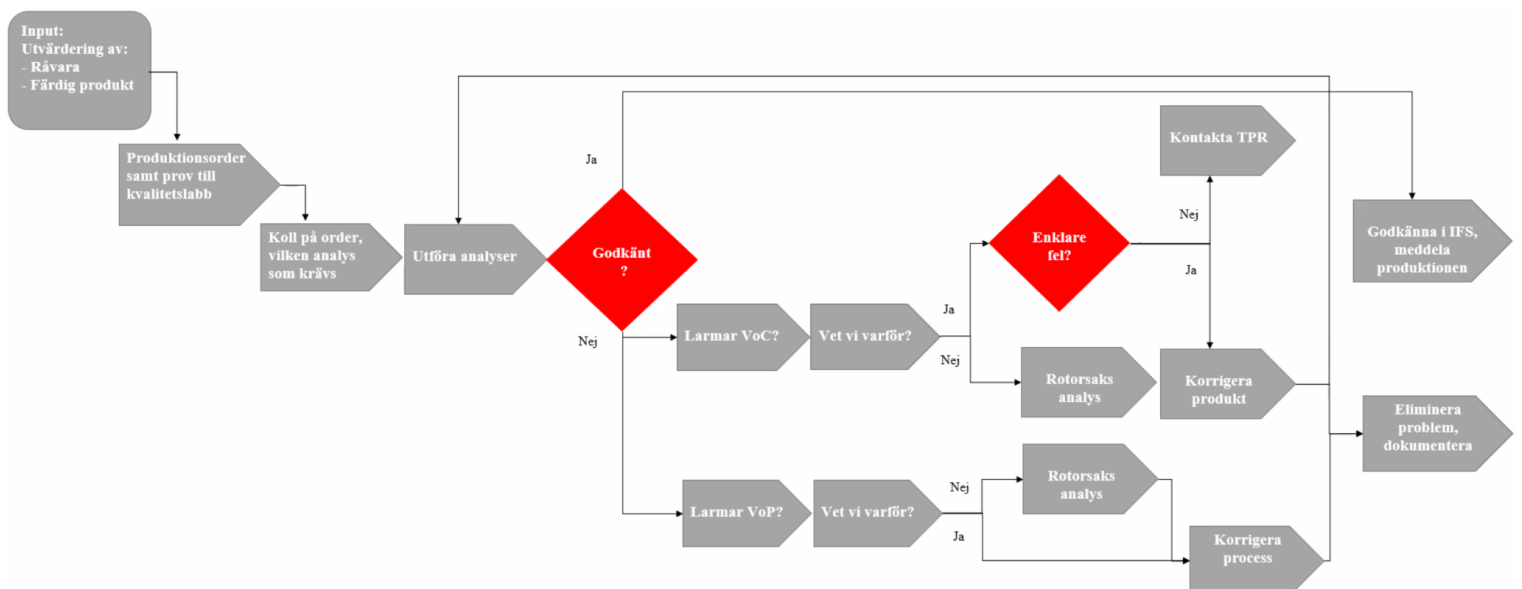
BIM Kemi rekommenderas även i framtiden att utveckla sitt arbete med att använda styrdiagram. Styrdiagram som tidigare diskuterat möjliggör att företaget kan öka kontroll över tillverkningen och minska variationer. Möjligheten att ta kontroll över sin situation innebär för företaget en stor potential till att strategiskt utvecklas och öka sin konkurrenskraft på marknaden. I en situation då variationer har reducerats till en acceptabel nivå och morgondagen går att förutspå, kan resurser läggas på att planera företagets fortsatta utveckling istället för att korrigera problem. Vidare kan det därmed vara givande att fortsätta med att

applicera styrdiagram på flera av BIM Kemis produkter. Arbetet med att implementera styrdiagram på fler produkter kommer att vara omfattande och därför bör företaget till en början föra diskussioner kring vart styrdiagrammen bäst hade tillämpats, exempelvis där det finns mest potential till ekonomiska fördelar.

I BIM Kemis arbete mot fortsatt ökad kvalitet kan Six Sigma vara ett lämpligt riktmärke. Principen med att producera 3,4 defekter per miljon tillverkade kan anses vara både orimligt och högst kostsamt. Trots att Six Sigma nivån rimligtvis inte är ekonomiskt försvarbart i BIM Kemis situation, kan fortfarande en strävan mot att ständigt reducera variationer i produktionen vara gynnsamt för framtiden. En optimal Six Sigma process innebär att även då processens medelvärde omfattas av störningar kommer kvaliteten i princip alltid vara inom VoC. BIM Kemi bör sträva efter att uppnå en nivå där dem med större säkerhet kan säkerställa att deras produkter möter de interna specifikationsgränserna.

