



CHALMERS



Kartläggning och kvantifiering av materialsvinn inom polyetenproduktion

En studie av utloppspunkter och påverkan på yield

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Ekonomi & Produktionsteknik

JOAR HERTIN
OSKAR JOHANNESEN

**INSTITUTIONEN FÖR TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION
AVDELNINGEN FÖR SUPPLY AND OPERATIONS MANAGEMENT**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2026
www.chalmers.se

Kartläggning och kvantifiering av materialsvinn inom polyetenproduktion

En studie av utloppspunkter och påverkan på yield

JOAR HERTIN
OSKAR JOHANNESSEN

Göteborg, Sverige 2026

Kartläggning och kvantifiering av materialsvinn inom polyetenproduktion
En studie av utloppspunkter och påverkan på yield

JOAR HERTIN
OSKAR JOHANNESSEN

© JOAR HERTIN, 2026

© OSKAR JOHANNESSEN, 2026

Teknikens ekonomi och organisation
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Sverige
Telefon + 46 (0)31-772 1000

Omslag: en AI-genererad bild som föreställer en generaliserad utloppspunkt av
polyetenpellets (Skapad med ChatGPT, OpenAI, 2026)

Göteborg, Sverige 2026

FÖRORD

Vi vill först rikta ett stort tack till våra handledare på Borealis, Ella Hansen, Markus Karlsson och Kristoffer Snällman, för deras stöd, engagemang och vägledning under examensarbetets gång. Deras kunskap om produktionsprocessen och deras tillgänglighet har varit avgörande för att vi skulle kunna genomföra studien och skapa en djupare förståelse för materialflödena vid LDCo.

Vi vill även tacka alla personer på Borealis som har deltagit i intervjuer, samtal och observationer under arbetets gång. Deras erfarenheter, insikter och vilja att dela med sig av kunskap har bidragit med empiriskt underlag och varit en viktig del i genomförandet av studien.

Vidare vill vi rikta ett stort tack till vår handledare & examinerare vid Chalmers tekniska högskola, Nils Thylen & Per Medbo, för värdefull handledning, återkoppling och stöd under arbetets gång.

Slutligen vill vi tacka alla som på olika sätt har stöttat oss under examensarbetet. Vi är tacksamma för möjligheten att genomföra detta arbete i samarbete med Borealis och för de lärdomar som arbetet har gett oss.

Göteborg, 2026

Joar Hertin

Oskar Johannessen

Göteborg, Sverige 2026

Kartläggning och kvantifiering av materialsvinn inom polyetenproduktion En studie av utloppspunkter och påverkan på yield

Joar Hertin
Oskar Johannessen

Institutionen för Teknikens ekonomi och organisation
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Borealis produktionsanläggning LDCo i Stenungsund producerar polyetenpellets som bland annat används som isoleringsmaterial i högspänningskablar. I processen finns god kontroll över inkommande material och mängden prima produkt, men det har saknats en tydlig kartläggning av var material lämnar processens huvudflöde utan att resultera i prima produkt. Detta materialsvinn påverkar processens yield och innebär att redan använda resurser inte nyttjas fullt ut.

Syftet med examensarbetet är att kartlägga var i produktionsprocessen material lämnar huvudflödet, samt att kvantifiera de utloppspunkter som uppstår under normal drift och analysera deras påverkan på processens yield och uppskattade kostnad för materialsvinnet. Studien bygger på dokumentgenomgång av P&ID-ritningar, observationer i produktionen samt intervjuer och samtal med personer med processkunskap. Processkartläggning och Waste Flow Mapping användes för att identifiera huvudflöden, avvikande flöden och utloppspunkter, medan Material Flow Cost Accounting och Material Flow Analysis användes som stöd för att analysera materialförluster och deras betydelse för yield.

Resultatet visar att 13 utloppspunkter identifierades i produktionsprocessen. Av dessa kunde framför allt utloppspunkt 7, 9, 11 och 12 kvantifieras under normal drift. Tillsammans motsvarar dessa ett uppskattat materialsvinn på cirka 7,14 ton per vecka, vilket innebär en påverkan på processens yield med cirka 0,74 procentenheter. När materialsvinnet relateras till ett schablonvärde synliggörs även den uppskattade kostnaden för materialsvinnet. Denna förlust motsvarar ungefär 16 900 euro per vecka.

Studien visar att materialsvinn uppstår på flera platser i produktionsprocessen och att återkommande materialflöden kan få betydelse över tid. Resultatet ger Borealis ett underlag för fortsatt förbättringsarbete, särskilt genom mer systematiska rutiner för vägning, dokumentation och uppföljning av material som lämnar huvudflödet.

Nyckelord: *Processindustri, yield, Processkartläggning, Waste Flow Mapping, Material Flow Cost Accounting, Material Flow Analysis, materialsvinn*

Begreppsförklaring:

Prima produkt = Produkt som uppfyller kvalitetskrav och kan säljas som ordinarie produkt.

Materialsvinn = Material som lämnar huvudflödet och därmed inte längre kan bli prima produkt.

Utloppspunkt = Punkt i processen där material lämnar huvudflödet.

Normal drift = Driftförhållanden där processen fungerar enligt avsedd funktion, utan större kvalitetsavvikelser, driftstörningar eller haverier.

Oktabin = Åttkantig wellpappförpackning som används för uppsamling eller hantering av material.

Small bin = Mindre uppsamlingsbehållare som rymmer ungefär en halv oktabin.

Greentainer = Större containerbox som används för hantering av pellets.

Yield = Andelen inputmaterial som resulterar i prima produkt.

P&ID = Processritning som visar utrustning, rördragning och kopplingar i processen.

Innehållsförteckning

1. INLEDNING	1
1.1 BAKGRUND	1
1.1.1 Om företaget Borealis	1
1.1.2 Produktionsanläggning LDCo	2
1.1.3 Minskade slöserier skapar nytta för Borealis	2
1.1.4 Förluster och effektivitet i processindustrin	3
1.1.5 Tillämpning av ekologisk hållbarhet på studien	4
1.2 SYFTE	5
1.3 FRÅGESTÄLLNINGAR	6
2. TEORETISKT RAMVERK	7
2.1 PROCESSKARTLÄGGNING	7
2.2 WASTE FLOW MAPPING	8
2.3 MATERIAL FLOW COST ACCOUNTING	9
2.4 MATERIAL FLOW ANALYSIS	10
2.5 SAMMANSATT TEORETISKT RAMVERK	11
3. METOD	13
3.1 DATAINSAMLING	13
3.1.1 Dokumentgenomgång	13
3.1.2 Observationer i produktionen	13
3.1.3 Semistrukturerade intervjuer	14
3.1.4 Ostrukturerade intervjuer och samtal	15
3.1.5 Kombination av metoder för datainsamling	16
3.2 LITTERATURSÖKNING OCH FRAMTAGNING AV TEORETISKT RAMVERK	16
3.3 ÖVERSIKT ÖVER HUR FORSKNINGSFRÅGORNA BESVARATS	17
3.3.1 Forskningsfråga 1	17
3.3.2 Forskningsfråga 2	19
3.4 VALIDITET OCH RELIABILITET	20
3.4.1 Validitet	20
3.4.2 Extern validitet	21
3.4.3 Reliabilitet	21
3.5 ETISKA ASPEKTER	22
4. RESULTAT	23
4.1 RESULTAT FORSKNINGSFRÅGA 1	23
4.1.1 Övergripande processbeskrivning av produktionsflödet	23
4.1.2 Identifierade utloppspunkter	25
4.2 RESULTAT FORSKNINGSFRÅGA 2	26
4.2.1 Beräkning av processens yield	27
4.2.2 Utloppspunkter	28
4.2.3 Summerande tabell av samtliga utloppspunkter	36
4.2.4 MFCA-analys av identifierade materialförluster	37
5. DISKUSSION	41
5.1 SAMLAD TOLKNING AV RESULTATEN	41
5.1.1 Diskussion: Forskningsfråga 1	41
5.1.2 Diskussion: Forskningsfråga 2	42
5.2 RESULTATETS RELATION TILL PRODUKTIONSPROCESSENS EKOLOGISKA HÅLLBARHET	43
5.3 BEGRÄNSNINGAR OCH DATAKVALITET	44
5.3.1 Begränsningar forskningsfråga 1	44
5.3.2 Begränsningar forskningsfråga 2	45
5.4 REKOMMENDATIONER TILL BOREALIS	46
5.4.1 Använd de kvantifierade utloppspunkterna som prioriteringsunderlag	46
5.4.2 Använd kartläggningen som grund för fortsatt uppföljning	47
5.4.3 Stärk datakvaliteten vid de utloppspunkter som redan kan följas upp	47
5.5 RESULTATETS RELATION TILL STUDIENS SYFTE	48

6. SLUTSATS	50
6.1 SLUTSATS	50
6.2 VIDARE TILLÄMPNING OCH FÖRSLAG TILL FORTSATT STUDIER.....	50
<i>6.2.1 Vidare tillämpning av studiens arbetssätt.....</i>	<i>51</i>
<i>6.2.2 Jämförelse med tidigare WFM-studier.....</i>	<i>51</i>
<i>6.2.3 Fortsatt forskning.....</i>	<i>51</i>
<i>6.2.4 Mätning av utloppspunkter till atmosfär</i>	<i>52</i>
LITTERATURFÖRTECKNING	53

1. Inledning

I detta kapitel presenteras studiens bakgrund, syfte, och frågeställningar.

1.1 Bakgrund

Processindustrin utgör en stor del av den globala basindustrin och omfattar verksamheter där råvaror omvandlas genom fysikaliska, kemiska eller termiska processer till produkter i kontinuerliga flöden (Towler & Sinnott, 2022). Till skillnad från verkstads- och monteringsindustrin kännetecknas processindustrin av höga kapitalinvesteringar, stora produktionsvolymmer, kontinuerlig drift och komplexa, integrerade system där små avvikelser kan få omfattande konsekvenser för både kvalitet och ekonomi. Att identifiera och reducera förluster är därför en strategiskt viktig del av förbättringsarbetet inom processindustrin (World Economic Forum, 2014). Förbättrad resurseffektivitet kan både stärka konkurrenskraften och bidra till minskad miljöpåverkan.

1.1.1 Om företaget Borealis

Borealis är ett internationellt ledande företag som levererar avancerade och hållbara polyolefinlösningar. Företaget är också en viktig aktör inom återvinning av polyolefiner och produktion av baskemikalier i Europa. Med sin polymerexpertis erbjuder Borealis värdeskapande, innovativa och cirkulära materiallösningar till flera industriella och samhällsviktiga områden, däribland konsumentprodukter, energi, sjukvård, infrastruktur och mobilitet (Borealis GmbH, 2026).

Produktionsanläggningarna finns på flera platser i världen, bland annat i Stenungsund, Sverige. Där finns tre polyetenfabriker, en krackeranläggning och ett innovationscenter. Krackeranläggningen kan processa flera olika råvaror såsom etan, nafta och propen, och hanterar över 500 hamnanlöp per år för import och export. Huvudprodukterna från krackern är eten och propen, vilket används som råmaterial i polyetenanläggningarna. I polyetenanläggningarna tillverkas högdensitetspolyeten (HDPE), lågdensitetspolyeten (LDPE) och Borstar®-produkter, främst för kabel- och rörmarknaden, med en total produktionskapacitet på cirka 760 000 ton per år (Borealis GmbH, 2026). Innovationscentret i Stenungsund stödjer utvecklingen för nya och innovativa material och lösningar (Borealis GmbH, 2026).

1.1.2 Produktionsanläggning LDCo

Denna studie genomförs vid en av produktionsanläggningarna i Stenungsund, LDCo, där polyeten i form av pellets tas emot från en föregående anläggning inom Borealis (M. Karlsson, personlig kommunikation, 12 december 2025). LDCo ansvarar för vidare bearbetning, kvalitetskontroller, produktionsanalyser samt packning av polyetenpellets, som produceras i en kontinuerlig process som sedan levereras till kund i oktabiner eller greentainers. Inom processen finns det god kontroll över de materialmängder som tillförs, men det saknas en tydlig förståelse för var i systemet material lämnar processen utan att resultera i prima produkt, det vill säga den produkt som hade kunnat uppfylla kvalitetskraven. Detta innebär ett kunskapsgap kring både omfattning och lokalisering av materialsvinnet i polyetenproduktionen. Ett liknande kunskapsgap finns även på andra produktionslinjer, vilket innebär att studiens metod kan vara tillämpbar i andra delar av verksamheten.

