



**CHALMERS**



**BOREALIS**

Keep Discovering

# **Stabilare materialflöde som grund för ökad produktionseffektivitet**

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet maskinteknik

Nader Mohamad  
Omid Qiyam

**INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP**  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2025  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)

# Stabilare materialflöde som grund för ökad produktionseffektivitet

Nader Mohamad  
Omid Qiyam

Department of Industrial and Materials science  
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
Göteborg, Sweden 2026

## Förord

Detta examensarbete har genomförts som en del av högskoleingenjörsprogrammet vid Chalmers tekniska högskola i samarbete med Borealis. Arbetet har gett oss möjlighet att tillämpa teoretiska kunskaper i en industriell miljö och samtidigt bidra med analys och förbättringsförslag till ett praktiskt produktionsproblem.

Vi vill rikta ett stort tack till Björn Lundin för att ha gett oss möjligheten att genomföra detta examensarbete och för förtroendet att arbeta med detta projekt.

Ett särskilt tack riktas till Boris Nikic för hans engagemang, vägledning och stöd under arbetets gång. Hans kunskap om processen och tillgänglighet har varit mycket värdefull för genomförandet av studien.

Vi vill även tacka Peter Hammersberg för hans handledning och återkoppling som både handledare och examinator. Hans synpunkter har varit viktiga för att strukturera arbetet och säkerställa att rapporten håller rätt nivå.

## Sammanfattning

Variationer i materialflöde utgör en vanlig utmaning i industriella produktionssystem och kan leda till småstopp, sänkt produktionstakt och ineffektivt utnyttjande av befintlig kapacitet.

Detta examensarbete behandlar problematik kopplad till ojämnt materialflöde i en industriell packningsprocess för pulverbaserat material, där den faktiska produktionstakten varierar trots oförändrade maskininställningar.

Studiens kärnbudskap är att variationer i materialflödet, särskild vid hanteringen av pulvermaterialet kan begränsa produktionstakten trots packlinjens tekniska kapacitet är högre. Genom att förbättra utformningen av materialanslutningen och arbeta mer standardiserat vid uppstart kan flödet stabiliseras och buffertnivån hållas mer jämnt. Detta kan bidra till färre småstopp, stabilare produktion och ett bättre utnyttjande av linjens kapacitet. För företaget innebär detta en möjlighet till ökad produktionseffektivitet och mer robust drift vid hantering av olika material.

Syftet med studien är att kartlägga nuläget i materialflödet, identifiera möjliga orsaker till flödesvariationer samt ta fram förbättringsförslag som kan bidra till en stabilare och mer förutsägbar produktion. Arbetet har genomförts som en fallstudie där kvalitativa metoder såsom observationer och intervjuer med drifttekniker kombinerats med kvantitativa inslag i form av tidsstudier och analys av tillgängliga produktionsdata.

Analysen har genomförts med stöd av verktyg från Lean och Six Sigma, inklusive DMAIC strukturen, och orsaksanalys. Resultaten visar att variationer i materialflöde kan kopplas till både tekniska faktorer i övergången mellan container och rörsystem samt till skillnader i rutiner och inställningar vid uppstart och containerbyten.

Studien resulterar i förbättringsförslag på konceptuell nivå, såsom justering av designlösningar, standardisering av maskininställningar och förbättrad datainsamling. Förslagen syftar till att stabilisera materialflödet, minska småstopp och förbättra utnyttjandegraden av packmaskinens kapacitet. Resultaten är avsedda att fungera som ett beslutsunderlag för vidare tekniska och organisatoriska åtgärder inom produktionen.

## Abstract

Variations in material flow constitute a common challenge in industrial production systems and can lead to minor stoppages, reduced production rates, and inefficient utilization of existing capacity. This bachelor's thesis addresses issues related to uneven material flow in an industrial bagging process for powder-based material, where the actual production rate varies despite unchanged machine settings.

The core message of the study is that variation in material flow, especially during the handling of the powder material, can limit the production rate even though the technical capacity of the packing line is higher. By improving the design of the material connection and working in a more standardized way during startup, the flow can be stabilized and the buffer level maintained more evenly. This can contribute to fewer minor stoppage, more stable production, and better utilization of the line's capacity. For the company, this represents an opportunity to increase production efficiency and achieve more robust operations when handling different materials.

The purpose of the study is to map the current state of the material flow, identify possible causes of flow variations and predictable production. The work has been conducted as a case study in an industrial production environment combining qualitative methods such as process observation and interviews with operating technicians with quantitative elements in the form of time studies and analysis of available production data.

The analysis has been carried out using tools from Lean and Six Sigma, including the DMAIC structure and cause and effect analysis. The results show that variations in material flow can be linked to both technical factors in the transition between container and piping system as well as differences in routines and machine settings during start up and container changes.

The study results in improvement proposals at a conceptual level such as adjustments to design solutions, standardization of machine settings, and improved data collection. These proposals aim to stabilize the material flow, reduce minor stoppages, and improve the utilization rate of the bagging machines capacity. The results are intended to serve as a design

decision making basis for further technical and organizational actions within the production process.

# Innehåll

Förord .....	2
Sammanfattning.....	3
Abstract .....	4
1. Inledning .....	8
1.1 Affärsmässig relevans och kärnbudskap .....	8
1.2 Allmänt om flödesproblem i industrin.....	9
1.3 Bakgrund av fallföretag .....	9
1.4 Beskrivning av produktionslinje P100 .....	10
1.5 Syfte.....	10
1.6 Avgränsningar .....	11
1.7 Problemformulering .....	11
2. Teoretisk referensram .....	12
2.1 Variation i produktionssystem.....	12
2.2 Overall Equipment Effectiveness (OEE).....	12
2.3 Pulverbeteende .....	13
2.3.1 Bridging.....	13
2.3.2 Ratholing.....	14
3. Metod.....	15
3.1 Kvalitativa data .....	15
3.2 Kvantitativa data .....	15
3.3 Analysmetoder .....	16
3.4 Etiska överväganden.....	16
3.5 Studiens begränsningar.....	16
3.6 Lean .....	16
3.7 Six Sigma .....	17
3.8 Användning av OEE data i studien.....	18
4. Nulägesbeskrivning .....	19
4.1 Översikt av processen .....	19
4.2 Platsbesök 1, Pellets – Högflödande material.....	20
4.3 Platsbesök 2, Pulver – Lågflödande material.....	20
4.4 Buffertens beteende.....	21
4.5 Variationer i flöde och cykeltid .....	22
4.6 Containerstrumpans funktion .....	22

4.7	Rutiner, arbetssätt och maskininställningar .....	22
5.	Analys .....	23
5.1	Analys av materialflödesvariationer .....	23
5.2	Analys av processutformning och utrustning .....	23
5.3	Analys av arbetssätt och rutiner .....	24
5.4	Orsaksanalys med kvalitativa verktyg .....	25
5.4.1	Ishikawa diagram .....	25
5.4.2	Fem varför metoden .....	26
5.5	Analys av processprestanda med stöd av OEE-data .....	27
6.	Förbättringsförslag .....	29
6.1	Justering av övergången mellan container och tratt .....	29
6.2	Förbättrad utformning av containerstrumpan .....	29
6.3	Standardisering av maskininställningar .....	30
6.4	Förbättrad registrering av driftstörningar .....	30
6.5	Förslag på vidare studier .....	31
6.6	Affärsmässig effekt av förbättringsförslagen .....	31
7.	Diskussion .....	32
7.1	Diskussion av metodval .....	32
7.2	Begränsningar i studien .....	32
7.3	Förhållande till Lean Six Sigma och DMAIC .....	33
7.4	Diskussion av resultat .....	33
8.	Slutsats .....	34
9.	Referenser .....	35

# 1. Inledning

## 1.1 Affärsmässig relevans och kärnbudskap

Detta examensarbete syftar till att ta fram ett kunskapsunderlag för hur materialflödet i en industriell packningsprocess kan stabiliseras för att uppnå en jämnare och mer förutsägbar produktion. Det som kommer ut av arbetet är en nulägesbeskrivning av materialflödet, en analys av bakomliggande orsaker till flödesvariationer samt förbättringsförslag på konceptuell nivå.