5.4.1 Nytt arbetsflöde för att öka kvalitet

Nedan presenteras förslag på ett nytt arbetsflöde som har tagits fram under projektet. Arbetsflödet är ett exempel på hur BIM Kemi kan arbeta framöver för att även inkludera SPC i sin kvalitetskontroll. Planen utgår från dagens arbetsflöde (se figur 12) och är anpassad för att behålla enkelheten, som även bidrar till en tydlighet. När ett prov inte godkänns ska det först klargöras huruvida problemet antingen är kopplat till specifikationsgränserna eller kontrollgränserna, i planen beskrivet som VoC eller VoP. En annan förändring i den nya planen är införandet av rotorsaksanalys samt dokumentation för att kunna ta arbetet vidare med att eliminera variation.



Figur 26: Förslag på hur BIM Kemi kan implementera SPC i sitt nuvarande arbetsflöde för kvalitetskontroll.

Det nya arbetsflödet främjar arbetsgången mot ständiga förbättringar genom ökad dokumentation, rotorsaksanalys samt eliminering av variation. Dokumentationen som samlas in kan både bidra till viktig diskussion vid ledningsmöten men också möjliggöra en mer djupgående rotorsaksanalys vid tänkbara fel. Genom att komplettera ledningsmöten med kvalitativa fakta som sammanställs i det nya arbetsflödet kan diskussioner uppstå där personal delar nya synsätt på problem och förbättringsförslag med varandra. Tillsammans med dokumentation och styrdiagram som underlag kan frågor likt “är det nuvarande tillståndet önskvärt eller ej?” diskuteras på ledningsnivå. I ett annat scenario kan nya lösningar härstamma från att personal i produktionen delar information och erfarenheter rörande processens prestanda med andra anställda på BIM Kemi. Den dokumentering och de rotorsaksanalyser som ska genomföras vid nya okända fel kan även skapa en bättre grund för efterföljande analyser i form av viktig input då tidigare arbete redan finns tillgängligt att utgå från.

Genom att analysera BIM Kemis nuvarande arbetsflöde (se figur 12), kan det noteras att det inte finns något steg som lyfter arbetet med dokumentering. Till följd av denna brist finns risken att dokumentering i vissa fall förbises då momentet inte tydligt klargörs i arbetsflödet. Med mer utförlig dokumentering följer dock även mer arbete. Denna resurs måste finnas tillgänglig på BIM Kemi för att det nya arbetsflödet ska fungera. Att avsätta mer resurser för att kunna dokumentera kan vara långsiktigt lönsamt i form av att mer information finns för att ta välgrundade beslut. Faktabaserade beslut gör att företaget kan vara effektivare i beslutsfattandet och på så vis säkerställa att rätt beslut tas direkt.

Införandet av SPC i arbetsflödet separerar VoC och VoP vilket förenklar arbetet med att lokalisera ett fel samt bidrar med relevant information för en rotorsaksanalys. Ett exempel som visar på vikten av att kunna skilja på VoC och VoP är (figur 18). Utifrån X-diagrammet för BIM Bright kan det konstateras att en process fortfarande kan anses vara stabil samtidigt som den inte möter kundkraven. Således blir resultatet att felet ligger i VoC och inte VoP, felet skulle mer specifikt noteras i det nya arbetsflödet. Informationen som ett styrdiagram ger kopplat till processen möjliggör för ett effektivt förbättringsarbete då problem av olika karaktär kan urskiljas. Därmed minimeras risken att utföra förändringar utan att faktiskt besitta underlag till problemet. Det nya arbetsflödet stöds även av metodiken i standarden ISO 9001:2015 kring arbetet med förbättringar. Standardens processinriktade synsätt samt att beslut skall vara faktabaserad främjar ett effektivt arbete med att stärka upp aktivitetsflöden, likt vad arbetsflödet åstadkommer för BIM Kemi.

6. SLUTSATS

Teoretisk referensram, resultat och analys ligger till grund för nedan presenterad slutsats som skall besvara projektets syfte och frågeställningar.

6.1 Betydelsen av statistisk processtyrning

Förståelsen för kvalitet och de strategiska fördelarna som följer av god kvalitet är en drivande faktor i varför projekt likt det här initieras. Variationer ligger till grund för all form av bristande kvalitet och det är när företag kommer till denna insikt som statistisk processtyrning oftast upptäcks. Projektet har visat på vikten av att utgå från företagets nuvarande situation för att en implementering av statistiska verktyg likt styrdiagram skall vara tillämpbart.