Materialet kan lämna huvudflödet både under normal drift och vid avvikande händelser, exempelvis kvalitetsavvikelser, driftstörningar eller större produktionsproblem. I denna studie görs därför en åtskillnad mellan återkommande materialsvinn som uppstår under normal drift och materialförluster som främst är kopplade till avvikande driftförhållanden. Med normal drift avses i denna studie de driftförhållanden där processen fungerar enligt avsedd funktion, utan större kvalitetsavvikelser, driftstörningar eller haverier.

1.1.3 Minskade slöserier skapar nytta för Borealis

Polyetenpellets som produceras vid LDCo används huvudsakligen som råmaterial i slutprodukter avsedda för isolering av högspänningskablar (M. Karlsson, personlig kommunikation, 12 december 2025). I takt med den globala utbyggnaden av elnät genomförs ett stort antal nationella och internationella infrastrukturprojekt, där efterfrågan på denna typ av isoleringsmaterial är betydande. Följaktligen råder en hög och stabil efterfrågan på den aktuella produkten, vilket innebär att nästan all producerad prima produkt levereras direkt till kund. Det material som resulterar i materialsvinn blir därmed direkt förlorat försäljning för Borealis.

Ur ett företagsekonomiskt perspektiv innebär materialsvinn inte enbart ökade kostnader för råmaterial, utan även förlorat värdeskapande då insatta resurser inte omvandlas till prima produkt (World Economic Forum, 2014). En förbättrad resurseffektivitet och minskat

materialsvinns genererar betydande ekonomiska vinster genom ökad produktivitet och bättre utnyttjande av insatt material. Detta kan även kopplas till förbättrad processprestation och högre yield, vilket direkt påverkar lönsamheten genom att flera enheter kan säljas utan motsvarande ökning av insatt material (Slack et al., 2022).

Eftersom efterfrågan på den aktuella produkten är hög innebär materialsvinn inte enbart en förlust i form av lägre yield, utan även en ekonomisk förlust genom att material som hade kunnat bli prima produkt inte kan säljas till kund. I en materialintensiv processindustri kan även små återkommande förluster motsvara betydande mängder material över tid. Det är därför relevant att analysera materialsvinnet både utifrån dess påverkan på processens yield och utifrån dess uppskattade kostnad.

Mot denna bakgrund är det av särskild vikt att maximera andelen prima produkt som lämnar produktionsprocessen. För Borealis innebär detta ett behov av att identifiera samtliga utloppspunkter i processen, för att utvärdera materialsvinn och möjliggöra minskade materialförluster.

1.1.4 Förluster och effektivitet i processindustrin

Enligt Holweg et al. (2018) är en process en struktur av aktiviteter som omvandlar input till output. I processer uppstår ofta förluster, till exempel genom defekter vid uppstart eller under produktion, vilket kan leda till kassation. Förluster kan också uppstå genom ineffektivt användande av råmaterial, vilket resulterar i materialsvinn. För att förstå och förbättra processens prestation blir det därför viktigt att mäta hur väl en process fungerar.

Holweg beskriver två sätt att mäta processprestation: *effectiveness* och *efficiency* (Holweg et al., 2018). *Effectiveness* handlar om hur väl processen uppfyller kundens krav och förväntningar, medan *efficiency* fokuserar på hur väl resurser omvandlas till output. Detta examensarbete fokuserar på *efficiency* för att analysera hur väl Borealis utnyttjar sitt inputmaterial och hur det omvandlas till företagets prima produkt.

Ett mått på processens effektivitet är *yield*, som anger andelen felfria produkter i förhållande till det totala antalet producerade produkter (Holweg et al., 2018). En hög yield indikerar att materialet utnyttjas effektivt, vilket både kan öka output och minska kostnader. Sambandet är dock inte entydigt. Förbättringar av yield kan kräva investeringar i processtyrning, kvalitetskontroller eller tekniska modifieringar, vilket kan medföra kostnader på kort sikt.

Inom kvalitetslitteraturen beskrivs detta som en avvägning mellan förebyggande kostnader och felkostnader (Juran & Godfrey, 1999). En förbättrad kvalitet kan dock på sikt reducera totalkostnaden genom minskade kassationer (Deming, 1986). Yield bör därför analyseras i relation till både tekniska och ekonomiska konsekvenser. Eftersom Borealis har en hög efterfrågan på företagets produkt är det relevant att analysera processen för att maximera processens yield. För att uppnå detta krävs dock en noggrann analys och förbättring av den underliggande processen.

I Borealis fall analyseras materialet kontinuerligt för att säkerställa att det uppfyller fastställda kvalitetsstandarder. Kvalitetsstandarder definierar gränsen mellan acceptabel och oacceptabel produktkvalitet och påverkas både av tekniska förutsättningar i processen och av ekonomiska avvägningar (Slack et al., 2022). Det material som lämnar processen genom utloppspunkterna uppfyller inte de givna kvalitetsstandarderna och behöver därför klassas ned eller kasseras. Materialet går inte heller att återföra till processen vilket innebär att en del av det insatta materialet inte kan omvandlas till prima produkt. Detta påverkar direkt processens yield, då andelen godkänt material minskar, samtidigt som materialförluster och kostnader ökar. Kvalitetsbedömningen blir därmed en väsentlig faktor för att förstå och förbättra processens effektivitet.

1.1.5 Tillämpning av ekologisk hållbarhet på studien

Materialsvinn i processindustrin är även relevant ur ett ekologiskt hållbarhetsperspektiv, eftersom material som inte omvandlas till prima produkt innebär att redan använda råvaror och energi inte nyttjas fullt ut. Detta kan relateras till de Globala målen, där mål 9 om hållbar industri, innovation och infrastruktur är särskilt relevant. En indikator kopplad till mål 9 är koldioxidutsläpp per värdeadderad enhet, vilket innebär att både minskade utsläpp och ökad värdeaddering kan bidra till en mer resurseffektiv industriell utveckling (Globala målen, 2024).

För Borealis är detta relevant eftersom materialet som hanteras i LDCo har framställts i tidigare produktionsled. Borealis kracker- och polyetenanläggningars utsläpp till luft består huvudsakligen av flyktiga kolväten från processutrustning samt koldioxid och kväveoxider (Borealis AB, 2024). Under 2024 uppgick krackeranläggningens utsläpp till 618 kiloton CO₂ (Statistiska centralbyrån, 2026), medan polyetenanläggningens utsläpp uppgick till 31,1 kiloton CO₂ (Borealis AB, 2024). Eftersom materialet i LDCo redan har genomgått tidigare

resurs- och energikrävande produktionsled kan minskat materialsvinn bidra till att en större andel av det framställda materialet används som prima produkt.

Studien kan även kopplas till mål 7, som behandlar tillgång till tillförlitlig, hållbar och ekonomiskt överkomlig energi (United Nations, 2026). Det polyeten som produceras inom LDCo används som isoleringsmaterial i högspänningskablar, som är en viktig komponent i utbyggnaden och förstärkningen av energiinfrastruktur (M. Karlsson, personlig kommunikation, 12 december 2025). Därmed kan en effektivare användning av materialet i LDCo förstås som ett bidrag till ekologisk hållbarhet. I denna studie används ekologisk hållbarhet som bakgrund till studiens relevans, medan resultatet avgränsas till kartläggning, kvantifiering samt analys av materialsvinnets påverkan på yield och materialsvinnets uppskattade kostnad. Den ekologiska betydelsen av materialsvinnet behandlas vidare i avsnitt 5.2.

1.2 Syfte

Sammantaget visar bakgrunden att produktionsprocessen vid LDCo kännetecknas av en hög efterfrågan på prima produkt, men det saknas detaljerad kartläggning av var material lämnar systemets huvudflöde samt hur stora volymer som lämnar systemet. Det är i nuläget oklart vid vilka specifika processteg och utloppspunkter material lämnar systemet utan att resultera i prima produkt.

Materialsvinnet påverkar processens yield och innebär ett ineffektivt utnyttjande av resurser som redan genomgått en energi- och resurskrävande framställningsprocess i krackeranläggningen. En ökad förståelse för produktionsprocessens materialsvinn är därför väsentlig för att kunna analysera hur svinnet påverkar yield och vilken uppskattad kostnad materialsvinnet motsvarar.

Syftet med detta examensarbete är att kartlägga materialsvinn i produktionsprocessen för polyeten vid LDCo genom att identifiera utloppspunkter där material lämnar processens huvudflöde. Vidare syftar arbetet till att kvantifiera de utloppspunkter som uppstår under normal drift samt analysera deras påverkan på processens yield och materialsvinnets uppskattade kostnad.

Med normal drift avses återkommande driftförhållanden där processen fungerar enligt avsedd funktion, utan större kvalitetsavvikelser, driftstörningar eller haverier. Arbetet avser därmed att bidra med ett underlag för framtida förbättringsarbete som kan öka andelen material som omvandlas till prima produkt och synliggöra vilka materialförluster som har störst betydelse för Borealis ur ett yield- och ekonomiskt perspektiv.

1.3 Frågeställningar

För att uppfylla studiens syfte krävs en stegvis analys av produktionsprocessen. Inledningsvis behöver den befintliga processens struktur och nuvarande hantering av materialflöden kartläggas och analyseras. Detta är en förutsättning för att kunna identifiera var materialsvinn uppstår. Därefter krävs en analys av svinnets lokalisering för att tydliggöra var materialsvinnet uppstår vid utloppspunkterna. Slutligen behöver svinnets omfattning och kostnad kvantifieras och relateras till processens yield. Denna bakgrund bryts ned till följande forskningsfrågor.

1. *Var i produktionsprocessen finns de utloppspunkter där material lämnar processens huvudflöde?*
2. *Hur mycket material lämnar processen vid de utloppspunkter som uppstår under normal drift, och hur kan detta relateras till processens yield och materialsvinnets uppskattade kostnad?*

2. Teoretiskt ramverk

I detta kapitel presenteras de teorier som används i studien.

2.1 Processkartläggning

Processkartläggning kan förstås som en visuell representation av en process där aktiviteter, deras logiska ordning och inbördes beroenden görs synliga (Aguilar-Savén, 2004).

Processkartor används för att beskriva hur ett flöde rör sig genom olika steg i en verksamhet och utgör ofta ett första steg i förbättringsarbete, särskilt när en process behöver förstås systematiskt innan analyser kan genomföras (Marriott, 2018). I detta avseende är processkartläggningen en grundläggande metod för att förstå hur en process ser ut i praktiken, vilka huvudsakliga steg som ingår och vilka aktörer som är inblandade (Holweg et al., 2018).

Kartläggningen innebär att processen följs från början till slut och beskriver hur flödet rör sig genom olika bearbetnings-, transport- och eventuella väntesteg tills att produkten eller tjänsten är färdigställd (Holweg et al., 2018). En viktig styrka med processkartläggning är att metoden inte bara synliggör processens struktur, utan också skapar förståelse mellan personer med olika roller. Processkartor kan därmed fungera som visuellt språk för att stödja kommunikation, analys och förbättring av processer (Aguilar-Savén, 2004).

Inom litteraturen framgår även att processkartläggningen inte följer en viss standard, utan att val av detaljnivå och systemgränser kan anpassas beroende på vad kartläggningen har för syfte (Aguilar-Savén, 2004). Processkartan behöver inte återge all teknisk detalj i anläggningen, utan främst de processteg, flödesvägar och utloppspunkter som är relevanta för analysen av materialsvinn.