Resultaten är avsedda att användas som beslutsunderlag för vidare tekniska och organisatoriska åtgärder i produktionen. De kan exempelvis ligga till grund för justeringar av designlösningar, standardisering av maskininställningar och förbättrade rutiner för datainsamling. På så sätt kan arbetet bidra till en stabilare produktion med färre små stopp och bättre utnyttjande av befintlig kapacitet.

För att resultaten ska vara användbara behöver de vara praktiskt genomförbara inom ramen för befintlig produktionsmiljö, inte försämra produktkvaliteten och inte medföra orimliga kostnadsökningar. Förbättringarna ska dessutom bidra till en mer stabil produktion utan att kompromissa med säkerhet eller arbetsmiljö.

Förbättringarna kvantifieras genom jämförelse av produktionstakt, buffertbeteende och observerade småstopp före och efter föreslagna åtgärder, samt genom användning av tillgängliga produktionsdata. Ett centralt kriterium för att bedöma när arbetet är framgångsrikt är om variationerna i materialflöde kan reduceras och om produktionen kan hållas närmare den önskade kapaciteten.

Arbetet baseras på både befintliga produktionsdata och nyinsamlad information från observationer, intervjuer och tidsstudier. I de fall befintliga mätetal inte ger tillräcklig upplösning diskuteras behovet av kompletterande mätmetoder. Historiska data används som referensram men bedöms med försiktighet med hänsyn till pågående systemförändringar.

Studien genomförs inom givna begränsningar avseende säkerhetsrutiner, tillgänglighet till produktionslinjen och befintlig maskinkonfiguration. Samtidigt eftersträvas att förbättringsförslagen inte ska påverka produktkvalitet negativt eller leda till ökade

produktionskostnader. Resultaten förankras därmed i den faktiska produktionsmiljön och i de begränsningar som det underliggande systemet sätter.

## 1.2 Allmänt om flödesproblem i industrin

Flödesproblem vid hantering av pulver och granulat är vanliga inom många industribranscher, eftersom dessa material inte beter sig som homogena vätskor utan uppvisar både fasta och flytande egenskaper. Variationer i kornstorlek, friktion, fukthalt och densitet kan leda till fenomen som valvbindning och kanalbildning vilket orsakar ojämn eller avbrutet materialflöde (Carson & Wilms, 2000)

Utrustningens utformning spelar också roll. Trattens geometri, rörlutning, öppningsdiameter och lufttillförsel påverkar hur materialet rör sig genom systemet och små konstruktionsskillnader kan skapa betydande variationer i flödesbeteendet (Jenike, 1964). Processrelaterade faktorer som maskininställningar, variationer och batchvariationer kan också förstärka flödesproblemen och leda till produktionsstopp eller reducerad kapacitet (Nedderman, 1992)

I praktiken kräver utredning av sådana flödesproblem en kombination av observationer, mätdata och förståelse för materialets egenskaper. En systematisk analys är ofta nödvändig för att identifiera orsakerna och skapa ett stabilare och mer förutsägbart materialflöde i industriprocesser.

## 1.3 Bakgrund av fallföretag

Borealis är en global aktör inom kemisk industri och en av Europas största producenter av polyolefin såsom polyeten (PE) och polypropen (PP). Företaget har sitt huvudkontor i Wien, Österrike, och sysselsätter över 6 000 medarbetare i mer än 120 länder. Borealis är välkänt för sin höga innovationsnivå och sitt arbete med hållbara lösningar, bland annat inom cirkulär ekonomi och återvinning av plast. Koncernen driver forsknings- och utvecklingscenter i Österrike, Finland och Sverige, där fokus ligger på att utveckla avancerade material och lösningar för framtidens energisystem (Borealis, 2025a).

I Sverige har Borealis en omfattande verksamhet i Stenungssund, som är företagets enda produktionsanläggning för polyeten i landet. Här sysselsätts omkring 950 personer, vilket gör

Borealis till en av de största arbetsgivarna i regionen. Produktionen i Stenungssund är globalt betydelsefull, framför allt genom tillverkning av plastmaterial för isolering av kraftkablar. Dessa material används i högspänningslösningar, exempelvis för att möjliggöra överföring av elektricitet från förnybara energikällor som havsbaserade vindkraftsparker (Borealis, 2025b). Borealis har i Stenungssund också ett eget innovationscenter där omkring 100 specialister arbetar med utveckling och testning av nya polymerteknologier. Anläggningen är utrustad med avancerade laboratorier och testutrustning, bland annat för högspänningsprovning, vilket stärker företagets position som en global ledare inom området (Borealis, 2025c).

Genom åren har Borealis kontinuerligt investerat i sin svenska anläggning. Bland de större satsningarna kan nämnas byggandet av en LDPE-anläggning med en kapacitet på 350 000 ton per år, invigd 2010 till en kostnad av cirka 400 miljoner euro (Borealis Brings Energy, 2025). Vidare har betydande investeringar gjorts i elektriska testfaciliteter vid innovationscentret samt i modernisering och säkerhetsuppggraderingar av krackerugnarna (Borealis, 2025d). Dessa satsningar visar på företagets långsiktiga engagemang för att stärka både produktionskapacitet och innovationsförmåga.

#### 1.4 Beskrivning av produktionslinje P100

Produktionslinje P100 är en industriell packningslinje som används för säckpackning av polymermaterial. Linjen är uppbyggd kring en packmaskin som matas med material från containrar via ett rörsystem och en buffert. Bufferten fungerar som en mellanlagringsenhet för att säkerställa ett jämnt materialflöde till packmaskinen.

Materialet transporteras från containern genom en tratt och vidare via rör till bufferten, varifrån packmaskinen fyller säckar med förutbestämd vikt. Produktionstakten påverkas av både maskininställningar och materialets flödesegenskaper.

#### 1.5 Syfte

Syftet med examensarbetet är att kartlägga, analysera och förbättra materialflödet i pulvercontainrar vid Borealis P100, med målet att minska variationer i packningshastighet och skapa en mer stabil och effektiv produktionsprocess. Arbetet ska undersöka hur flödet ser ut i dagsläget och identifiera orsakerna till variation. Sedan åtgärdas orsakerna genom förbättringsförslag.

## 1.6 Avgränsningar

Arbetet kommer endast att titta på materialet B. Det kommer behandla flödet av material från container till ihop packad säck. Arbetet kommer inte behandla flödet av material i resten av linjen såsom transporter på pallastare. Fokus ligger på att öka den genomsnittliga packhastigheten genom att minska downtime och flaskhalsar. Den tidsmässiga avgränsningen är inom höstterminen 2025, och därmed kan ingen långsiktig uppföljning av arbetet ske.

Arbetet baseras på observationer och intervjuer som genomförs under projektets gång. Historiska data såsom OEE data och SAP kommer även att användas, men endast som stöd eftersom datakvaliteten kan vara bristfällig.

Förbättringsförslag kommer att tas fram och eventuellt testas i liten skala, men en full implementering i den ordinarie produktionen ligger utanför examensarbetets omfattning.

Ekonomiska beräkningar och djupgående säkerhetsanalyser ingår inte i projektet, utan hanteras av Borealis enligt interna rutiner.

## 1.7 Problemformulering

Målet med examensarbetet är att kartlägga och analysera materialflödet i pulvercontainrar vid Borealis P100 samt att identifiera förbättringsåtgärder som kan minska variationen i packningshastighet och bidra till en mer stabil och effektiv produktionsprocess, så att företaget når den önskade produktionsfasen. Frågor som kommer ställas är följande:

- Hur ser materialflödet ut vid containrar på P100 i dagsläget?
- Vilka delar av processen upplever högst variation?
- Vad är de bakomliggande orsakerna till variationen?
- Vilka förbättringsåtgärder kan ske för att stabilisera flödet?
- Hur kommer detta påverka helheten av produktionslinjen?

## 2. Teoretisk referensram

Detta kapitel presenterar den teoretiska bakgrunden till studien. Fokus ligger på variation i produktionssystem, pulverbeteende samt materialflöde vid hantering av pulver. Syftet är att skapa en teoretisk grund för att förstå och analysera det identifierade problemet.

### 2.1 Variation i produktionssystem

Variation är en central faktor i alla produktionssystem och påverkar både kapacitet, kvalitet och leveransprecision. En process kan betraktas som stabil om variationen är förutsägbar och inom kontrollerade gränser medan okontrollerade variation leder till störningar och ineffektivitet.