Statistisk processtyrning skapar förutsättningar för att beslut skall tas utifrån faktabaserad information. Genom statistiskt underlag för hur företagets processer presterar kan BIM Kemi agera på rätt signaler. Styrdiagram effektiviserar ett företags arbete med att både styra och förbättra sina processer. En fördel med att aktivt arbeta med styrdiagram är att det öppnar upp för diskussioner. Då styrdiagram ger information om processens tillstånd samt hur kapabel processen är att möta specifikationer skapas diskussioner om hur företaget strategiskt skall utvecklas inom tillverkningen.

6.2 Införandet av styrdiagram

En tänkbar begränsande faktor vid införandet av styrdiagram inom en kemiindustri liksom BIM Kemi är tillgängligheten till mätdata och rationell undergruppering. Inom kemiindustrin lämpar sig ett X-mR diagram då det följer upp individuella värden samt har en robusthet mot sannolikhetsfördelningar. Tack vare relativt enkla beräkningar kan X-mR diagram föras in på flera delar av en process för att öka kontrollen. Genom att tillämpa matematiska formler baserat på statistik och sannolikhet kan kontrollgränser tas fram i form av en faktabaserad representation av en process. Som ett komplement till kontrollgränserna existerar det även ett flertal larmregler vilket används i syfte att öka styrdiagrammets känslighet till att finna en process utom kontroll. Larmreglerna bidrar därmed även till att användaren skall kunna reagera på de olika signaler som ett styrdiagram kan ge ifrån sig. Samtliga larmregler möjliggör en mer utförlig analys och tolkning av styrdiagrammen för att säkerställa att dem utnyttjas på rätt sätt.

Baserat på projektets resultat kan det konstateras att BIM Kemi befinner sig i fas ett gällande arbetet med statistisk processtyrning. Gemensamt för de båda undersökta produkterna är att de interna specifikationsgränserna ligger utanför kontrollgränserna och att i samtliga två styrdiagram sker en form av skiftning där tillståndet i processen har varierat. Med skiftande tillstånd hos processerna i produktionen kvarstår arbete med att uppnå stabilitet och därefter inleda fas två i övervakande syfte. Det är första gången som företaget analyserar produktionsdata ur ett statistiskt perspektiv. Avsaknaden av tidigare erfarenheter bidrar till vikten av ett noggrant förarbete där bland annat baslinjen ska baseras på ett stabilt tillstånd för att erhålla representativa kontrollgränser. Ifall stabilitet inte beaktas finns risken att de

kontrollgränser som BIM Kemi konstruerar blir för breda och ger motverkande effekt i form av att viktiga signaler från processen inte upptäcks.

6.3 Det fortsatta arbetet med SPC mot ständiga förbättringar

I ett fortsatt arbete mot ökad kvalitet inom verksamheten rekommenderas BIM Kemi att börja arbeta mer aktivt i förebyggande syfte. Insatser kan läggas på olika delar av organisationen beroende på ifall det rör sig om att exempelvis införa styrdiagram tidigare i produktion, kvalitetskontroll av ingående råvara eller försäkran om maskinernas tillförlitlighet. Oberoende av val av åtgärd ska det övergripande målet kretsa kring att minska variationer i processer för att säkerställa att rätt kvalitet uppnås och att kundens specifikationsgränser möts.

Ett nytt arbetsflöde kan bidra till att sprida kunskap bland personalen om variationens påverkan i processer samt möjligheterna med statistisk processtyrning. Till följd av denna kunskap skapas en medvetenhet bland berörda parter som vidare kan medföra en uppkomst av nya förbättringsförslag samt givande diskussioner rörande förbättringar.

Statistisk processtyrning lyfter processens röst och främjar ett nytt arbetssätt med processen i fokus. För BIM Kemi innebär statistisk processtyrning att ta kontroll över sina processer och i framtiden styra istället för att reaktivt korrigera.

6.4 Förslag på fortsatta forskning

I ett fortsatt forskningssyfte kring statistisk processtyrning rekommenderas att vidare utvärdera om mätdata påverkas av autokorrelation. Forskning kring autokorrelation innebär att analysera ifall data upprepas i mönster. För BIM Kemi kan autokorrelation handla om att årstidernas temperaturskillnader i fabriken möjligtvis påverkar kemikalieproduktionen och produktens kvalitet. Ytterligare ett forskningsarbete kan vara att utvärdera processduglighet, C_p och C_{pk} , när processerna anses vara under statistisk kontroll. Processduglighetsmått återger djupare information kring hur bra en process producerar i förhållande till toleransgränserna.