Enligt Holweg et al. (2018) finns det tre grundläggande principer att ta hänsyn till gällande processkartläggning. Den första regeln är att observera arbetet i den faktiska arbetsmiljön, ofta kallat *gemba*. Syftet är att säkerställa att den faktiska processen dokumenteras och inte endast hur processen är tänkt att fungera. Detta är viktigt eftersom det ofta förekommer så kallade "workarounds", det vill säga informella processteg som uppstår när den planerade processen inte fungerar som avsett. Den andra regeln är att fokus bör riktas mot processens övergripande struktur i stället för att försöka kartlägga varje enskild detalj. På så sätt blir det möjligt att identifiera de mest betydelsefulla processtegen utan att kartläggningen blir onödigt

komplex. Den tredje regeln betonar vikten av att använda etablerade symboler och standardiserade metoder så att processkartan kan förstås av andra personer som arbetar med analysen.

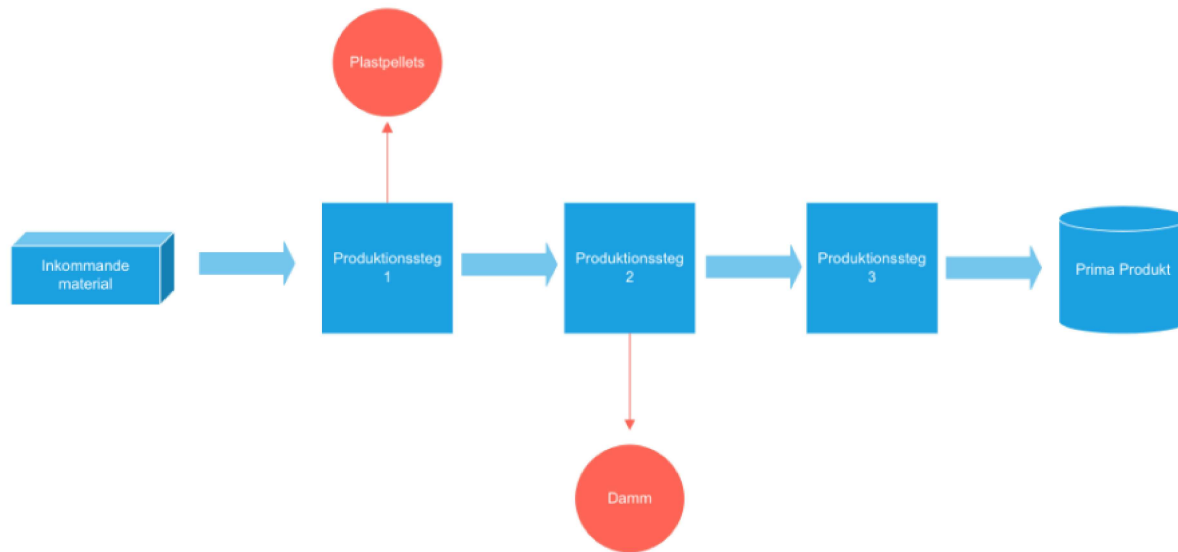
2.2 Waste flow mapping

Waste Flow Mapping (WFM) är en metod som används för att analysera materialflöden och avfallsströmmar i tillverkningsprocesser, med syfte att identifiera materialförluster, ineffektiv resursanvändning och förbättringsmöjligheter i produktionen (Kurdve et al., 2015). Metoden bygger på att nuläget kartläggs för att synliggöra var material och avfall uppstår samt hur dessa flöden kan relateras till processens materialeffektivitet. I tidigare forskning beskrivs WFM även som en form av materialflödesanalys på mikronivå, det vill säga på nivå av fabrik eller produktionslina (Shahbazi et al., 2019).

Inom WFM görs en åtskillnad mellan värdeskapande och icke-värdeskapande materialutflöden. Begreppet productive output (PO) avser den del av materialflödet som blir produkt och skapar värde, medan non-productive output (NPO) avser restmaterial, spill eller annat material som inte bidrar till den avsedda slutprodukten (Kurdve et al., 2017).

WFM kan delas in i tre huvudsakliga faser. Den första fasen handlar om att kartlägga nuläget och identifiera var avfall och restmaterial uppstår. Den andra fasen innebär en övergripande analys av material- och avfallsflöden, medan den tredje fasen innebär en mer detaljerad analys av enskilda delprocesser och hanteringsaktiviteter (Kurdve et al., 2017).

Figur 1 visar en förenklad WFM-inspirerad representation av en produktionsprocess där huvudflödet visualiseras från inkommande material till prima produkt. Utöver detta illustreras även utloppspunkter där material lämnar huvudflödet innan det når önskad slutprodukt. Därigenom tydliggör figuren skillnaden mellan productive output, som utgör värdeskapande produktflöde, och non-productive output som är materialsvinn. Figuren konkretiserar därmed hur Waste Flow Mapping kan användas för att synliggöra materialförluster i processen och skapa ett underlag för vidare analys av utloppspunkter. Materialsvinnet i detta fall är ett exempel och har benämnts som pellets och damm.



Figur 1. Förenklad WFM-inspirerad kartläggning av en produktionsprocess. Figuren visar processens huvudflöde från inkommande material till prima produkt samt exempel på utloppspunkter där material lämnar huvudflödet.

2.3 Material Flow Cost Accounting

Ett sätt att förstå materialsvinn är att se produktionen som ett system av materialflöden, där allt inkommande material antingen omvandlas till prima produkt eller lämnar processen som förlust. Inom Material Flow Cost Accounting (MFCA) betonas just denna distinktion mellan positiv produktoutput och negativ produktoutput, där den negativa avser material som används i processen men inte genererar den avsedda produkten (Kokubu & Kitada, 2015). MFCA är en metod som används för att kvantifiera flöden och lager av material i processen både i fysiska och monetära enheter. De sammanställda kostnaderna för materialsvinn kan användas som ett beslutsunderlag för organisationer och beslutsfattande personal till att generera finansiell vinst. Ett sådant synsätt är relevant i produktionsmiljöer där stora materialvolymmer hanteras, eftersom även relativt små procentuella förluster kan motsvara betydande mängder material och därmed också stor påverkan på ekonomi och resurseffektivitet (Guenther et al., 2015).

Materialsvinn bör därför inte endast betraktas som resultat av enskilda fel eller avvikelser, utan som ett fenomen som är kopplat till hur processen är utformad och styrd. Förluster kan uppstå i samband med instabila driftförhållanden, kvalitetsavvikelser, start och stopp,

omställningar eller andra situationer där materialflödet avviker från det normala huvudflödet. När sådana förluster inte synliggörs i processbeskrivningen riskerar de att förbli dolda, trots att de påverkar processens totala prestation (Kurdve et al., 2015).

Ur ett förbättringsperspektiv är det därför viktigt att inte enbart kartlägga processteg, utan också analysera relationen mellan processteg och materialförluster. Inom MFCA framhålls materialförluster som ofta underskattade i organisationer eftersom kostnaderna för dem inte synliggörs tillräckligt i traditionella system (Kokubu & Kitada, 2015). Genom att följa materialets väg genom processen blir det möjligt att synliggöra var resurser förbrukas utan att skapa värde, vilket ger ett mer precist underlag för förbättringsarbete (Dierkes & Siepelmeyer, 2019).

Materialsvinn har dessutom koppling till yield, eftersom varje materialförlust innebär att en mindre andel av inputen omvandlas till godkänd output. Yield-drivna processer kännetecknas av att små variationer i utbyte kan få stor betydelse för den ekonomiska prestationen, särskilt i materialintensiva tillverkningsmiljöer (Bohn & Terwiesch, 1999).

2.4 Material Flow Analysis

Material flow analysis (MFA) används för att kartlägga och kvantifiera flöden och lager av material inom ett definierat system (Laner et al., 2014). MFA fungerar som ett verktyg för att undersöka materialflöden och lager i avgränsade system som grund för resurshantering eller kontroll av miljöpåverkan. En utgångspunkt i MFA är att analysen avser ett system som definieras i rum och tid, vilket gör det möjligt att följa hur material förs in i, rör sig genom och lämnar systemet. För att göra detta används massbalansprincipen, som även kan hjälpa till att bedöma hur väl ett system uppnår de uppsatta målen (Allesch & Brunner, 2015).

Massbalansprincipen innebär att summan av inflöden till ett system måste vara lika med summan av utflöden och eventuell lagerförändring inom systemet (Brunner & Rechberger, 2005).

I litteraturen beskrivs MFA inte bara som en metod för att redovisa materialflöden, utan också som ett verktyg för analys och beslutsstöd. Material- och substansflödeanalyser gör resultat jämförbara och verifierbara genom att synliggöra flöden, identifiera kritiska länkar och analysera sambandet mellan materialflöden och ekonomiska processer (Huang et al., 2012). På liknande sätt kan MFA användas för att förstå hur system fungerar och för att stödja beslut

om förbättringar i materialhanteringen.

MFA genomförs vanligtvis som en stegvis analys. Först avgränsas det system som ska studeras, vilket innebär att det behöver fastställas vilka delar av processen som ska ingå, var systemgränsen går och under vilken tidsperiod materialflödena ska analyseras (Brunner & Rechberger, 2005). Därefter identifieras de processer, flöden och eventuella lager som ingår i systemet, samt hur dessa är kopplade till varandra. Nästa steg är att samla in och strukturera data över inflöden, utflöden och lager i fysiska enheter. Ett exempel på fysisk enhet kan vara kilogram per tidsenhet. Med stöd i massbalansprincipen jämförs sedan material som förs in i systemet eller kvarstår som lagerförändring, vilket gör det möjligt att kontrollera om datan över systemets förluster faktiskt stämmer. Resultatet av processen är att visualisera och tolka materialets väg genom systemet samt att identifiera kritiska flöden och områden där ytterligare mätning eller förbättring kan behövas.

Även om MFA ofta används för större samhällssystem, såsom regioner eller nationella materialflöden, är metoden inte begränsad till denna nivå. Tvärtom kan den användas på minsta möjliga systemnivå och kan utgöras av en enskild process i en fabrik (Brunner & Rechberger, 2005). Metoden är därför relevant även i en avgränsad studie, där syftet inte är att beskriva ett helt samhälles materialomsättning, utan att systematiskt kvantifiera hur material fördelas mellan huvudflödet och olika utloppspunkter inom en specifik produktionsprocess.

2.5 Sammansatt teoretiskt ramverk

En kombination av olika teorier kan användas i en studie som ett sammansatt teoretiskt ramverk för att kartlägga produktionsprocessen och identifiera utloppspunkter. Ramverket kombinerar processkartläggning och Waste Flow Mapping (WFM).

Processkartläggning utgör ramverkets grund. Genom processkartläggning kan produktionsprocessens huvudsakliga steg och flödesvägar visualiseras på ett överskådligt sätt. Detta är viktigt om en produktionsprocess består av flera sammankopplade delar och därför först behöver tydliggöras som helhet innan vidare analys kan genomföras.

Processkartläggning är fördelaktigt för att förstå en process systematiskt innan analyser genomförs (Marriott, 2018). Processkartor kan också fungera som ett visuellt språk för att stödja kommunikation, analys och förbättring av processer (Aguilar-Savén, 2004). Genom att förenkla processens steg kan analysen därmed underlättas. Vid processkartläggning bör den

faktiska processen beaktas, snarare än enbart befintlig dokumentation, för att även synliggöra eventuella avvikelser eller informella arbetssätt som inte framgår av dokumenterade processbeskrivningar (Holweg et al., 2018).

Medan processkartläggning främst används för att beskriva processens struktur, används WFM för att synliggöra var material lämnar huvudflödet. WFM kan skapa en tydligare bild av utloppspunkter och kan därmed hjälpa till att skilja dessa från det värdeskapande flödet (Kurdve et al., 2015).

3. Metod

Metodkapitlet beskriver hur studiens forskningsfrågor besvaras och motiverar varför vald metod är lämplig (Medbo, 2026). Studien genomförs med en deduktiv ansats, vilket innebär att studien tar sin utgångspunkt i befintliga teorier och använder dessa för att analysera det enskilda fall som undersöks (Ahrne & Svensson, 2022). I denna studie innebär det att teori om kartläggningar och materialflöden används som grund för att undersöka materialsvinn i produktionsprocessen vid LDCo.