Enligt Womack and Jones (2003) är ett jämnt och kontinuerligt flöde en förutsättning för effektiv produktion. När variation uppstår i materialförsel eller arbetsmoment påverkas genomströmningen negativt, vilket kan leda till småstopp, väntetider och reducerad produktionstakt.

I praktiken innebär ökad variation att säkerhetsmarginaler byggs in i systemet, exempelvis genom buffertlager eller reducerad maskinhastighet vilket minskar effektivitet. Inom produktionssystem är därför minskning av variation en central del för att uppnå stabil drift.

Little's lag hävdar att  $L = \lambda \times W$ . Där L är antalet kunder i en stationär process.  $\lambda$  är den genomsnittliga ankomsttakten av kunder och W är den genomsnittliga tiden de tillbringar i systemet. Här spelar variation en stor roll för om det är så att en stor variation sker kan det chocka systemet. En chockning är en stor variation i systemet som kan leda till instabilitet. Då kan processen lämna sitt normala läge och den resulterande produkten kan bli dålig. I verkligheten kan det uppstå som defekta säckar med dålig vikt, men detta beskrivs vidare i kapitel 4.

Flaw of averages är en idé inom statistik som säger att variation gör att verkligheten inte speglar de medelvärden man får från exempelvis Littles lag. Anledningen bakom detta är att när man räknar på medelvärden tar man inte hänsyn till extremvärden som kan chocka systemet. Dessa extremvärden som tar lång tid att ta sig genom processen bildar köer före och därmed sänker det genomsnittliga flödet av material.

## 2.2 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

OEE är ett etablerat nyckeltal inom industriell produktion som används för att mäta hur effektivt en maskin eller produktionslinje utnyttjas. OEE kombinerar tre faktorer: tillgänglighet, prestanda och kvalitet.

Tillgänglighet beskriver hur stor del av planerad produktionstid som maskinen faktiskt är i drift.

Prestanda beskriver hur nära den faktiska produktionstakten ligger den teoretiska maxkapaciteten.

Kvalitet beskriver andelen godkända produkter i förhållande till total produktion.

OEE beräknas som: *Tillgänglighet* × *Prestanda* × *Kvalitet*

Genom att bryta ner produktionsförluster i dessa tre kategorier möjliggör OEE identifiering av olika typer av ineffektivitet, exempelvis stillestånd, reducerad hastighet eller kvalitetsbrister. Särskild reducerad hastighet och småstopp påverkar prestandakomponenten.

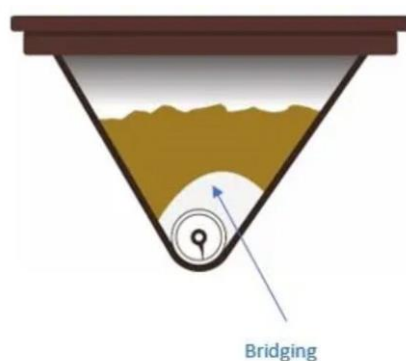
## 2.3 Pulverbeteende

Enligt Tetra Pak Powder Process & Technology (2025) kan material i pulverform falla in i två kategorier; fritt flödande och sammanhängande. Fritt flödande material har hög flödesförmåga och har generellt en större diameter än 100 mikrometer, och partiklar med denna storlek brukar inte packas av sin egen vikt. Sammanhängande material brukar vara av storleken 50 mikrometer eller mindre. Sättet ett material bestäms om det är fritt flödande eller sammanhängande är att det utförs ett test där materialet flödar rakt ner genom en tratt till en platt yta, och om materialet har en vinkel mindre än 30 grader är klassas det som fritt flödande men om vinkeln är över 30 så klassas det som sammanhängande eller “cohesive”.

De fenomen som beskrivas i detta avsnitt, såsom bridging och ratholing, utgör en teoretisk referensram för analysen av materialflödet i den studerade processen. Dessa begrepp används senare i rapporten för att tolka observerade variationer i flöde och buffertbeteende.

### 2.3.1 Bridging

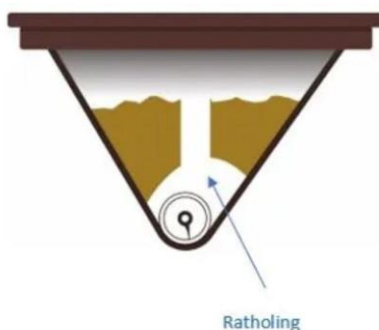
Ett fenomen kan vara “bridging”, där pulvret formar en bro som korsar utgången som minskar och eventuellt stoppar materialflödet. Detta är vanligt i fina pulver. En faktor som påverkar bridging kan vara fukt men enligt företaget kontrolleras fuktnivån så att den är konstant jämn. Om fuktnivån skulle vara varierade skulle detta synas i slutprodukten då de skulle ha returerna. Bridging kan ske i polymerer och plaster som materialen A och B. Nedan i figur 1 syns ett exempel över hur bridging kan se ut.



Figur 1: Bridging i en tratt där materialet inte kan passera (Hapman, 2023).

### 2.3.2 Ratholing

Ett annat problem kan vara “ratholing”, där pulvret fastnar på sidorna av tratten och bildar en tunnel som materialet föredrar att åka ner. Detta leder till ojämnt flöde och sker oftast på grund av pulverstorlek, och sammanhängande krafter såsom friktion. Dock kan det också påverkas av containern och utrustningen som matar ner materialet. (Hapman, 2025.) Nedan i figur 2 syns ett exempel över hur ratholing kan se ut.



Figur 2: Ratholing i en tratt där material vid sidorna har stagnerat (Hapman 2023).



### 3. Metod

Detta examensarbete genomfördes som en fallstudie med syfte att undersöka och analysera variationer i materialflöde i en industriell produktionsprocess. Arbetet baseras på en kombination av kvalitativa och kvantitativa metoder för att skapa en helhetsförståelse av processen och de faktorer som påverkar materialflödet. Som övergripande ramverk användes Lean six sigma och DMAIC-metoden vilket ger en strukturerat angreppssätt för att definiera, mäta, analysera och föreslå förbättringar i en process. Datainsamlingen genomfördes genom intervjuer, observationer och enklare mätningar. Kombinationen av dessa metoder möjliggör både djupare förståelse av processens beteende och en grundläggande kvantifiering av flödesvariationer.

#### 3.1 Kvalitativa data

Intervjuer genomfördes med drifttekniker och personal som arbetar nära produktionsprocessen. Intervjuerna var huvudsakligen semistrukturerade och genomfördes i samband med platsbesök. Syftet med de var att få en bättre förståelse för hur processen upplevs i praktiken, hur materialflödet varierar över tid samt vilka arbetssätt och justeringar som normalt används för att få önskad produktionstakt. Intervjuerna användes som ett kvalitativt underlag och låg till grund för identifiering av möjliga orsakområden snarare än för att dra kvantitativa slutsatser.

Observationer utgjorde en central del av datainsamlingen i studien. Två platsbesök genomfördes där produktionsprocessen observerades under pågående drift med olika material. Fokus låg på hur materialet rörde sig genom containrar, trattar och rör, hur bufferten fylldes och tömdes samt hur packmaskinens beteende påverkades utan att aktivt påverka processen och maskinbeteende. Denna metod möjliggjorde en direkt förståelse av processens dynamik under verkliga driftförhållanden.

#### 3.2 Kvantitativa data

För att komplettera de kvalitativa metoderna genomfördes enklare kvantitativa mätningar. Dessa bestod främst av tidsmätningar relaterande till hantering av containrar, till exempel tiden för att hissa upp en container, koppla tratt och öppna säkerhetsluckor. Även produktionstakt i form av säckar per timme noterades vid olika tillfällen. Mätningar användes

för att skapa en processkarta av kapacitet och variation snarare än för detaljerad statistik analys.

### 3.3 Analysmetoder

Insamlade data analyserades med hjälp av både kvalitativa och kvantitativa analysverktyg. Processkartläggning användes för att visualisera materialflödet genom produktionen. Vidare användes Ishikawa diagram och 5 why analys för att strukturera och analysera möjliga orsaker till variation i flödet. Jämförelse mellan två materialtyper genomfördes för att identifiera skillnader i flödesbeteende och påverkan på produktionstakten. Analysen genomfördes inom ramen för DMAIC metodiken, där fokus i detta arbete främst ligger på faserna “measure” och “analyze”.