7. REFERENSLISTA

Litteratur

Angle, A. S. (2019). *Unleash Quality : Build a Winning Strategy for a Culture of Quality That Will Unleash Your Growth and Profit Potential*. ASQ Quality Press.

Bergman, B., & Klefsjö, B. (2002). *Kvalitet i alla led*. Studentlitteratur AB.

D.R. Kiran. (2017). *Total Quality Management - Key Concepts and Case Studies*. Butterworth-Heinemann Inc.

Graziano, A. M., & Raulin, M. L. (1989). *Research methods: A process of inquiry*. Harper & Row.

Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way : 14 Management Principles From the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill.

Liker, J. K. (2005). *The Toyota way fieldbook: a practical guide for implementing Toyota's 4Ps*. McGraw-Hill.

Madanhire, I., & Mbohwa, C. (2016). *Application of Statistical Process Control (SPC) in Manufacturing Industry in a Developing Country*. Elsevier B.V.

Montgomery, D. C. (2012). *Introduction to Statistical Quality Control*. John Wiley & Sons.

Mullins, E. (2003). *Statistics for the Quality Control Chemistry Laboratory*. Royal Society of Chemistry.

Oakland, J. S. (2008). *Statistical process control*. Butterworth-Heinemann Inc.

Petersson, P., Johansson, O., Broman, M., Blücher, D., & Alsterman, H. (2009). *Lean - Gör avvikelser till framgång!*. Part Media.

Pyzdek, T., & Keller, P. (2018). *The Six Sigma Handbook*. McGraw-Hill.

Wheeler, D. J. (2008). *Twenty things you need to know*. USA: SPC Press

Vetenskapliga artiklar

Chakraborti, S. (2000). Run length, average run length and false alarm rate of shewhart x-bar chart: exact derivations by conditioning. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, volym (29), s.61-81.

Hernon, P., & Schwartz, C. (2009). Reliability and validity. *Library & Information Science Research*, volym (31), s. 73-74. <https://doi.org/10.1016/j.lisr.2009.03.001>

Khan, H., Farooq, S., Aslam, M., & Khan, M. A. (2018). Exponentially Weighted Moving Average Control Charts for the Process Mean Using Exponential Ratio Type Estimator. *Journal of Probability and Statistics*, volym (2018), s. 1-15. <https://doi.org/10.1155/2018/9413939>

Lundell, A., & Nagarajan, S. (2012). *Evaluating the effectiveness of the robust index tool*. Chalmers tekniska högskola / Institutionen för teknikens ekonomi och organisation. <https://hdl.handle.net/20.500.12380/159235>

Sandholm Associates. (2020, 21 januari). *Ledning, Strategi och säkring*. https://sandholm.se/wp-content/uploads/KC-broschyr_21jan2020_enkelsid.pdf

Webbsidor

JMP Statistical Discovery. (u.å.). *Assessing Normality*. https://www.jmp.com/en_ca/learning-library/topics/probabilities-and-distributions/assessing-normality.html

LEAN SIX SIGMA DEFINITION. (u.å.). *Taguchi Loss Function*. <https://www.leansixsigmadefinition.com/glossary/taguchi-loss-function/>

Svenska institutet för standarder. (u.å.-a). *Detta är ISO 9001*. <https://www.sis.se/iso9001/dettariso9001/>

Svenska institutet för standarder. (u.å.-b). *Ledningssystem för kvalitet- Principer och terminologi (SS-EN ISO 9000: 2015)*. <https://www.sis.se/produkter/foretagsorganisation/foretagsorganisation-och-foretagsledning-ledningssystem/ledningssystem/sseniso90002015/>

Svenska institutet för standarder. (u.å.-c). *Varför ISO 9001?*. https://www.sis.se/iso9001/varfor_iso_9001/

8. BILAGOR

Bilaga 1: Gantt-schema över planering av arbetet.

Projektnamn	Projekt tid (Dagar)	Projekt Start	Projekt Slut	
Examensarbete	131	24-jan-22	03-juni-22	
Uppgift	Uppgifts beskrivning	Tid (Dagar)	Start Datum	Slut Datum
1	Möte med handledare chalmers	1	24-jan-22	24-jan-22
2	Uppstartsmöte med BIM Kemi	1	26-jan-22	26-jan-22
3	Litteraturstudie	75	24-jan-22	08-apr-22
4	Möte med produktansvariga på BIM Kemi	1	08-feb-22	08-feb-22
5	Planeringsrapport	22	04-feb-22	25-feb-22
6	Rundvandring i produktion	1	22-feb-22	22-feb-22
7	Möte med produktansvarig för BIM Bright	1	10-mars-22	10-mars-22
8	Nulägesanalys	22	10-mars-22	31-mars-22
9	Insamling av data	30	01-apr-22	30-apr-22
10	Konstruering av kontrolldiagram	30	01-apr-22	30-apr-22
11	Utvärdering	14	02-maj-22	15-maj-22
12	Slutföra rapport, inlämning till handledare	8	16-maj-22	23-maj-22
13	Skapa en presentation	10	23-maj-22	01-juni-22
14	Opponering	1	03-juni-22	03-juni-22
15	Slutlig inlämning	4	03-juni-22	06-juni-22

Bilaga 2: Original från Montgomery (2012, s. 422).