3.1 Datainsamling

Följande avsnitt behandlar datainsamlingen i studien. Data har samlats in genom dokumentgenomgång, observationer i produktionen samt intervjuer och informella samtal. Dessa metoder har kompletterats med litteraturstudier för att skapa en bredare förståelse för produktionsprocessen och de problem som studeras.

3.1.1 Dokumentgenomgång

Dokumentgenomgång används som en inledande metod för att skapa en förståelse för produktionssystemet. I denna studie analyserades P&ID-ritningar (Piping and Instrumentation Diagrams) över produktionsprocessen. Denna typ av ritning visar processens huvudsakliga utrustning, rördragning, instrumentering och kopplingar mellan olika delar av systemet. Ritningarna var funktionsuppdelade, vilket möjliggjorde en stegvis genomgång av processens olika delar. Markeringar gjordes i ritningarna för att tydligt kunna följa flödet genom hela processen. När flödesriktningen hade fastställts identifierades processens olika utloppspunkter. Detta bidrog till en ökad förståelse för var materialflöden lämnar systemet i den befintliga processkartläggningen, vilket utgjorde ett viktigt underlag för det fortsatta arbetet.

3.1.2 Observationer i produktionen

Observationer används för att studera hur produktionsprocessen faktiskt genomförs i praktiken (Creswell, 2014). Observationerna möjliggör insamling av data om faktiska arbetsmoment och processflöden, vilket är särskilt värdefullt i studier av tekniska processer. Metoden bidrar även till att identifiera avvikelser mellan dokumenterade rutiner och kartläggningar mot det faktiska praktiska utförandet.

Under arbetets gång genomfördes observationer i produktionen med syfte att skapa en tydligare förståelse för processens uppbyggnad och de utloppspunkter som identifierats. Observationerna bidrog till att identifiera kritiska moment och potentiella problemområden i processen genom att synliggöra hur materialet hanterades i praktiken och vilka situationer det kunde lämna huvudflödet. De gav därmed ett mer konkret underlag för den fortsatta analysen av utloppspunkter och materialsvinn.

Inför observationerna genomfördes förberedelser där särskilt intressanta delar av processen identifierades och sammanställdes genom att markera ut punkterna på P&ID-ritningarna. Detta bidrog till att observationerna kunde genomföras på ett strukturerat sätt och med fokus på moment (vanligtvis utloppspunkter) som bedömdes vara relevanta för studiens syfte. Under observationerna fördes anteckningar och fotografier för att dokumentera iakttagelser och skapa ett underlag för fortsatt analys.

Tabell 1. *Beskriver vad som observerades, vilket syfte de olika observationstillfällena fyllde och när observationerna skedde.*

Observations-tillfälle	Vad som observerades	Syfte	Datum
1	Översiktlig genomgång av specifik produktionslinje.	Observera produktionen för att kunna specificera forskningsfrågor.	21-01-2026
2	Genomgång av produktionslinje i detalj.	Jämföra övriga datakällor med observationer för att identifiera utloppspunkter.	03-03-2026
3	Genomgång av samtliga identifierade utloppspunkter.	Samla information om rutinarbete för utloppspunkter.	31-03-2026

3.1.3 Semistrukturerade intervjuer

Semistrukturerade intervjuer används för att fördjupa förståelsen av produktionsprocessen, materialflöden och tidigare erfarenheter av förbättringsarbete. Metoden utgår från en intervjuguide med fördefinierade teman men möjliggör samtidigt följdfrågor och fördjupning, vilket skapar en balans mellan struktur och flexibilitet (Kvale, 2015). Semistrukturerade intervjuer är särskilt lämpliga när forskaren vill förstå hur individer uppfattar fenomen inom sitt yrke. I en processindustriell miljö är kunskapen både erfarenhetsbaserad och dokumenterad, vilket möjliggör att intervjuerna kan synliggöra både faktabaserad och tyst kunskap. I denna studie fungerar intervjuerna som ett komplement till dokumentstudier och observationer, vilket kan ge ytterligare kontext till problemområdet.

Intervjuerna dokumenterades genom anteckningar och sammanställdes i relation till de olika forskningsfrågorna. De semistrukturerade intervjuerna planerades till ungefär 60 minuter per intervju, men tidsåtgången varierade beroende på respondentens roll, tillgänglighet och hur omfattande information som framkom under intervjun. Resultaten användes tillsammans med dokumentstudier och observationer för att besvara frågeställningarna.

Tabell 2. *Beskriver de olika intervjupersonerna, deras roll på företaget och även deras erfarenhet av nuvarande roll räknat i antal år.*

Intervjuperson	Roll på företaget	Erfarenhet av nuvarande roll (år)
1	Produktionschef	10+
2	Produktionsingenjör	1-2
3	Ansvarig för teknisk träning	10+
4	Ledande produktionsingenjör	10+
5	Produktionsingenjör	2-5
6	Drifttekniker	2-5
7	Driftingenjör	10+
8	Materialhanterare	10+
9	Kvalitetsingenjör	5-10
10	Processingenjör	2-5
11	Materialhanterare	10+
12	Materialflödesplanerare	10+
13	Materialflödesplanerare	10+

3.1.4 Ostrukturerade intervjuer och samtal

Ostrukturerade intervjuer är informella och används för att utforska ett område på djupet (Saunders et al., 2023). De saknar förutbestämda frågor eller teman och styrs i stället av deltagaren, vilket ger respondenten möjlighet att fritt beskriva sina erfarenheter och uppfattningar. Frågor och uppföljningar anpassas under intervjun utifrån vad deltagaren berättar.

Under arbetets gång användes ostrukturerade intervjuer som metod för att skapa en förståelse för verksamheten, både på en övergripande nivå och mer specifikt inom relevanta områden. Under intervjuerna fördes nödvändiga anteckningar för att dokumentera relevant information. Intervjuerna hade en varierande längd mellan 5 och 60 minuter, beroende på ämnets omfattning samt deltagarnas tillgänglighet. De personer som deltog i de semistrukturerade intervjuerna återkom även i flera fall i ostrukturerade intervjuer och kompletterande samtal.

Utöver intervjuerna genomfördes även kortare samtal utan någon fast struktur. Syftet med dessa var att snabbt få förtydliganden eller svar på specifika frågor kopplade till aktuella problem. Till skillnad från intervjuerna, där en mötestid bokades i förväg, uppstod dessa samtal spontant efter behov och utan förberedelser.

3.1.5 Kombination av metoder för datainsamling

I denna studie kombineras dokumentgenomgång, observationer, semistrukturerade intervjuer, ostrukturerade samtal och användning av litteratur. Kombinationen av flera datakällor kan beskrivas som metodtriangulering. Detta är ett methodsätt som gör att studiens trovärdighet ökar (Denzin, 2009). Utan triangulering är det svårt att fånga allt som är relevant och viktigt i studien. Det är vanligt att samla information från flera olika datakällor för att utskilja resultat om ett fenomen, men utan att triangulera datan kan den endast analyseras individuellt (Yin, 2018). När datan i stället trianguleras kan resultaten stödjas av fler än en datakälla. Studier som använder triangulering har högre kvalitet än studier som endast använder enstaka datakällor.

Triangulering fungerar genom att belysa flera typer av empiriskt material, som därefter jämförs för att undersöka om de pekar i samma riktning (Yin, 2018). Dokument kan användas för att beskriva formella processer och rutiner, observationer för att visa hur arbetet genomförs i praktiken, intervjuer och samtal för att fånga personliga upplevelser och erfarenheter från de personer som deltar i verksamheten. Skillnader mellan de olika källorna kan synliggöra avvikelser som kan analyseras vidare.

3.2 Litteratursökning och framtagning av teoretiskt ramverk

För att etablera en relevant kunskapsbas för studien genomförs en litteratursökning med fokus på kartläggning och analys av produktionsflöden inom plastindustri. Sökningen sker iterativt under arbetets gång och omfattar vetenskapliga artiklar, kopplad till produktions- och materialflöden. Relevanta källor identifieras via Chalmers biblioteks databaser samt genom kompletterande sökningar i Google Scholar och Scopus. Scopus AI har använts som komplement vid litteratursökningen för att identifiera relevanta sökord, forskningsområden och möjliga vetenskapliga källor. De källor som identifierades granskades därefter manuellt utifrån relevans och vetenskaplig kvalitet innan de användes i studien.

Litteraturgenomgång är en viktig del av forskningsprocessen då den bidrar till att kunna

använda befintlig kunskap och identifiera relevanta begrepp, teorier och metoder (Creswell, 2014). Litteraturen hjälper forskaren att utveckla ett teoretiskt ramverk som kan vägleda datainsamling och analys. Litteraturgenomgången fungerar också som ett medel för att förklara begrepp och relatera egen studie till tidigare forskning (Bryman, 2016). Därmed skapas analytiska verktyg som kan användas för att tolka resultatet.

Litteraturen används för att definiera begrepp, teorier och metoder som är relevanta för studiens syfte och forskningsfrågor. Till denna studie hämtades teori kring processkartläggning, Waste Flow Mapping, Material Flow Cost Accounting och Material Flow Analysis. Detta eftersom dessa områden ger stöd för att förstå, kartlägga och analysera materialflöden och materialsvinn i produktionsprocesser. Den sammanställda litteraturen låg därefter till grund för studiens teoretiska ramverk, vilket användes som analytiskt stöd vid tolkningen av det empiriska materialet.

3.3 Översikt över hur forskningsfrågorna besvarats

För att säkerställa en tydlig koppling mellan syfte, forskningsfrågor och metod används en stegvis ansats där resultaten från tidigare steg utgör underlag för nästa.

3.3.1 Forskningsfråga 1

Den första forskningsfrågan besvarades genom en stegvis kartläggning av den befintliga produktionsprocessen, där flera datakällor kombinerades. Inledningsvis genomfördes dokumentgenomgång av befintliga processritningar (P&ID) för att skapa en förståelse för processens formella struktur. Därefter genomfördes observationer i produktionen för att studera processens faktiska genomförande och för att identifiera eventuella avvikelser mellan dokumenterad och praktiserad process. För att ytterligare fördjupa förståelsen användes ostrukturerade intervjuer med personer i olika roller, såsom produktionsingenjör, produktionschef och produktionstekniker. Dessa bidrog med praktisk och erfarenhetsbaserad kunskap om processens uppbyggnad, materialflöden och hantering i vardagen.

Genom att triangulera information från dokument, observationer och samtal, i kombination med det teoretiska ramverket, kunde en överskådlig kartläggning av den befintliga produktionsprocessen tas fram. Kartläggningen utformades därefter i Microsoft Visio och granskades av personer med erfarenhet kring processen för att säkerställa dess giltighet. Kartläggningen illustrerade även utloppspunkternas placering i produktionsprocessen samt

hur materialet samlades upp.

3.3.1.1 Användning av sammansatt teoretiskt ramverk för att besvara forskningsfråga 1

För att besvara forskningsfråga 1 användes det teoretiska ramverket som stöd för att kartlägga produktionsprocessen och identifiera de punkter där materialsvinn uppstår, alltså produktionsprocessens utloppspunkter. Det sammansatta ramverket användes genom att kombinera processkartläggning och Waste Flow Mapping (WFM). Syftet var inte att tillämpa teorierna var för sig, utan att använda de delar av respektive teori som var mest relevanta för studiens specifika syfte.

Processkartläggning användes som grund för att skapa en sammanhängande och lättolkad bild av produktionsprocessens huvudflöde. De befintliga P&ID-ritningarna var tekniskt detaljerade och funktionsuppdelade, vilket gjorde det svårt att få en samlad överblick över hela flödet och samtidigt identifiera var material lämnade processen. Med stöd av processkartläggning förenklades därför processen till huvudsakliga processteg och flöden. Detta gjorde det möjligt att tydliggöra hur materialet rörde sig genom processen från inkommande material till prima produkt.