### 3.4 Etiska överväganden

Arbetet har genomförts med hänsyn till etiska aspekter. Ingen individ eller enskild yrkesroll utvärderas i studien, och fokus ligger på processer och tekniska förhållanden. All personal som deltagits i intervjuerna eller observationer ha anonymiserats och insamlad information har hanterats konfidentiellt. Studien syftar till att bidra med förbättringsförslag på processnivå och inte till att bedöma individuella prestationer.

### 3.5 Studiens begränsningar

Studien baseras på ett begränsat antal platsbesök och observationer under specifika driftförhållanden. Tillgången till historiska produktionsdata var begränsad vilket innebär att analysen i huvudsak grundades på observationer, intervjuer och enklare mätningar. Resultaten ska därför ses som indikativa och kan utgöra underlag för vidare och mer omfattande studier.

### 3.6 Lean

Lean är en metodik och filosofi som fokuserar på att skapa maximalt kundvärde genom att minimera slöseri och optimera flöden i en process (Womack and Jones, 2003). Metoden härstammar från Toyota produktion system och bygger på att alla aktiviteter i en produktionskedja ska bidra till värdeskapande. De aktiviteter som inte bidrar till värde betraktas som slöseri och bör reduceras eller elimineras.

En central del inom Lean är att definiera vad som skapar värde ur kundens perspektiv och sedan analysera hela värdeflödet för att synliggöra ineffektiva moment. Genom värdeflödesanalys (VSM) kan exempelvis flaskhalsar, onödiga väntetider eller variationer i materialflödet identifieras. Lean betonar också vikten av att skapa ett jämnt och kontinuerligt flöde genom processen, där material och arbete rör sig jämnt och kontinuerligt flöde genom processen, där material och arbete rör sig utan avbrott eller störningar. Ett stabilt flöde ger förutsättningar för hög produktivitet och minskad variation.

En annan grundläggande princip i lean är att produktionen ska styras av faktisk efterfrågan genom så kallade pull-system, vilket motverkar överproduktion och onödig lagring. Lean bygger dessutom på en kultur av ständig förbättring, där även små problem ses som möjligheter att utveckla processen ytterligare.

### 3.7 Six Sigma

För att strukturera förbättringsarbetet används metodiken **Lean six sigma**, som kombinerar Lean principer med six sigma för att både eliminera slöseri och minska variationer i processer (George et al, 2005). Metodiken bygger på en datadriven problemlösningstrategi som syftar till att förbättra processkvalitet och stabilitet genom systematiskt arbete.

Six sigma tillämpar den välkända förbättrings cyklern **DMAIC** – Define, Measure, Analyze, Improve, Control – där varje fas har ett tydligt syfte och uppföljning (Pyzdek & Keller, 2014).

- **Define:** definiera problem, mål och omfattning.
- **Measure:** samla in och verifiera data som beskriver nuläget.
- **Analyze:** identifiera grundorsaker till variationer.
- **Improve:** utveckla och implementera förbättringar.
- **Control:** säkerställa att förbättringarna bibehålls över tid.

Lean delen av metoden fokuserar på att skapa värde genom att minska slöseri och optimera flöden. Centrala principer inom lean är att definiera värde ur kundens perspektiv, kartlägga

värdeflödet, skapa jämnt flöde, införa pull-system och arbeta för ständiga förbättringar (Womack & Jones, 2003)

### 3.8 Användning av OEE data i studien

I denna studie har befintlig OEE data från produktionslinjen analyserats som en del av den kvantitativa datainsamlingen. Syftet var att undersöka hur variationer i materialflöde påverkar produktionens prestanda över tid.

Särskilt fokus har lagts på prestandakomponenten i OEE, då denna är direkt kopplad till produktionstakt och reducerad hastighet. Genom att analysera historiska OEE värden har mönster i produktionsvariation kunnat identifieras och relateras till observationer från platsbesök.

### 3.9 Användning av AI verktyg

I studien har AI verktyg som ChatGPT använts för att leta upp vetenskapliga artiklar om materialflöde. AI har även använts i detta examensarbete som ett stödverktyg i vissa delar av arbetsprocessen. Verktöget har främst nyttjas för språklig bearbetning, strukturering av text, formulering av utkast samt stöd vid planering av rapportens disposition och presentation.

AI har inte använts för att samla in empiriska data, genomföra analyser eller dra slutsatser. Samtliga bedömningar, resultat, tolkningar och slutliga formuleringar har granskats, värderats och fastställs av författarna.

Användning av AI har därmed fungerat som ett kompletterande hjälpmedel för att effektivisera skrivprocessen och förbättra rapportens tydlighet.

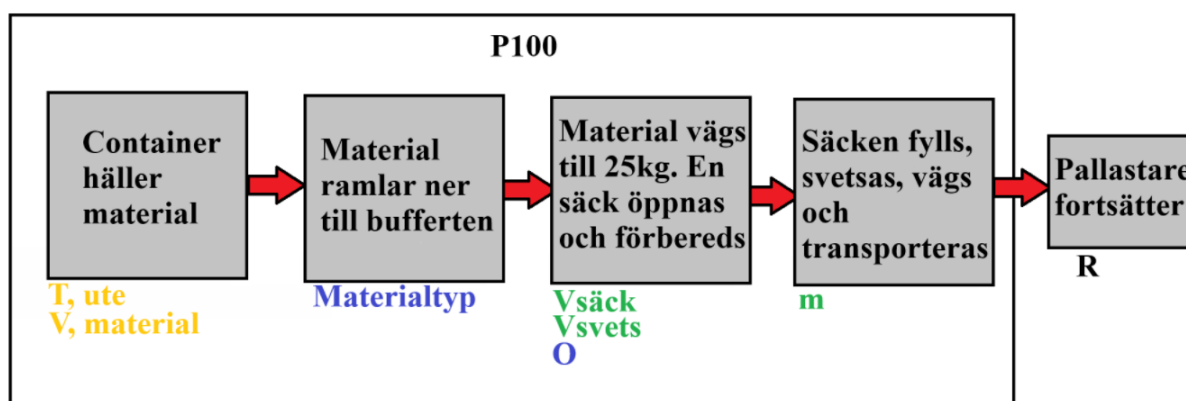
## 4. Nulägesbeskrivning

Detta kapitel syftar till att ge en beskrivning av nuläget i den studerade produktionsprocessen baserat på genomförda observationer, intervjuer och mätningar. Beskrivningen fokuserar på hur materialflödet fungerar i praktiken vid olika driftförhållanden samt hur processen beter sig vid hanteringen av olika materialtyper. Inga tolkningar eller slutsatser görs i detta kapitel. Dessa behandlas i senare avsnitt.

### 4.1 Översikt av processen

Den studerade processen består av hantering och tömning av industriella materialcontainrar som försörjer en packmaskin via en tratt och rörsystem. Containern hissas upp och placeras i position ovanför tratten, varefter materialet leds vidare genom rören till en buffert kopplad till packmaskinen. Buffertens funktion är att säkerställa ett kontinuerligt materialflöde till packmaskinen för att möjliggöra en stabil produktionstakt. Packmaskinen är inställd för att arbeta med en konstant hastighet men den faktiska produktionstakten påverkas av hur väl materialflödet kan upprätthållas.

Nedan i figur 3 är en processkarta som ger en grundlig beskrivning över banan, och en tabell som förklarar resultatet som en funktion av variablerna. Variablerna är färgade så att gul visar brusvariabler, alltså de som inte går att styra men ändå påverkar processen. Blå är standardiserade procedurer och grön representerar styrbara variabler.



Figur 3: High level process map

Variabeltyp	Namn	Beskrivning
X	Materialtyp	Typ A eller B
	T <sub>ute</sub>	Temperaturen utomhus
	V <sub>säck</sub>	Hastigheten på säckens fyllning av material
	V <sub>svets</sub>	Hastigheten på svetsningen av säcken
	V <sub>material</sub>	Hastigheten av materialet när det hålls från containern
	Ö	Övergång mellan tratt och container
	O	Operatörens kunskap angående packmaskinen
	m	Vikten av en säck, antingen godkänd eller inte
Y	R	Resultat i form av antal tömda containrar per skift

Figur 4: Variablerna från processkartan.