ARL Performance of the Tabular CUSUM with $k = \frac{1}{2}$ and $h = 4$ or $h = 5$

Shift in Mean (multiple of σ)	$h = 4$	$h = 5$
0	168	465
0.25	74.2	139
0.50	26.6	38.0
0.75	13.3	17.0
1.00	8.38	10.4
1.50	4.75	5.75
2.00	3.34	4.01
2.50	2.62	3.11
3.00	2.19	2.57
4.00	1.71	2.01

Bilaga 3: Original från Montgomery (2012, s. 437).

Average Run Lengths for Several EWMA Control Schemes
[Adapted from Lucas and Saccucci (1990)]

Shift in Mean (multiple of σ)	$L = 3.054$ $\lambda = 0.40$	2.998 0.25	2.962 0.20	2.814 0.10	2.615 0.05
0	500	500	500	500	500
0.25	224	170	150	106	84.1
0.50	71.2	48.2	41.8	31.3	28.8
0.75	28.4	20.1	18.2	15.9	16.4
1.00	14.3	11.1	10.5	10.3	11.4
1.50	5.9	5.5	5.5	6.1	7.1
2.00	3.5	3.6	3.7	4.4	5.2
2.50	2.5	2.7	2.9	3.4	4.2
3.00	2.0	2.3	2.4	2.9	3.5
4.00	1.4	1.7	1.9	2.2	2.7

Bilaga 4: Original från Montgomery (2012, s. 720).

Factors for Constructing Variables Control Charts

Observations in Sample, n	Chart for Averages						Chart for Standard Deviations						Chart for Ranges					
	Factors for Control Limits			Factors for Center Line			Factors for Control Limits				Factors for Center Line		Factors for Control Limits					
	A	A_2	A_3	c_4	$1/c_4$		B_3	B_4	B_5	B_6	d_2	$1/d_2$	d_3	D_1	D_2	D_3	D_4	
2	2.121	1.880	2.659	0.7979	1.2533	0	3.267	0	2.606	1.128	0.8865	0.853	0	3.686	0	3.267		
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	1.1284	0	2.568	0	2.276	1.693	0.5907	0.888	0	4.358	0	2.574		
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	1.0854	0	2.266	0	2.088	2.059	0.4857	0.880	0	4.698	0	2.282		
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	1.0638	0	2.089	0	1.964	2.326	0.4299	0.864	0	4.918	0	2.114		
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	1.0510	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0	5.078	0	2.004		
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	1.0423	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.3698	0.833	0.204	5.204	0.076	1.924		
8	1.061	0.373	1.099	0.9650	1.0363	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.820	0.388	5.306	0.136	1.864		
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	1.0317	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.3367	0.808	0.547	5.393	0.184	1.816		
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	1.0281	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777		
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	1.0252	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3152	0.787	0.811	5.535	0.256	1.744		
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	1.0229	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.3069	0.778	0.922	5.594	0.283	1.717		
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	1.0210	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.770	1.025	5.647	0.307	1.693		
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	1.0194	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2935	0.763	1.118	5.696	0.328	1.672		
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	1.0180	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.2880	0.756	1.203	5.741	0.347	1.653		
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	1.0168	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.2831	0.750	1.282	5.782	0.363	1.637		
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	1.0157	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.744	1.356	5.820	0.378	1.622		
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	1.0148	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.2747	0.739	1.424	5.856	0.391	1.608		
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	1.0140	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.2711	0.734	1.487	5.891	0.403	1.597		
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	1.0133	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	0.2677	0.729	1.549	5.921	0.415	1.585		
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	1.0126	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2647	0.724	1.605	5.951	0.425	1.575		
22	0.640	0.167	0.647	0.9882	1.0119	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.720	1.659	5.979	0.434	1.566		
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	1.0114	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.2592	0.716	1.710	6.006	0.443	1.557		
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	1.0109	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.451	1.548		
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	1.0105	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.2544	0.708	1.806	6.056	0.459	1.541		

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH
MATERIALVETENSKAP VT22
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2022
www.chalmers.se



CHALMERS