WFM användes därefter som stöd för att analysera vilka delar av processen där material avvek från huvudflödet. I praktiken innebar detta att varje avvikande flöde från huvudflödet granskades utifrån om materialet fortfarande kunde fortsätta mot prima produkt eller om det lämnade processen som materialsvinn. De flöden där material inte längre kunde bli prima produkt markerades som utloppspunkter. På så sätt användes WFM för att skilja processens huvudflöde från de materialflöden som utgjorde svinn.

I analysen användes WFM-begreppen productive output och non-productive output för att skilja mellan material som fortsatte mot prima produkt och material som lämnade huvudflödet. Prima produkt betraktades som productive output, medan material som inte längre kunde bli prima produkt betraktades som non-productive output. Denna indelning användes som stöd för att avgöra vilka avvikande flöden som skulle klassas som utloppspunkter.

Det sammansatta ramverket användes därmed som en modell för att bearbeta den empiriska informationen från dokumentgenomgång, observationer och intervjuer. Informationen sammanställdes slutligen i en kombination av processkartläggning och WFM där huvudflöde,

avvikande flöden och utloppspunkter markerades.

3.3.2 Forskningsfråga 2

Den andra forskningsfrågan besvarades genom att kvantifiera materialsvinnet vid de identifierade utloppspunkterna som uppstår under normal drift, och därefter relatera detta till processens yield och uppskatta materialsvinnets kostnad. Utloppspunkter som främst uppstår vid kvalitetsavvikelser, driftstörningar eller andra avvikande händelser har identifierats och beskrivits, men har inte inkluderats i den huvudsakliga kvantifieringen av yieldpåverkan eller uppskattad kostnad.

För att relatera de identifierade materialförlusterna till produktionslinjens totala prestation beräknades även processens yield för den studerade perioden. Yield användes i studien som ett mått på hur stor andel av det tillförda materialet som resulterade i prima produkt. Den totala inputen till produktionslinjen beräknades utifrån tillgängliga produktionsdata, där produktionstimmar och produktionstakt justerades med hänsyn till registrerade produktionsstopp. Mängden producerad prima produkt hämtades från företagets ERP-system för samma tidsperiod.

Kvantifieringen av utloppspunkterna genomfördes utifrån tillgängliga empiriska data, där observationer och intervjuer med driftpersonal användes som underlag. För de utloppspunkter där material samlades upp i behållare baserades uppskattningen på tömningsfrekvens och schabloniserad vikt per behållare. I de fall där dokumentation saknades användes intervjuer och observationer för att bedöma om materialförlusten var kvantifierbar eller endast kunde beskrivas kvalitativt.

För att tydliggöra hur materialsvinnet kvantifierades sammanställdes resultaten i en överskådlig tabell. Tabellen utformades för att visa varje identifierad utloppspunkt, om materialsvinnet uppstod under normal drift, uppskattad mängd material per vecka och per år, materialtyp, yieldpåverkan, efterhantering, datakällor samt bedömd osäkerhet. Syftet med tabellen var att samla kvantifieringen på ett enhetligt sätt och göra det möjligt att jämföra utloppspunkterna mot varandra.

3.3.2.1 Användning av teoretiskt ramverk för att besvara forskningsfråga 2

Analysen tog stöd i Material Flow Cost Accounting (MFCA), där material som lämnar

processen utan att bli prima produkt klassas som förlustflöden. De kvantifierade materialförlusterna omräknades till ett uppskattat ekonomiskt värde genom att multiplicera mängden materialsvinn med ett schablonvärde baserat på marknadspris för LDPE. På så sätt kunde kostnaden för materialförlusten synliggöras. Resultatet visualiserades sedan i Microsoft Visio.

Material Flow Analysis (MFA) användes som stöd för att analysera processens materialbalans. Utifrån MFA avgränsades produktionsprocessen så att inflödet av material kunde jämföras med mängden prima produkt och de materialförluster som identifierats i processen. Detta gjorde det möjligt att uppskatta hur stor andel av materialet som omvandlades till prima produkt och hur stor andel som lämnade processen genom identifierade utloppspunkter för att sedan koppla detta till yield. Detta gjorde det möjligt att identifiera vilka utloppspunkter som stod för största delen av förlusterna.

3.4 Validitet och reliabilitet

I denna studie bedöms kvaliteten i datainsamling och analys utifrån begreppen validitet och reliabilitet. Det är viktigt att tillvägagångssättet beskrivs så tydligt att läsaren kan följa hur slutsatserna har dragits (Bryman, 2016). Genom att kombinera dokumentgenomgång, observationer, semistrukturerade intervjuer och ostrukturerade samtal har studien eftersträvat en trovärdig beskrivning av materialsvinnets uppkomst.

3.4.1 Validitet

Validitet innebär att studien verkligen undersöker det som den är avsedd att undersöka (Höst et al., 2006). Triangulering kan användas som ett arbetssätt för att uppnå giltiga studieresultat, det vill säga stärka validiteten i en studie (Ahrne & Svensson, 2022). I denna studie har validiteten stärkts genom att flera datakällor kombinerats, i form av dokumentgenomgång av P&ID-ritningar, observationer i produktionen och intervjuer. Genom att jämföra den dokumenterade processen med hur processen faktiskt genomförs i praktiken, samt med intervjuer, har utloppspunkterna kunnat undersökas ur flera perspektiv.

Eftersom processkartläggningen utgör en modell av den studerade processen har även kartläggningens giltighet beaktats. Validering av en modell är ett viktigt steg och innebär att modellen återkopplas till det ursprungliga fenomenet för att undersöka om den utgör en korrekt och giltig beskrivning (Höst et al., 2006). Vidare beskriver Höst et al. (2006) att

modeller som används av människor, exempelvis processbeskrivningar, kan valideras genom att framtida användare får sätta sig in i modellen och uttrycka sina åsikter kring den. I denna studie har detta gjorts genom att processkartläggningen diskuterades med personer på företaget med god kunskap om processen. Genom denna återkoppling kunde kartläggningen kontrolleras och förtydligas, vilket ytterligare stärkte studiens validitet.

Validiteten har även stärkts genom att datainsamlingen genomförts nära den verkliga kontexten där det som studeras faktiskt uppstår. Observationer i produktionsmiljön har gjort det möjligt att studera det faktiska processförloppet och identifiera skillnader mellan praktiken och det dokumenterade.

3.4.2 Extern validitet

Extern validitet avser frågan om “huruvida resultaten från en undersökning kan generaliseras utöver den specifika undersökningskontexten” (Bryman, 2016, s. 51). I denna studie är den externa validiteten begränsad eftersom undersökningen genomförts i en specifik produktionslinje vid LDCo. De identifierade utloppspunkterna, mängderna materialsvinn och påverkan på yield är därmed beroende av processens tekniska utformning, driftförhållanden och materialhantering. Resultaten kan därför inte direkt generaliseras till andra produktionslinjer eller anläggningar. Även om resultatens generaliserbarhet är begränsad kan studiens tillvägagångssätt vara relevant för andra produktionsmiljöer med liknande förutsättningar, där materialflöden och materialsvinn behöver kartläggas.

3.4.3 Reliabilitet

Reliabilitet avser studiens tillförlitlighet och hur konsekvent datainsamling och analys har genomförts. I kvalitativ forskning innebär reliabilitet dock inte främst att studien ska upprepas med exakt samma resultat, eftersom det sociala och organisatoriska sammanhanget kan vara föränderligt (Bryman, 2016). I stället handlar det om att beskriva tillvägagångssättet på ett transparent och systematiskt sätt så att läsare kan förstå hur studien genomförts och på vilka grunder slutsatserna är dragna (Bell et al., 2019).

I denna studie stärks reliabiliteten genom att datainsamlingens olika delar redovisas tydligt och motiveras utifrån studiens syfte och forskningsfrågor. Det framgår vilka typer av dokument som analyserats, varför observationer genomförts i produktionen samt vilken funktion intervjuer och samtal haft i studien. Att flera datakällor kombineras innebär också att

uppgifter kunnat jämföras och kontrolleras mot varandra, vilket minskar risken för felaktiga tolkningar att få för stor betydelse i analysen (Yin, 2018).

Samtidigt finns begränsningar i reliabiliteten som är viktiga att beakta. Observationer och tolkningar påverkas alltid i viss utsträckning av forskarnas förkunskap (Bryman, 2016).

Informella samtal är dessutom mindre standardiserade än semistrukturerade intervjuer. För att hantera detta har ostrukturerade samtal främst använts som komplement till övriga datakällor, snarare än som ensam grund för slutsatser. Genom att låta slutsatserna dras från empiriskt underlag av flera källor stärks studiens tillförlitlighet.

3.5 Etiska aspekter

Eftersom studien genomförts i en industriell produktionsmiljö har etiska överväganden främst varit kopplade till hantering av företagsintern information och respondenternas anonymitet. Produktionsprocessen innehåller information som kan vara känslig för företaget, vilket har hanterats genom att processsteg och delar av produktionsflödet benämnts med fiktiva namn i rapporten. På så sätt kan processens övergripande struktur och materialflöden analyseras utan att detaljerad företagsintern information exponeras.

Respondenterna återges inte med namn i rapporten. I stället beskrivs de utifrån roll och erfarenhet, eftersom deras processkunskap är relevant för studiens empiriska underlag. Information från intervjuer, ostrukturerade intervjuer och kompletterande samtal har därmed använts på ett sätt som syftar till att synliggöra processkunskap snarare än enskilda personers åsikter eller prestationer.

Även observationer och fotografier har hanterats med hänsyn till företagsintern information. Fotografier användes som stöd för förståelse och analys, men publicerades inte i rapporten om de riskerade att röja känsliga detaljer om produktionsprocessen. Genom dessa avvägningar har studien eftersträvat att skapa ett användbart empiriskt underlag samtidigt som både företagets information och de medverkande personernas anonymitet skyddas.

4. Resultat

Detta kapitel presenterar studiens resultat med utgångspunkt i de två forskningsfrågorna.

4.1 Resultat forskningsfråga 1

I följande avsnitt redovisas produktionsprocessens huvudflöde samt de utloppspunkter där material lämnar huvudflödet. Avsnittet inleds med en övergripande processbeskrivning och följs därefter av en sammanställning av de identifierade utloppspunkterna.

4.1.1 Övergripande processbeskrivning av produktionsflödet

Den genomförda processkartläggningen visar att produktionsprocessen vid LDCo består av ett sammanhängande huvudflöde där polyetenpellets tas emot från tidigare steg i produktionen och successivt bearbetas mot prima produkt. För att skydda företagsintern information presenteras processen i förenklad form, där varje processteg har getts fiktiva namn. Kartläggningen synliggör därmed processens övergripande struktur, materialets huvudsakliga väg genom systemet samt de flöden som avviker från huvudflödet.