#### 4.2 Platsbesök 1, Pellets – Högflödande material

Det första platsbesöket genomfördes när produktionslinje P100 körde pellets, som har helt andra flödesegenskaper än det pulvermaterial som examensarbetet fokuserar på. Under detta besök var syftet att skapa en referensbild av hur processen fungerar när materialet flödar optimalt.

Pellets visade sig ha ett mycket stabilt och lättflytande beteende. Driftteknikerna uppgav att materialet möjliggör en produktionstakt på ca 1200 säckar per timme, vilket är avsevärt högre än när pulvret körs. Under observationerna hölls bufferten konstant fylld, vilket indikerade att materialflödet inte utgjorde någon begränsning för packmaskinen.

Vi studerade även hur containrarna byts och kopplas till tratten, samt hur materialet transporteras genom rörsystemet. Dessutom observerade vi hur operatörerna trimmar maskinen genom att stegvis justera inställningar tills de uppnår maximal hastighet utan att orsaka stopp. Denna genomgång gav oss en viktig referenspunkt för att jämföra mot beteendet hos det material som skapar problem.

#### 4.3 Platsbesök 2, Pulver – Lågflödande material

Det andra platsbesöket genomfördes när pulvermaterialet som omfattas av examensarbetet kördes på linjen. Under detta besök fokuserade vi på att identifiera orsaker till variationer i flödet samt att samla konkreta observationer inför measure och analyze faserna.

Vi började med att mäta hur lång tid vissa kritiska moment kräver, bland annat att hissa upp containern, koppla tratten och öppna säkerhetsluckan. Därefter observerade vi hur bufferten fylldes och tömdes under drift samt hur stabilt materialet rann genom systemet.

Under förmiddagen flödade materialet relativt bra, och produktionen nådde ca 1050 säckar i timme vilket motsvarar målsättningen. Senare när en container byttes, började flödet försämrats. Vi observerade att bufferten sjönk och att mindre material rann ner i rören.

Efter att ha identifierat att strumpan som sitter monterad vid containersöppningen såg hopkrympt ut föreslog vi att testa produktionen utan den. När strumpan togs bort förbättrades materialflödet direkt, och maskinen återgick till att uppnå önskad produktionstakt. Denna observation indikerar att strumpans utformning eller kondition kan vara en av de bakomliggande orsakerna till flödesproblemet.

Under intervjuer med driftteknikerna framkom även att det saknas enhetliga rutiner för maskininställningar. Operatörer justerar packmaskinen efter erfarenhet och känsla snarare än efter standardiserad metod, vilket innebär att processen kan variera mellan skift och personer. Denna variation kan i sig skapa oregelbundet flöde eller osäkerhet i materialtillförseln.

En annan viktig iakttagelse var att små stopp inte registreras i systemet. Endast längre avbrott dokumenteras, medan kortare driftstopp på 3 till 6 minuter som observerades flera gånger inte loggas. Detta innebär att driftstoppdata inte fullt ut speglar den faktiska situationen vilket försvårar analysen av historiska mönster och maskinens verkliga taktvariationer.

#### 4.4 Buffertens beteende

Buffertens nivå visade sig vara nära kopplad till materialets flödesbeteende. Vid jämnt materialflöde fylldes bufferten kontinuerligt vilket möjliggjorde stabilt drift av packmaskinen. Vid variationer i flödet observerades att bufferten tömdes snabbare än den fylldes vilket resulterade i att packmaskinen periodvis arbetade med reducerad faktisk takt trots oförändrade maskininställningar. Buffertens beteende fungerade därmed som en tydlig indikator på variationer i materialflödet. Det observerade flödesbeteende kan jämföras med de typer av flödesvariationer som beskrivs i teorin kring pulvermaterial (se avsnitt 2.3)

#### 4.5 Variationer i flöde och cykeltid

Under observationerna noterades variationer i både materialflöde och cykeltid, särskild vid hantering av pulvermaterialet. Materialet rörde sig inte kontinuerligt utan i pulser där perioder med högre flöde följdes av perioder med lägre flöde. Dessa variationer påverkade indirekt packmaskinens faktiska cykeltid trots att maskinen var inställd för konstant drift. Kortare produktionsstopp på några minuter observerades vid vissa tillfällen men dessa noterades inte alltid i det digitala uppföljningssystemet.

#### 4.6 Containerstrumpans funktion

Vid observationer i samband med containerbyte noterades att en flexibel strumpa används vid containerutloppet för att leda materialet vidare till tratten. Under vissa tillfällen observerades att materialflödet förbättrades när denna strumpa togs bort temporärt vilket resulterade i att buffertnivån återhämtade sig och produktionstakten ökade igen. Dessa observationer dokumenterades som en del av nulägesbeskrivning utan att dra slutsatser om bakomliggande orsaker.

#### 4.7 Rutiner, arbetssätt och maskininställningar

Under platsbesöken noterades att maskininställningar och justeringar i stor utsträckning utförs baserat på driftteknikernas erfarenhet och bedömning av aktuell situation. Detta möjliggör en flexibel hantering av variationer i processen. Vidare noterades att kortare störningar och stopp som snabbt åtgärdas inte alltid registreras i det befintliga uppföljningssystemet medan längre driftstopp i högre grad dokumenteras.

## 5. Analys

### 5.1 Analys av materialflödesvariationer

Observationerna från platsbesöken visar tydliga skillnader i materialflöde mellan de två studerade materialtyperna. Vid produktion med pellets uppvisade processen ett jämnt och kontinuerligt flöde genom tratt och rörsystem vilket resulterade i en stabil buffertnivå och möjliggjorde hög produktionstakt. Vid hantering av pulvermaterialet observerades däremot ett mer varierande flödesbeteende där materialet rörde sig i pulser snarare än kontinuerligt.

Den pulserande rörelsen hos pulvermaterialet medförde att buffertens nivå varierade över tid. När bufferten inte fylldes i tillräcklig takt påverkades packmaskinens faktiska produktionstakt trots att maskinens inställda hastighet förblev oförändrad. Detta indikerar att materialflödet utgör en begränsande faktor för processens kapacitet snarare än maskinens tekniska prestanda.

Skillnaderna i flödesbeteende kan relateras till materialens fysiska egenskaper. Pellets med sin mer regelbundna form och större partikelstorlek tenderar att rinna mer förutsägbart jämfört med pulver som är känsligt för friktion, packning och luftförhållande där variationer i materialegenskaper ofta leder till instabilt flöde och ojämn massfördelning.

Sammantaget visar analysen att variationer i materialflöde har en direkt påverkan på buffertens funktion och därmed på den faktiska produktionstakten. Detta utgör en central utgångspunkt för vidare analys av processutformning, utrustning och arbetssätt.

Målet med förbättringsarbetet är dock inte att optimera processen för ett enskilt material, utan att göra processen robust mot variationer i det material som ska processas. En robust process bör kunna hantera skillnader i materialegenskaper utan att produktionstakten påverkas i betydande grad. Vid utformning av förbättringsåtgärder är det därför viktigt att beakta risken att åtgärder som förbättrar flödet för pulvermaterialet samtidigt kan påverka flödet för pellets negativt. Förändringar bör därmed analyseras ur ett helhetsperspektiv.

### 5.2 Analys av processutformning och utrustning

Den studerade processens utformning bestående av container, tratt, rörsystem, buffert och packmaskin har direkt påverkan på hur materialflödet utvecklas genom produktionslinjen.

Observationerna visar att avståndet mellan container och packmaskinen är relativt kort samt att rörsystemet är lutat med en ungefärligt vinkel på 45 grader. En sådan utformning är generellt gynnsam för gravitationsbaserat flöde men dess funktion är samtidigt starkt beroende av materialets egenskaper.

De flödesvariationer som observerats i nulägesbeskrivningen kan relateras till kända fenomen inom pulverhantering, såsom bridging och ratholing, vilka beskrivs i avsnitt 2.3. den intermittenta materialtillförseln till bufferten indikerar att materialet periodvis kan bilda stabila strukturer i övergången mellan container, tratt och rörsystem.

Vid hanteringen av pulvermaterialet noterades att materialet inte rörde sig kontinuerligt genom tratten och rörsystemet utan i ett pulserande mönster. Detta indikerar att flödet påverkas av samverkan mellan material och utrustning, snarare än av maskinens inställningar. Enligt flödesteori för pulvermaterial kan sådana variationer uppstå när friktion mot väggar, packning av material eller begränsad lufttillförsel påverkar materialets förmåga att röra sig fritt genom systemet.