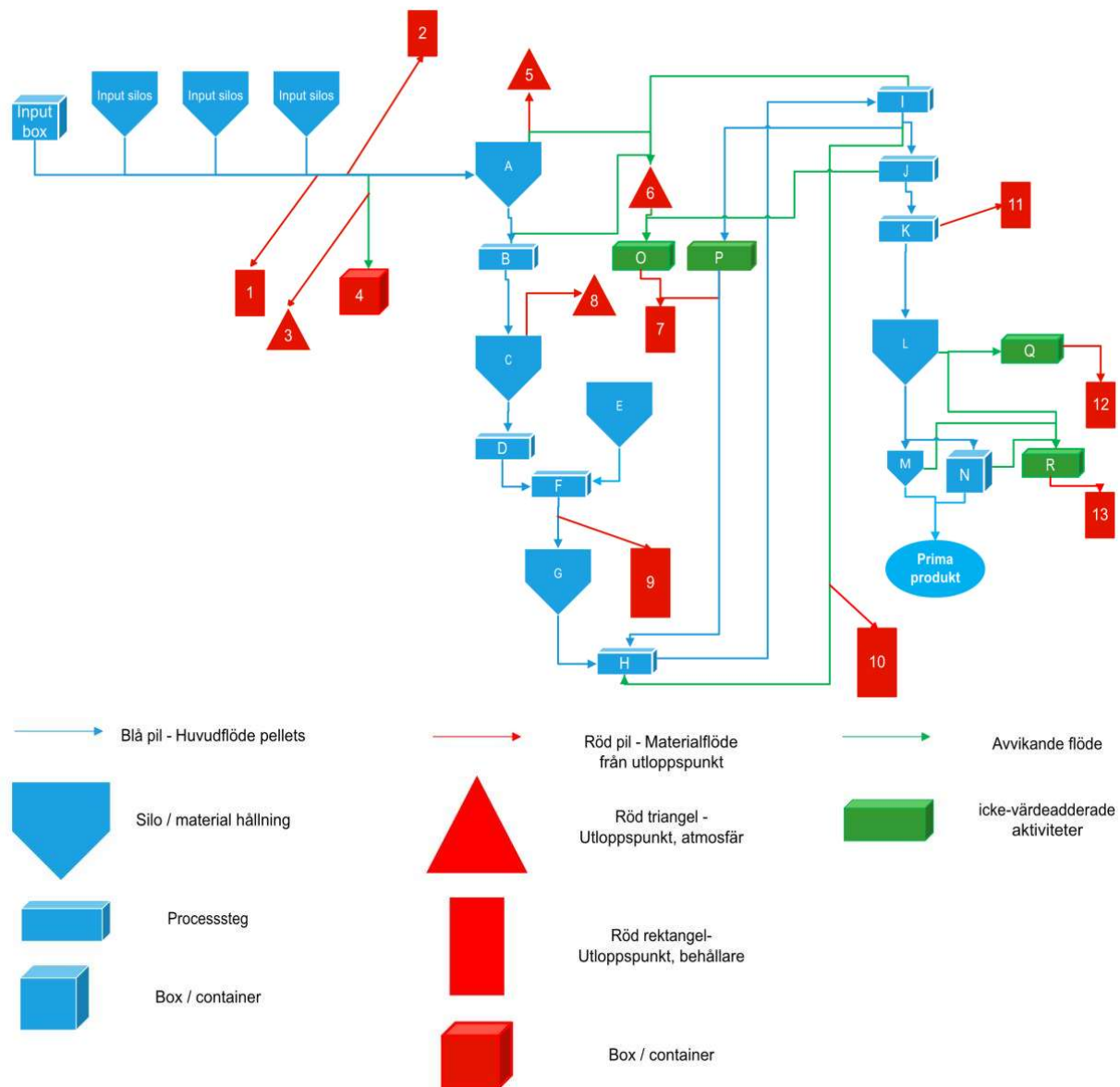
Som det framgår av figur 2 inleds processen med att material från tidigare delar av produktionen förs in i systemet via en input box eller silo. Därefter förs materialet vidare till de första förädlade processtegen. I den förenklade kartläggningen markeras huvudflödet av pellets med blå pilar, medan övriga blå symboler används för att beskriva huvudflödets delar. Den blå symbolen för silo visar punkter där material hålls eller lagras, den blå rektangulära symbolen representerar processteg och den blå boxsymbolen representerar boxar eller containrar i flödet. Figur 2 visar därmed hur materialet rör sig genom processens ordinarie väg från inkommande material till färdig produkt.

Kartläggningen visar vidare att materialet passerar genom ett antal processteg där det bearbetas och hanteras för att komma närmare de krav som ställs för att klassificeras som prima produkt. Varje processteg utgör en del av den successiva förädlingen av materialet. Kartläggningen visar också att allt material inte följer huvudflödet hela vägen mot prima produkt. I figur 2 markeras sådana avvikelser med gröna pilar, vilka representerar avvikande flöden från huvudflödet av pellets. Dessa flöden leder inte vidare till prima produkt utan förs i stället till andra processer eller funktioner. De gröna symbolerna används därmed för att synliggöra aktiviteter och sidoflöden som inte är direkt värdeskapande i förhållande till

processens huvudsakliga output. Exempel på detta är "Q" och "P" som är en kvalitetskontroll för att kontrollera att produkterna uppfyller kraven för prima produkt. Även "O" och "R" utgör sådana avvikande delar av processen, då de representerar filter där produkter separeras från huvudflödet.

Utöver huvudflödet och de avvikande flödena visar figur 2 även de punkter där material lämnar processen. Dessa markeras med röda symboler där olika former används för att särskilja olika typer av utloppspunkter. Den röda triangeln representerar en utloppspunkt till atmosfär, den röda cirkeln är en utloppspunkt kopplad till filter och den röda rektangeln representerar en utloppspunkt till behållare. Röda pilar visar det materialflöde som lämnar huvudprocessen från dessa utloppspunkter.

4.1.2 Identifierade utloppspunkter



Figur 2. WFM-inspirerad processkartläggning av produktionslinjen vid LDCo med identifierade utloppspunkter. Processtegen har getts fiktiva namn för att skydda företagsintern information.

Med stöd av dokumentgenomgång, observationer och intervjuer identifierades 13 utloppspunkter där material lämnar processens huvudflöde. Dessa punkter har sammanställts i figur 2 som visar var i processen svinn uppstår och hur utflödena är fördelade mellan olika processteg.

Kartläggningen visar att utloppspunkterna är spridda över flera delar av produktionsflödet, från materialintaget till senare processteg. Detta innebär att materialsvinnet inte är kopplat till

en enskild del av processen, utan uppstår på flera ställen. Det framgår också att en behållare kan vara uppsamlingspunkt för två utlopp. Punkterna är även numrerade för att vidare kunna analyseras enskilt.

De identifierade utloppspunkterna skiljer sig även åt vad gäller typ av utflöde och hur materialet hanteras. Vid vissa punkter utgörs utflödet av damm, medan det vid andra punkter består av pellets. Även uppsamlingssättet varierar mellan utloppspunkterna. I vissa fall samlas material upp i filter eller behållare, medan i andra fall lämnar det processen till atmosfären utan direkt uppsamling. Detta visar att utloppspunkterna inte bara varierar i placering, utan även i hur synligt och kontrollbart svinnet är.

Tabell 3. *Beskriver varje identifierad utloppspunkt. En oktabin är en wellpappförpackning med en standardiserad volym. Small bin är en halverad oktabin och rymmer därför ungefär hälften av oktabinens volym.*

Utlöppspunkter	Plats i process	Uppkomstssituation	Uppsamling
1	Input silos	Damm	Oktabin
2	Input silos	Damm tas med ut av tryckförändring	Påsar
3	Cyklon	tryckförändring	Atmosfär
4	Waste Box	Kvalitetsfel tas in i silo	Container
5	A	Tryckförändring	Atmosfär
6	Tratt	Luftuttag	Atmosfär
7	O	Damm	Oktabin
8	C	Tryckförändring	Atmosfär
9	F	Rengöring, uppstart, kvalitet	Oktabin
10	Vattentank	Buffertvattentank	Behållare
11	K	Kvalitetsavskiljning	Small bin
12	Q	Provtagning	Small bin
13	R	Tryckförändring - punktutsug	Behållare

4.2 Resultat forskningsfråga 2

I detta avsnitt analyseras de identifierade utloppspunkterna utifrån hur mycket material som lämnar processens huvudflöde under normal drift, hur materialet hanteras efter det avskilts, hur detta påverkar processens yield och materialsvinnets uppskattade kostnad. Med

utloppspunkt avses en punkt där material lämnar produktionsprocessens huvudflöde och därmed inte längre kan bli prima produkt. Utloppspunkter som uppstår vid kvalitetsavvikelser, driftproblem eller andra avvikande händelser redovisas endast kvalitativt och inkluderas inte i den sammanlagda beräkningen på yieldpåverkan.

För att kunna tolka resultaten är det viktigt att skilja mellan olika typer av materialsvinn och uppsamlingssätt. Materialet som lämnar processen består främst av pellets eller damm. Pellets avser det fasta polyetenmaterial som normalt ska fortsätta genom processen mot färdig produkt, medan damm utgör finare partiklar som kan avskiljas från materialflödet. Vid vissa utloppspunkter samlas materialet upp i behållare, filter eller säckar, medan det vid andra punkter lämnar direkt till atmosfären. Detta påverkar hur väl materialet kan kvantifieras.

I resultatet förekommer flera typer av uppsamlingsbehållare. En oktabin är en åttkantig förpackning av wellpapp som används som uppsamling, medan en small bin är en mindre uppsamlingsbehållare som motsvarar drygt en halv oktabin. En greentainer är en större containerbox som kan användas för hantering av pellets. I de fall material samlas upp i sådana behållare har mängden ofta uppskattats med hjälp av tömningsfrekvens och schabloniserad vikt per fylld behållare. De olika schabloniserade vikterna skiljer sig mot varandra beroende på materialsort och behållare. Materialsorter har olika densitet när de packas i behållarna. Kvantifieringen bygger på den tillgängliga empiriska datan från observationer, intervjuer, manuella anteckningar och dokument. Eftersom material inte mäts eller dokumenteras separat vid samtliga utloppspunkter varierar säkerheten i resultaten. De kvantifierade mängderna ska därför tolkas som uppskattningar av det materialsvinn som har kunnat beräknas.

Materialsvinnet påverkar yield eftersom material som lämnar huvudflödet inte kan säljas som prima produkt. Även när materialet samlats upp och säljs vidare till kund med lägre kvalitetskrav innebär det en yieldpåverkan, eftersom materialet inte resulterar i prima produkt.

I följande avsnitt analyseras varje utloppspunkt separat. För varje punkt beskrivs var i processen den uppstår, vilken typ av material som lämnar huvudflödet, hur materialet samlas upp eller hanteras samt om materialmängden kan kvantifieras.

4.2.1 Beräkning av processens yield

För att sätta det kvantifierade materialsvinnet i relation till produktionslinjens totala prestation beräknades processens yield för perioden. Yield används i detta sammanhang som ett mått på

hur stor andel av det tillförda materialet som resulterade i prima produkt.

Den totala inputen till linjen beräknades utifrån produktionstimmar, produktionstakt och antal timmar produktionsstopp. Utifrån detta uppgick linjens totala input till 44 060 ton under den studerade perioden. Mängden prima produkt under samma period uppgick till 40 460 ton.

Yield beräknades genom att dividera mängden prima produkt med total input. Beräkningen visar att processens yield uppgick till cirka 91,8 %. Differensen mellan total input och prima produkt uppgick därmed till 3 600 ton, vilket motsvarar 8,2 % av den totala inputen.

Tabell 4. *Visar beräkning av yield för den studerade perioden.*

Parameter	Beräkning	Resultat
Total input till produktionslinjen	Produktionstimmar × produktionstakt justerat för produktionsstopp	44 060 ton
Producerad prima produkt	Hämtat från ERP-system	40 460 ton
Differens mellan input och prima produkt	44 060 – 40 460	3 600 ton
Yield	$40\,460 / 44\,060 \times 100$	91,8%

4.2.2 Utloppspunkter

Nedan presenteras varje utloppspunkts resultat i relation till forskningsfråga 2.

4.2.2.1 Utloppspunkt 1

Utloppspunkt 1 befinner sig i anslutning till materialintaget vid den utvalda produktionslinjen. Det material som lämnar huvudflödet vid denna punkt består främst av damm, vilket innebär att materialet inte längre kan klassas som prima produkt. I stället avskiljs materialet från huvudflödet och samlas in i en oktabin. Utifrån intervjuer med ingenjörer och driftpersonal framgår det att oktabinen töms mycket sällan. Detta tyder på att mängden material som samlas upp vid utloppspunkten är mycket liten i förhållande till den totala produktionsvolymen.

Det uppsamlade materialet återförs inte till processen och säljs inte heller vidare. En anledning till detta är att oktabinen behöver bytas ut innan den är full på grund av att förpackningsmaterialet till oktabinen hinner försämrats av långvarig utomhusförvaring innan

den är helt fylld med material. Det material som samlas upp vid utloppspunkten går i stället till förbränning. Materialsvinnet är dock mycket litet då oktabinen töms mycket sällan och aldrig hinner fyllas helt. Ur ett yield-perspektiv har materialsvinnet från utloppspunkt 1 därmed en mycket liten påverkan.