Vidare observerades att en flexibel strumpa används vid containerutloppet för att leda materialet till tratten. Under vissa tillfällen noterades att materialflödet förbättrades när denna strumpa avlägsnades vilket resulterade i en snabbare återhämtning av buffertnivå och därmed en stabilare produktionstakt. Detta tyder på att komponenter som är avsedda att underlätta materialhantering samtidigt kan påverka flödesbeteendet beroende på materialtyp för aktuella driftförhållanden.

Processutformningen kan därmed betraktas som funktionell ur ett mekaniskt perspektiv men känslig för variationer i materialflöde. När flödet är stabilt fungerar systemet väl medan mindre förändringar i materialets beteende kan få relativt stor påverkan på buffertens funktion och den faktiska produktionstakten.

### 5.3 Analys av arbetssätt och rutiner

Observationer och intervjuer indikerar att arbetssätt och rutiner i den studerade processen präglas av en hög grad av flexibilitet, maskininställningar och finjusteringar utförs i stor utsträckning baserat på driftteknikernas erfarenheter och bedömning av rådande

driftförhållanden. Detta möjliggör snabba anpassningar vid variationer i materialflöde och bidrar till att produktionen kan förhållas igång även vid förändrade förutsättningar.

Samtidigt innebär ett erfarenhetsbaserat arbetssätt att inställningar kan variera mellan olika driftstillfällen. Detta kan bidra till variationer i hur snabbt processen stabiliseras efter till exempel containerbyten eller materialskiften. I sammanhang där materialets flödesbeteende är känslig för små förändringar kan sådana variationer påverka buffertens fyllnadsgrad och därmed den faktiska produktionstakten.

Vidare noterades att kortare produktionsstopp som snabbt åtgärdas i processen inte alltid registreras i systemet. Fokus ligger främst på längre stopp som har tydlig påverkan på produktionstiden. Detta arbetssätt är vanligt i industriella miljöer men kan samtidigt innebära att vissa återkommande mindre störningar inte synliggörs i den tillgängliga produktionsdata. Avsaknaden av fullständig registrering kan därmed begränsa möjligheten att analysera samband mellan materialflöde, buffertbeteende och produktionstakt enbart utifrån historiska data.

Sammantaget visar analysen att arbetssätt och rutiner bidrar till processens flexibilitet men även kan introducera variationer i hur materialflödesrelaterade utmaningar hanteras över tid. Detta skapar ett behov av strukturerad analys för att identifiera vilka faktorer som har störst påverkan på processens stabilitet.

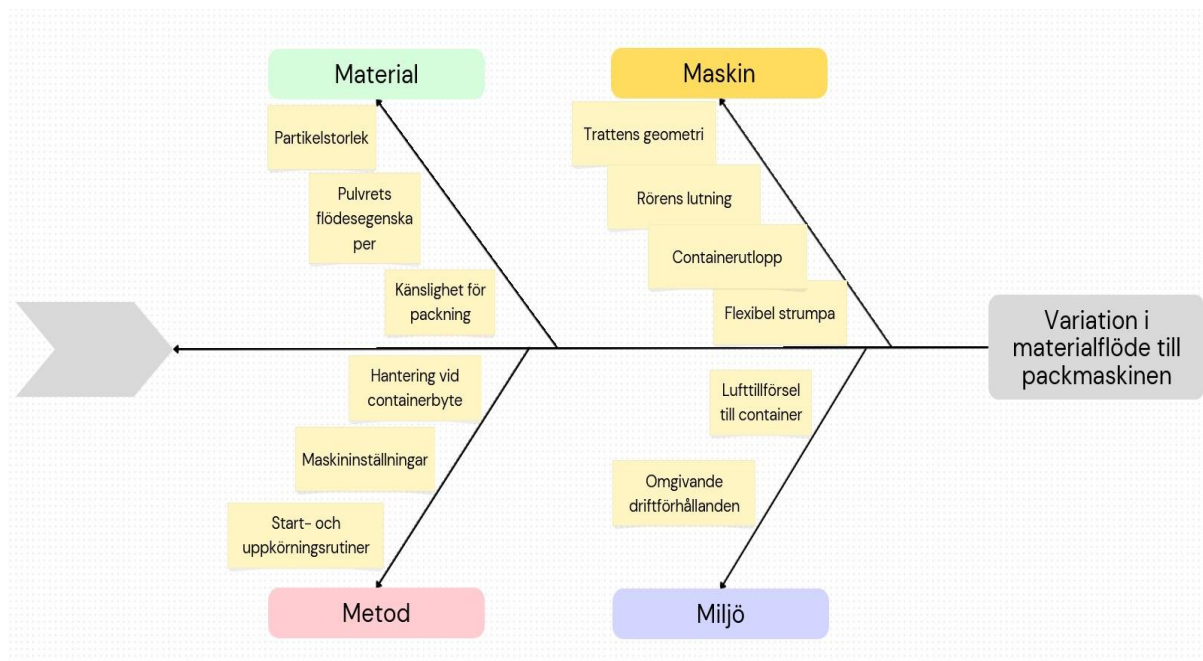
## 5.4 Orsaksanalys med kvalitativa verktyg

För att strukturera de observerade variationerna i materialflöde genomfördes en kvalitativ orsaksanalys med stöd av Ishikawa diagram och 5 varför metodik. Analysen baserades på observationer från platsbesöken, intervjuer med driftpersonal samt genomförda mätningar.

### 5.4.1 Ishikawa diagram

I Ishikawa analysen grupperades möjliga orsaksområden i kategorierna material, maskin, metod och miljö. Under kategorin material identifierades skillnader i partikelstorlek, flödesegenskaper och känslighet för packning som potentiella faktorer. Under maskin inkluderades trattens och rörsystemets utformning, containerutloppets konstruktion samt buffertens funktion. Metod kategorin omfattade arbetssätt, inställningsrutiner och hantering

vid containerbyte, medan miljö inkluderade faktorer som lufttillförsel och omgivande driftförhållanden.



Figur 5: Ishikawa diagram

#### 5.4.2 Fem varför metoden

Fem varför eller 5 why metoden är en iterativ teknik för att analysera rotorsaker och påverkan (Serrat, 2009). Huvudproblemet är återigen att det blir variation i hastighet av materialflöde till packmaskinen när pellets packas.

1. Det första “varför” blir att pulvret blir sammanhängande som leder till oregelbundet flöde.
2. Det andra “varför” är att detta sker eftersom det packas av sin egen vikt.
3. Det tredje “varför” är att materialet har sammanhängande egenskaper och varierande partikelstorlekar som gör det känsligt till att packas och bilda bågar.

Containern rymmer ungefär 17 ton material vid fullt tillstånd vilket gör att den nedersta delen utsätts för mycket tryck när packmaskinerna står stilla. Containerns utlopp är konformat från insidan vilket funkar som en tratt som skickar materialet i rätt väg. Dock så har det funnits problem med dåliga svetsar på insidan som ökar ojämnhet och friktion mellan pulvret och ytorna på insidan. I andra industrier där kohesiva material bearbetas används åtgärder som

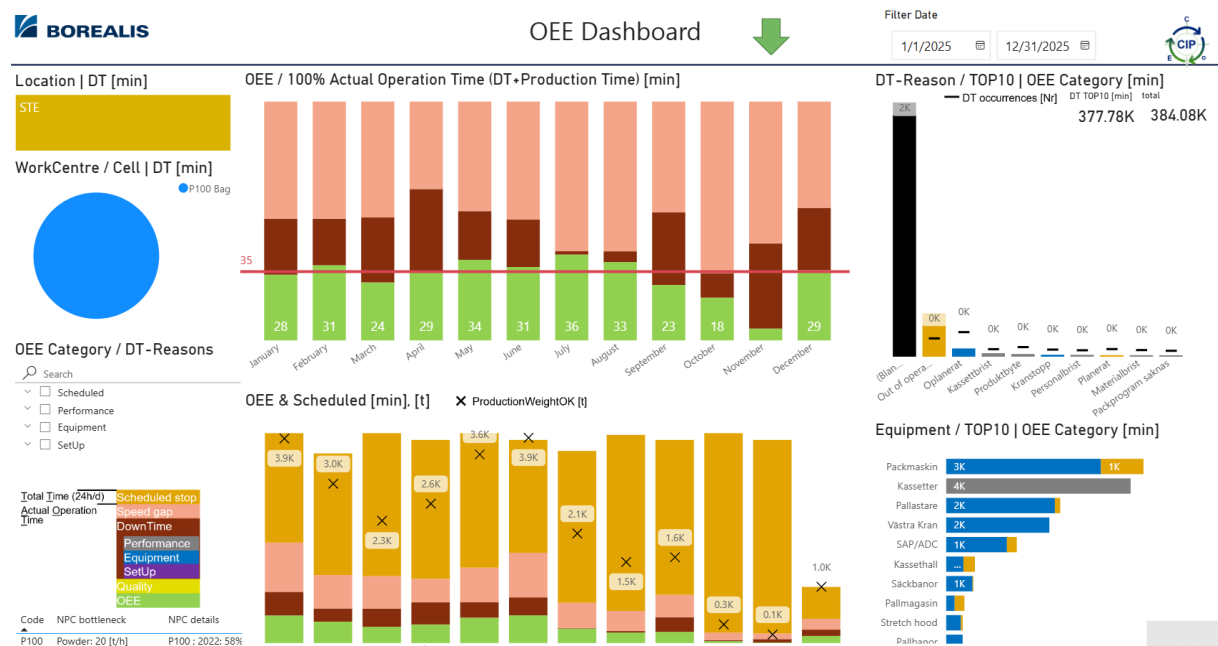
vibration eller omrörning. I P100 går detta inte på grund av kostnads- och platskrav, samt att det skulle kunna öka ljudnivån som skulle inte vara ergonomiskt för arbetarna.

Under det andra besöket till Borealis togs det ett prov av ungefär 1 kilogram av pulver. Senare undersökning upptäckte att pulvret varierar stort i partikelstorlek. Vissa partiklar kan vara ungefär 0.2mm medan andra kan överstiga 1mm. Denna variation i partikelstorlek är vad misstänks leda till “bridging” och eller “ratholing” som diskuterades i avsnitt 2.4.

En studie från de Bono och McDowell (2020) visar att stor variation av partikelstorlek kan uppstå på grund av att material kan krossas under stort tryck, och att en bredare partikelstorlek kan fylla tomrummen upp med mindre partiklar som gör flödet tätare. Det misstänks att detta kan öka chansen för fenomen som “bridging”.

### 5.5 Analys av processprestanda med stöd av OEE-data

För att komplettera de kvalitativa observationerna används tillgängliga OEE data som ett kvantitativt underlag i analysen. OEE dashboards tillhandhållna av företaget visar övergripande variationer i produktionseffektivitet och stillestånd över tid. Syftet med analysen var att identifiera generella mönster som kan relateras till observerade variationer i materialflöde.



Figur 6: OEE-data

OEE data indikerar att produktionseffektiviteten varierar mellan olika perioder vilket tyder på att processen inte uppvisar konstant prestanda över tid. Dessa variationer kan delvis kopplas till skillnader i faktisk produktionstakt och förekomst av stillestånd. Observationer från platsbesöken visade att kortare stopp och tillfälliga hastighetsreduktioner kan uppstå i samband med variationer i materialflödet särskild vid hantering av pulvermaterialet.

Eftersom kortare störningar inte alltid registreras i systemet bör OEE data tolkas med viss försiktighet. Trots detta ger den en övergripande bild som stödjer de kvalitativa fynden från observationer och intervjuer. Kombinationen av OEE och platsbaserade observationer bidrar därmed till en mer heltäckande förståelse av processens prestanda och dess variationer.

## 6. Förbättringsförslag

Detta kapitel presenterar förbättringsförslag baserade på genomförda analysen av materialflödet i packningsprocessen. Förslagen utgår från identifierade variationer i materialflöde, buffertbeteende och processtabilitet och är framtagna i linje med Lean six sigma metodikens förbättringsfas (improve). Fokus ligger på åtgärder som kan bidra till ett mer stabilt och förutsägbart flöde samt skapa förutsättningar för att uppnå önskad produktionstakt.

### 6.1 Justering av övergången mellan container och tratt

Analysen visar att övergången mellan container och tratt utgör ett kritiskt processteg där variationer i materialflöde kan uppstå särskild i samband med containerbyte. Ett förbättringsförslag är att se över utformningen av denna övergång för att minska risken för materialpackning och pulserande flöde.

En möjlig åtgärd är att reducera eller ersätta flexibla komponenter i övergången, alternativt att utvärdera en mer styv och flödesanpassad konstruktion. Detta kan bidra till jämnare flöde och minska risken för tillfälliga flödesbegränsningar.

### 6.2 Förbättrad utformning av containerstrumpan

Analysen visar att den flexibla strumpan som används i övergången mellan container och tratt kan påverka materialflödet, särskild vid hantering av pulvermaterial. Observationer indikerar att strumpans form och flexibilitet kan bidra till att materialet packas eller att flödet blir sämre vilket i sin tur påverkar buffertens fyllnadsgrad och den faktiska produktionstakten.

Ett förbättringsförslag är att utvärdera alternativa utformning av containerstrumpan, exempelvis genom att använda material med högre formstabilitet eller genom att anpassa strumpans längd och diameter. En mer stabil och förutsägbar geometrikan bidra till att minska risken för flödesbegränsningar och skapa ett jämnare materialflöde mot bufferten.

Vidare kan en design där strumpan enkelt kan tas bort eller kopplas bort vid behov utvärderas. En sådan lösning kan ge ökad flexibilitet i processen och möjliggöra anpassning beroende på materialtyp och aktuella driftförhållande.

### 6.3 Standardisering av maskininställningar

Observationer och intervjuer indikerar att gemensamma riktlinjer för maskininställningar kan bidra till en mer förutsägbar uppstart och ett stabilare produktionsförlopp. Genom att tydliggöra grundinställningar för olika materialtyper och driftförhållanden kan variationen i processen minska särskild i samband med uppstart och containerbyte.

Standardisering kan även skapa bättre förutsättningar för att reducera mindre, kortvariga stopp samt bidra till en jämnare produktionstakt. Vidare kan gemensamma arbetssätt underlätta kommunikationen mellan olika skift och skapa ökad tydlighet i det dagliga arbetet.

Det är viktigt att betona att standardiserade inställningar bör ses som ett stöd till operatörerna och inte som en begränsning av deras erfarenhet och kompetens.

### 6.4 Förbättrad registrering av driftstörningar

Analysen visar att kortare stopp och mindre störningar inte alltid registreras i befintliga system, vilket begränsar möjligheten till datadriven analys. Ett förbättringsförslag är att se över rutiner och systemstöd för registrering av driftstörningar, även de med kort varaktighet. I nuläget består rapporteringen av en stor mängd fritext där teknikern kommenterar vad som har skett under vilken tid.

En mer komplett datainsamling kan på sikt:

- Förbättra tillförligheten i OEE analys
- Underlätta identifiering av återkommande mönster
- Stödja framtida förbättringsförslag

Sättet detta skulle kunna se ut är kategorisering av problemen när de rapporteras. En tekniker skulle kunna välja ett antal minuter och problemet som skedde. Vanligaste felen som observerades i datatabellerna var “Dåligt materialflöde” och “Öppna svetsar”. Att dessa väljs i början av rapporteringen sätter problemet i en kategori, och sedan kan teknikern kommentera med fritext om det skulle vara nödvändigt. Målet med den förbättrade registreringen vara att minska mängden fritext, samt göra rapporteringen snabbare och lättare.

En ytterligare effekt skulle vara att data blir tydligare att läsa och analysera. Nedan syns ett exempel på hur detta kan se ut.

Tid	Problem	Orsak (frivillig)	Kommentar (frivillig)
Från: 00:00	Öppen tvärsvets		
Till: 00:00	Dåligt materialflöde		
	Utrustning sönder		
	Övrigt		

Figur 7: Exempel där teknikern väljer alternativ som rapporteras.