4.2.2.2 Utloppspunkt 2

Utloppspunkt 2 är precis som utloppspunkt 1 i anslutning till materialintag vid den utvalda produktionslinjen. Punkten är kopplad till dammbildningen som uppstår när pellets släpps ned från silos och luft förs ut ur systemet. I samband med detta kan damm följa med luftflödet och lämna huvudflödet. Materialet samlas upp i särskilda uppsamlingssäckar, vilket innebär att det avskiljs från processen och inte längre kan klassas som prima produkt.

Dammbildning vid denna punkt sker kontinuerligt under drift, men uppsamlingssäckarna byts endast enligt rutin i samband med tvättstopp. Det uppsamlade materialet vägs eller kvantifieras inte separat i dagsläget, vilket innebär att det saknas uppmätt data för den exakta mängden material som lämnar processen via denna punkt. Bedömningen av omfattningen baseras därför på intervjuer och observationer. Utifrån det empiriska materialet bedöms mängden vara liten i förhållande till den totala produktionsvolymen och i jämförelse med flera andra utloppspunkter. Det material som samlas upp i säckarna återförs inte till processen och säljs inte heller vidare. Enligt verksamhetens nuvarande hantering går material i stället till förbränning.

Ur ett yield-perspektiv bedöms påverkan vara begränsad, eftersom mängden material som samlas upp vid punkten bedöms vara mycket liten i relation till den totala produktionen.

4.2.2.3 Utloppspunkt 3

Utloppspunkt 3 uppstår i samband med att material som inte uppfyller kvalitetskrav leds bort från huvudflödet till en skrotbox. Skrotboxen utgör en större container där nedklassat material samlas upp när det inte kan fortsätta genom processen som prima produkt. För att materialet ska kunna transporteras till skrotboxen krävs ett luftflöde och ett visst tryck i systemet. I anslutning till denna transport används en cyklon som reglerar hur materialet separeras och förs vidare ned i containern. Vid denna del av processen kan en mindre mängd material följa med luftflödet och lämna processen till atmosfären. Utloppspunkt 3 skiljer sig därmed från de tidigare punkterna eftersom materialet inte samlas upp i en behållare, utan riskerar att lämna

systemet direkt till omgivningen.

Utløppspunkten är inte en del av den normala kontinuerliga driften, utan uppstår endast när material behöver ledas bort på grund av kvalitetsavvikelser. Enligt intervjuer sker detta ungefär fem till tio gånger per år. Någon mätning av hur mycket material som lämnar processen via cyklonen har inte genomförts i dagsläget. Bedömningen baseras därför på intervjuer och observationer, där mängden bedöms vara liten i förhållande till den totala produktionsvolymen. Samtidigt finns en osäkerhet eftersom materialet lämnar processen till atmosfären och därmed inte kan vägas eller följas upp på samma sätt som uppsamlat material.

Utløppspunkt 3 innebär ett materialsvinn eftersom material lämnar huvudflödet utan att bli prima produkt. Ur ett yield-perspektiv bedöms den direkta påverkan från själva utsläppet via cyklonen vara begränsad, eftersom mängden bedöms vara liten och punkten endast uppstår vid ett fåtal tillfällen per år.

4.2.2.4 Utløppspunkt 4

Utløppspunkt 4 har identifierats som en potentiellt betydande materialförlust, men ingår inte i studiens huvudsakliga kvantifiering eftersom punkten främst uppstår vid kvalitetsavvikelser.

Enligt intervjuer sker denna typ av uttag ungefär fem till tio gånger per år. Vid varje tillfälle tas normalt den batch där kvalitetsbristen identifierats ut från processen. Därutöver tas material ut före och efter den aktuella batchen för att minska risken att avvikande material finns kvar i huvudflödet. Den aktuella batchen uppgår till cirka 23 ton, och enligt intervjuer tas vanligtvis omkring 10 ton ut före och 10 ton efter batchen. Den totala materialmängden uppskattas därför till cirka 43 ton per tillfälle.

Om uttaget sker fem till tio gånger per år motsvarar detta cirka 215–430 ton material per år. Uppskattningen bygger dock endast på intervjudata och bör därför tolkas som en ungefärlig storleksordning. Eftersom materialuttaget är kopplat till kvalitetsavvikelser snarare än normal drift inkluderas det inte i den sammanlagda kvantifieringen av yieldpåverkan under normal drift.

4.2.2.5 Utløppspunkt 5

Utløppspunkt 5 utgörs av en vakuumventil som används för att reglera lufttrycket i silon.

Ventilens funktion är att släppa ut luft när trycket i silon behöver utjämnas. I samband med att ventilen öppnas finns det en risk att material följer med luftflödet och lämnar processen till atmosfären. Det material som kan lämna huvudflödet vid denna punkt består främst av damm, men pellets kan åka med ut när ventilen öppnas.

Ingen mätning har i dagsläget genomförts på denna punkt. Utifrån intervjuer och observationer bedöms mängden vara liten i relation till den totala produktionsvolymen. Ur ett yield-perspektiv bedöms påverkan vara begränsad.

4.2.2.6 Utloppspunkt 6

Utloppspunkt 6 är en tratt som binder samman flera ledningar i processen. Materialet som passerar genom denna del av systemet består främst av damm som har avskilts från andra delar av processen. Efter passering genom tratten leds det vidare till utloppspunkt 7. Vid passeringen genom tratten kan damm ta sig ut genom trattens öppna hål och ut i atmosfären. Tratten måste kunna släppa ut luft för att förhindra att systemet imploderar. När luften släpps ut kan även trycket vara tillräckligt för att ta med sig damm.

Någon tidigare kvantifiering har inte gjorts för denna punkt. Vid observationer kunde dock damm noteras på och omkring tratten, vilket visar att material kan lämna systemet vid denna punkt. Enligt intervjuer med ingenjörer bedöms mängden material som lämnar processen via utloppspunkt 6 vara större än vid utloppspunkt 5, men den exakta omfattningen är inte fastställd.

Ur ett yield-perspektiv bedöms påverkan vara begränsad i förhållande till de större materialflödena i processen, eftersom det snarare rör sig om damm än större mängder pellets.

4.2.2.7 Utloppspunkt 7

Utloppspunkt 7 utgörs av uppsamlingen av det material som förs vidare från tratten vid utloppspunkt 6 till dammfiltret. Materialet består främst av damm som har avskilts från olika delar av processen. När damm filtreras bort från processens huvudflöde samlas en stor del av detta material upp i en behållare. Eftersom materialet redan avviker från huvudflödet och inte längre klassas som prima produkt utgör uppsamlingen vid denna punkt ett materialsvinn. Till denna utloppspunkt går även ett flöde av material som kommer från kvalitetskontroll. Allt material som samlas upp i behållaren säljs sedan vidare till kund med lägre kvalitetskrav.

I dagsläget finns ingen kvantifiering av hur mycket material som lämnar processens huvudflöde och hamnar i behållaren som samlar upp materialet vid utloppspunkt 7. Från empiri finns uppskattning om hur många behållare som töms, men eftersom dammet i behållarna kan ha olika densitet är rutinerna inte tillräckligt tillförlitliga för att fastställa den exakta materialvikten. Därmed ger antalet tömningar endast en ungefärlig bild av materialmängden. Tillsammans med schabloniserad vikt på behållaren som uppgår till 650 kg resulterar en veckovis uppskattning i 1,3 ton per vecka, vilket innebär ungefär 68 ton material per år. Av denna uppskattning är det 15 % material som kommer från kvalitetskontroll.

Ur ett yield-perspektiv bedöms punkten vara relevant då materialförlusten är återkommande under normal drift och uppgår till en betydande mängd under en längre tidshorisont. Den uppskattade materialförlusten motsvarar en yieldpåverkan med ungefär 0,13 procentenheter, vilket innebär att denna andel av det totala materialflödet lämnar processen vid utloppspunkt 7 utan att bli prima produkt. Även om procentsatsen är låg i relation till hela produktionsvolymen blir effekten betydande över tid, eftersom förlusten sker kontinuerligt varje vecka.

4.2.2.8 Utloppspunkt 8

Utloppspunkt 8 utgörs av en svanhals som är placerad på en av processens silos. Svanhalsens funktion är att reglera luftflödet i silon genom att ge luften en väg ut när silon fyllts på med material. I samband med att luften trycks ut ur silon finns det en risk att damm eller pellets följer med luftflödet och lämnar processen till atmosfären. Materialet som lämnar processen vid denna punkt kan därmed inte klassas som prima produkt och utgör därmed ett materialsvinn.

Materialförlusten vid denna punkt påverkas av hur luftflödet i systemet är inställt. Om ventilen släpper igenom för mycket luft kan material följa med ut genom svanhalsen. Denna mängd luft varierar beroende på hur mycket pellets som finns i silon. Därmed finns det olika lägen där olika mängd material försvinner ut genom utloppspunkten. Det har observerats att pellets finns på marken kring svanhalsen eller i näten under svanhalsen, medan damm försvinner ut i atmosfären och inte kan uppfattas under observation.

Det finns ingen tidigare direkt mätning av materialsvinnet vid denna specifika utloppspunkt. Däremot har mätningar genomförts på ett liknande utsläppsställe på en annan

produktionslinje, där utsläppet av damm uppmättes till cirka 120 kg per år. Mätningen genomfördes genom att mäta koncentrationen av damm i luften som lämnar svanhalsen. Eftersom produktionslinjerna skiljer sig åt kan resultatet inte överföras till den andra direkt. Genom att justera för skillnader i produktionstakt kan dock en grov uppskattning göras, vilket ger ett uppskattat dammutsläpp på ungefär 50 kg per år för denna utloppspunkt. Denna uppskattning avser endast damm, och inga pellets.

Det finns därmed en viss osäkerhet i kvantifieringen. Dels baseras uppskattningen på mätningar från en annan produktionslinje, dels mäter den tidigare metoden endast damm och inte pellets. Observationer av pellets i näten under svanhalsen visar att även pellets kan förekomma vid punkten, men det saknas i dagsläget data som visar hur stor denna mängd är. Den faktiska materialförlusten kan därför vara något högre än den uppskattade mängden damm.

Ur ett yield-perspektiv bedöms utloppspunkt 8 ha en begränsad påverkan jämfört med de större utloppspunkterna där flera ton material lämnar processen. Den uppskattade mängden damm är relativt liten i förhållande till den totala produktionsvolymen.

4.2.2.9 Utloppspunkt 9

Utloppspunkt 9 är en av processens större identifierade utloppspunkter sett till mängd, och utgörs av ett avstick från det ordinarie pelletsflödet. Punkten används främst i samband med rengöring av utrustning och vid uppstart av processen. I dessa situationer kan materialet inte garanteras uppfylla kraven för prima produkt, exempelvis på grund av kontamineringsrisk efter rengöring eller eftersom additiv ännu inte hunnit blandas in på rätt sätt vid uppstart. Det material som avlägsnas består framför allt av pellets, men kan även innehålla damm. Materialet samlas upp i oktabiner och säljs vidare till kund med lägre kvalitetskrav.

Enligt intervjuer genomförs rengöring av utrustning enligt rutin två gånger per vecka. Vid varje rengöring uppskattas uttaget uppgå till tre oktabiner fyllda med material. Detta innebär att utloppspunkt 9, till skillnad från flera mindre damm-relaterade utloppspunkter, kan ge upphov till betydande materialmängder över tid. Varje oktabin fylld med pellets har en schabloniserad vikt på 900 kg, vilket innebär att materialuttaget vid varje rengöring uppskattas till ca 2,7 ton. Eftersom rengöring sker två gånger per vecka blir det uppskattade veckovisa utloppet från denna punkt 5,4 ton. På årsbasis motsvarar detta ungefär 281 ton

material. I dagsläget vägs dock inte varje oktabin systematiskt, vilket innebär att den exakta mängden material som lämnar processen via denna punkt inte är fastställd av mätdata. Den beräknade mängden bör därför betraktas som en uppskattning baserad på intervjuer, rengöringsfrekvens och schabloniserad vikt per oktabin.