## 6.5 Förslag på vidare studier

Då studien baseras på ett antal begränsat platsbesök och observationer föreslås vidare studier för att fördjupa analysen. Exempel på framtida arbete kan vara:

- Experimentella tester av alternativa tratt, strumpa eller rörgeometrier
- Jämförande studier mellan olika pulvermaterial

Sådana studier kan ge ytterligare underlag för långsiktiga förbättringar av processen.

## 6.6 Affärsmässig effekt av förbättringsförslagen

De föreslagna förbättringsåtgärderna syftar till att stabilisera materialflödet och därigenom minska variationer i produktionstakt. En mer stabil materialtillförsel kan leda till färre småstopp, bättre utnyttjande av packmaskinens kapacitet och minskad stilleståndstid.

Även relativt små förbättringar i genomsnittlig produktionstakt kan ge betydande effekter över tid. Om produktionen exempelvis kan stabiliseras närmare den önskade kapaciteten innebär detta ett ökat antal producerade säckar per skift, vilket direkt påverkar produktionsvolym och intäktsmöjligheter.

Utöver den direkta kapacitetsökningen kan förbättringarna även bidra till mer förutsägbara driftförhållanden, minskat operatörsberoende och en jämnare arbetsbelastning för drifttekniker, vilket på sikt kan ge både ekonomiska och organisatoriska fördelar.

## 6.7 Styrplan för uppföljning – Control fas

För att säkerställa att föreslagna förbättringar ger långsiktig effekt krävs en tydlig plan för uppföljning och styrplan av processen. Efter att förbättringsåtgärder har identifierats i Improve-fasen bör nästa steg vara att prioritera åtgärderna, planera implementeringen samt definiera ansvarsfördelning.

En central del i control fasen är att fastställa vilka parametrar som ska övervakas uppströms i processen för att tidigt kunna identifiera avvikelser i materialflödet. Exempel på relevanta indikationer kan vara buffertnivå, produktionshastighet, småstopp samt OEE relaterade nyckeltal.

Vid avvikelse bör tydliga åtgärder finnas definierade, exempelvis kontroll av materialflöde, justering av inställningar eller teknisk inspektion av kritiska komponenter.

Vidare bör ansvar tydliggöras avseende vem som följer upp resultaten, hur ofta uppföljning sker samt hur effekten av förbättringarna utvärderas över tid. Genom en sådan styrplan skapas förbättringar för att säkerställa att förbättringarna består och att processen inte återgår till tidigare problemnivåer.

## 7. Diskussion

Diskussionskapitlet ska tolka resultaten relativt till syftet, metoden och teorin, samt begränsningar av studien och metodval.

### 7.1 Diskussion av metodval

I studien har både kvalitativa och kvantitativa metoder använts vilket har möjliggjort en bredare förståelse av processen. Observationer och intervjuer har varit central för att identifiera mönster i materialflödet och arbetssättet kring packning processen medan tidsstudier och tillgänglig OEE data har fungerat som kvantitativt stöd.

Valet att kombinera dessa metod bedöms som lämpligt då materialflödesproblem ofta är komplexa och påverkas av flera samverkande faktorer. De kvalitativa metoderna har varit särskild värdefulla för att förstå hur processen fungerar i praktiken, medan de kvantitativa inslagen har bidragit till att styrka observerade variationer.

### 7.2 Begränsningar i studien

En tydlig begränsning i studien är det begränsade antalet platsbesök och observationstillfällen. Detta innebär att resultaten i huvudsak baseras på observationer vid ett fåtal tillfällen snarare än kontinuerliga mätningar över längre tidsperioder. Begränsningen har delvis sin grund i gällande säkerhetsrutiner där närvaro i produktionsmiljön kräver att en handledare eller ansvarig personal finns tillgänglig under besöket.

Vidare har tillgängligheten till observationsdata påverkats av att den aktuella produktionslinjen inte är i kontinuerlig drift, vilket innebär att möjligheten att observera processen under olika driftförhållanden varit begränsad. Detta har reducerad möjligheten att samla in data vid flera upprepade tillfällen.

Därutöver har tillgången till historiska produktionsdata varit begränsad, bland annat på grund av pågående systemuppdatering, vilket har påverkat möjligheten att genomföra mer omfattande kvantitativa analyser. Även variationer i materialegenskaper över tid och mellan olika batcher har inte kunnat studeras i detalj.

### 7.3 Förhållande till Lean Six Sigma och DMAIC

Lean six sigma har fungerat som ett strukturerande ramverk för arbetet. Säschild faserna Measure och Analyze har varit centrala i detta examensarbete. Verktyg som Ishikawa (fiskben-diagram) och 5 why analys har bidragit till att systematiskt identifiera möjliga orsaker till variation i materialflödet.

På grund av studiens omfattning och begränsningar har Improve och Control faserna behandlats på en övergripande nivå. Förbättringsförslagen bör därför ses som underlag för vidare arbete snarare än färdiga lösningar.

### 7.4 Diskussion av resultat

Resultaten visar att materialflödet påverkas av flera samverkande faktorer där materialets egenskaper, processens geometri och hantering vid containerbyte spelar en central roll. Skillnaderna mellan material med goda flödesegenskaper och material med mer utmanande flöde har varit tydliga, särskild i hur buffertnivån påverkas och hur stabil produktionstakten kan upprätthållas.

Observationerna indikerar även att mindre variationer och kortare stopp kan ha en märkbar påverkan på processens stabilitet, trots att dessa inte alltid registreras i tillgängliga datasystem. Detta belyser vikten av att komplettera kvantitativa data med kvalitativa observationer för att få en mer nyanserad bild av nuläget.

## 8. Slutsats

Examensarbetets syfte var att kartlägga och analysera P100 i nuläget och att identifiera faktorer som med målet att minska variation. Resultatet blev att materialflödet är den primära begränsande faktorn som för produktionstakten.

Variationer i flöde uppstår huvudsakligen av pulvrets kohesiva egenskaper samt utformningen av övergången mellan container och tratt. Studien visar även att variationer kan ske på grund av arbetssätt och rutiner. I dagsläget är mycket av kunskapen för att kunna driva packmaskinerna i hög hasighet "tacit", vilket innebär att det är svårt att förmedla på ett sätt för att utbilda tekniker genom verktyg som standardiserat arbete och kunskap.

En viktig del av studien är att den försöker åtgärda svårigheterna som tekniker upplever. En av dessa är tidspress och rapportering. Genom de förslagna förändringarna i kapitel 6.4 skulle det underlätta tiden det tar att fylla i manuella stopporsaker. Minskad tid på rapportering kan ge en ökning i tid för att åtgärda problem ute på linjen. Avsaknaden av fullständig registrering av kortare stopp försämrar noggrannhet på data.

## 9. Referenser

Carson, J.W. & Wilms, H., 2000.

Bulk solids handling: Equipment selection and operation. Berlin: Springer.

de Bono, J.P. & McDowell, G.R., 2020. On the packing and crushing of granular materials.

*International Journal of Solids and Structures*, 191–192, 256–273.

<https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2018.07.011>

George, M. L., Rowlands, D., Price, M., & Maxey, J. (2005).

*The Lean Six Sigma pocket toolbox: A quick reference guide to 100 tools for improving quality and speed.*

Hapman 2023.

Understanding ratholing and bridging phenomena in bulk powder feeding. Dec. 1, 2023.

Tillgänglig på: <https://www.processingmagazine.com/material-handling-dry-wet/weighers-feeders/article/53079307/hapman-understanding-ratholing-and-bridging-phenomena-in-bulk-powder-feeding>

Jenike, A.W., 1964.

Storage and flow of solids. *Bulletin No. 123*. Utah Engineering Experiment Station.

Nedderman, R.M., 1992.

Statics and kinematics of granular materials. Cambridge: Cambridge University Press.

Pyzdek, T., & Keller, P. A. (2014).

*The Six Sigma handbook: A complete guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at all levels* (4th ed.).

Serrat, O., 2009.

The Five Whys Technique. *Asian Development Bank*. Februari 2009.

Tetra Pak Powder Process & Technology, 2025. *How microscopic characteristics affect macroscopic powder behaviour*. BulkInside, 18 Apr 2025. Tillgänglig på

<https://bulksinside.com/bulk-solids-handling/mixers-blenders/how-microscopic-characteristics-affect-macroscopic-powder-behavior/>

**INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH  
MATERIALVETENSKAP  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA**

Göteborg, Sverige 2025  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**