Ur ett yield-perspektiv bedöms punkten vara kritisk, eftersom uttagen sker återkommande och omfattar stora mängder material vid varje tillfälle. Även om materialet samlas upp och inte kasseras direkt innebär det fortfarande en förlust i relation till processens yield, eftersom materialet inte kan säljas som prima produkt. Den uppskattade materialförlusten motsvarar en yieldpåverkan på ungefär 0,56 procentenheter, vilket gör utloppspunkt 9 till den punkt som har störst negativ påverkan på yield bland de kvantifierade utloppspunkterna. En relativt liten procentuell förlust motsvarar en stor materialmängd, eftersom produktionsvolymen är hög och uttaget sker återkommande.

4.2.2.10 Utloppspunkt 10

Utloppspunkt 10 är kopplad till processens vattenflöde, där vatten används för att transportera pellets genom delar av processen. I samband med detta kan damm följa med vattenflödet och successivt samlas upp i en tank. Mängden damm i tanken byggs upp kontinuerligt under produktion och när nivån blir för hög påverkas systemets funktion. Vid dessa tillfällen behöver det uppsamlade materialet avlägsnas från tanken och föras vidare till ett filter. Utloppspunkten är därmed kopplad till ett återkommande materialflöde där damm lämnar huvudflödet och inte längre kan klassas som prima produkt.

Materialet behöver tas ut ur systemet ungefär varannan till var tredje vecka, med en uppskattad frekvens på cirka 2,5 veckor. Den exakta frekvensen är inte känd, och kan variera beroende på hur mycket damm som finns i systemet. Detta innebär att utloppspunkt 10 ger upphov till ett återkommande materialsvinn över tid. I dagsläget finns det dock ingen exakt kvantifiering av hur mycket pelletsmaterial som lämnar vid denna punkt.

Ur ett yield-perspektiv bedöms punkten vara relevant, eftersom materialet byggs upp kontinuerligt under drift och behöver tas ut med återkommande intervall. Den exakta yieldpåverkan är dock osäker eftersom mängden torrt material inte kvantifieras separat i dagsläget.

4.2.2.11 Utloppspunkt 11

Utloppspunkt 11 är kopplad till kvalitetssäkring i processen. Denna kvalitetssäkring avskiljer material som inte uppfyller vissa krav för att säkerställa att oönskade partiklar eller avvikelser inte fortsätter vidare i huvudflödet mot prima produkt. Det material som avskiljs vid denna punkt samlas upp i en small bin och kan därefter inte längre klassas som prima produkt. Därmed utgör materialet ett materialsvinn i relation till produktionsprocessen.

Enligt intervjuer och uppskattningar från produktionen fylls ungefär en small bin per månad vid denna utloppspunkt. En small bin har en schabloniserad vikt på ungefär 600 kg. Detta innebär att materialförlusten vid utloppspunkt 11 uppskattas till ungefär 0,14 ton per vecka, vilket motsvarar ungefär 7,2 ton per år.

Ur ett yield-perspektiv bedöms utloppspunkt 11 vara relevant. Den uppskattade materialförlusten motsvarar en påverkan på yield med ungefär 0,02 procentenheter.

4.2.2.12 Utloppspunkt 12

Utloppspunkt 12 är kopplad till processens kvalitetskontroll, där en del av materialet tas ut för kontroll av produktens kvalitet. När materialet har genomgått kvalitetskontrollen kan det inte återföras till huvudflödet och kan därmed inte längre klassas som prima produkt. Materialet samlas i stället upp i en small bin och säljs vidare till kund med lägre kvalitetskrav.

Enligt intervjuer töms behållaren ungefär en gång per vecka. Behållaren är en small bin, men eftersom materialets form förändras efter kvalitetskontrollen packas det inte lika tätt som pellets. Detta innebär att behållaren rymmer en lägre vikt. En hel fraktion av small bins fyllda med det kvalitetskontrollerade materialet väger 6 688 kg, och en fraktion rymmer 22 behållare. Den schabloniserade vikten för en fylld behållare vid denna punkt uppskattas därför till ungefär 304 kg. Detta innebär att materialförlusten vid utloppspunkt 12 uppskattas till ungefär 304 kg per vecka, vilket motsvarar ungefär 15,8 ton per år.

Ur ett yield-perspektiv bedöms utloppspunkt 12 vara relevant eftersom material regelbundet lämnar huvudflödet och inte kan säljas som prima produkt. Den uppskattade materialförlusten motsvarar en yieldpåverkan med ungefär 0,03 procentenheter, och återkommer regelbundet. Precis som utloppspunkt 11 är dock detta ett nödvändigt materialsvinn för att kunna kvalitetssäkra produkten.

4.2.2.13 Utloppspunkt 13

Utløppspunkt 13 är kopplad till fyllning av exempelvis oktabiner eller greentainers. När oktabinen fylles trängs luft undan, vilket gör att luften behöver ledas bort genom ett utsug. I samband med detta kan pellets från processen följa med luftflödet och detta samlas sedan upp i en mindre behållare.

Punkten har inte kvantifierats eftersom det saknas tillgängliga data över mängden uppsamlat material. Utifrån observationer bedöms dock mängden vara liten i förhållande till produktionsvolymen, vilket innebär att yieldpåverkan bedöms vara minimal.

4.2.3 Summerande tabell av samtliga utløppspunkter

För att skapa en samlad överblick över forskningsfråga 2 sammanställs här de identifierade utløppspunkterna utifrån uppskattad materialmängd, materialtyp, påverkan på yield, efterhantering, befintliga mätdata, datakällor och osäkerhet.

Tabell 5. *Sammanställning av samtliga identifierade utløppspunkter med uppskattad materialmängd, materialtyp, påverkan på yield, efterhantering, befintliga mätdata, datakällor samt bedömd osäkerhet.*

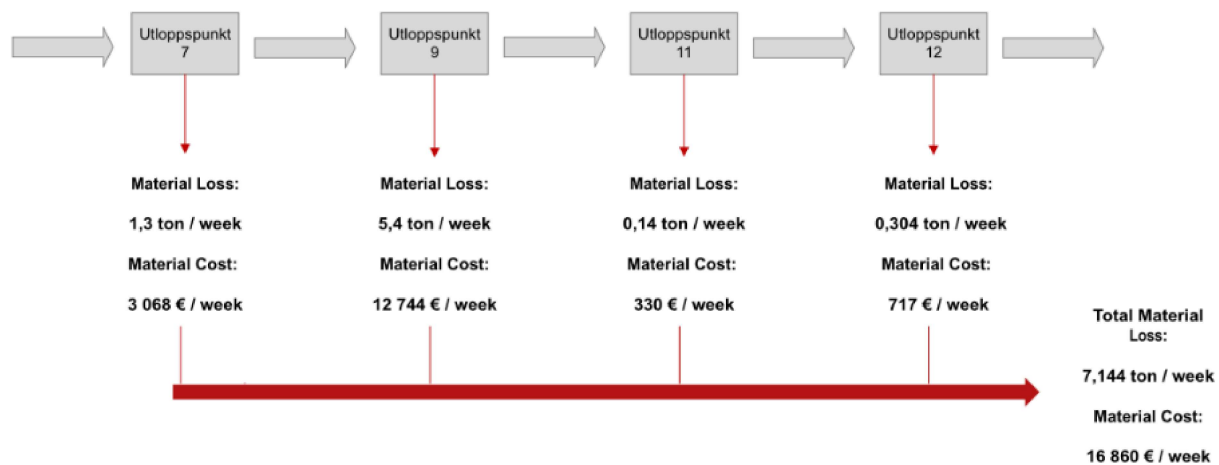
Utloppspunkt	Uppstår under normal drift?	Uppskattad mängd material (ton per vecka)	(ton per år)	Materialtyp	Påverkan på Yield	Efterhantering
1	Ja	Ej kvantifierad, bedöms mycket låg		Damm	Låg	Förbränning
2	Ja	Ej kvantifierad, bedöms låg		Damm	Låg	Förbränning
3	Nej	Ej kvantifierad, bedöms låg		Damm/pellets	Låg	Atmosfär/marken
4	Nej	Händelsebaserad	215-430	Främst pellets	Hög	Försäljning till 16% av ordinarie pris
5	Ja	Ej kvantifierad, bedöms låg		Damm/pellets	Låg	Atmosfär/marken
6	Ja	Ej kvantifierad, bedöms låg		Damm	Låg	Atmosfär
7	Ja	1,3	67,6	Damm	Hög	Försäljning till 16% av ordinarie pris
8	Ja	0,001	0,05	Damm/pellets	Låg	Atmosfär/marken
9	Ja	5,4	280,8	Främst pellets	Hög	Försäljning till 16% av ordinarie pris
10	Ja	Ej kvantifierad, bedöms låg		Damm	Låg	Förbränning
11	Ja	0,14	7,2	Pellets	Medel	Försäljning till 16% av ordinarie pris
12	Ja	0,3	15,8	Kvalitetskontrollerat	Medel	Försäljning till 16% av ordinarie pris
13	Ja	Ej kvantifierad, bedöms låg		Pellets	Låg	Förbränning

Utloppspunkt	Befintlig mätdata	Datakällor	Osäkerhet
1	Nej	Intervjuer, observationer, dokument	Låg
2	Nej	Intervjuer, observationer, dokument	Hög - ingen vägning, endast bedömd mängd
3	Nej	Intervjuer, observationer, dokument	Hög - lämnar till atmosfär och kan inte följas upp
4	Nej	Intervjuer, dokument	Hög - stor variation, bygger på uppskattad frekvens
5	Nej	Intervjuer, observationer, dokument	Hög - ingen mätning
6	Nej	Intervjuer, observationer, dokument	Hög - material syns men mängd ej fastställd
7	Nej	Rutiner, noteringar, intervjuer, dokument	Medel - varierande densitet och ofullständiga mätningar
8	Nej	Tidigare mätning, intervjuer, dokument	Hög - uppskattning gäller endast damm, pellets ej kvantifierat
9	Nej	Rutiner, intervjuer, dokument	Medel - frekvens är känd men exakt vägning saknas
10	Nej	Intervjuer, observationer, dokument	Hög - material blandat med vatten, torrsvikt okänd
11	Nej	Rutiner, intervjuer, dokument	Medel - frekvens är känd men exakt vägning saknas
12	Nej	Rutiner, intervjuer, dokument	Medel - frekvens är känd men exakt vägning saknas
13	Nej	Intervjuer, observationer, dokument	Hög - mängd saknas

Som det framgår av tabell 5 varierar de olika utloppspunkterna både avseende materialflöde, hantering och osäkerhet i underlaget till resultatet. Ingen av utloppspunkterna har kunnat kvantifieras med full säkerhet, utan samtliga utgör uppskattningar med olika nivå av osäkerhet.

4.2.4 MFCA-analys av identifierade materialförluster

För de utloppspunkter som har kunnat kvantifieras under normal drift visar MFCA-sammanställningen att utloppspunkt 7, 9, 11 och 12 tillsammans motsvarar ett uppskattat materialsvinn på 7,144 ton per vecka.



Figur 3. MFCA-kartläggning av materialsvinn vid utloppspunkt 7, 9, 11 och 12.

Figur 3 visar hur materialsvinnet fördelas mellan de fyra olika kvantifierade utloppspunkterna. Utloppspunkt 9 står för den största materialförlusten, med 5,4 ton per vecka. Utloppspunkt 7 står för den näst största materialförlusten, med 1,3 ton per vecka. Utloppspunkt 11 och 12 motsvarar mindre materialförluster med 0,14 respektive 0,304 ton per vecka. Sammantaget uppgår den beräknade materialkostnaden för dessa fyra utloppspunkter till 16 860 euro per vecka.

Kostnadsberäkningen i MFCA-kartläggningen baseras på marknadspriset vecka 18 2026 för LDPE GP från PlasticPortal (PlasticPortal, 2026). Det använda priset uppgår till 2 360 euro per ton och används som schablonvärde för att uppskatta materialsvinnets ekonomiska betydelse. Eftersom priset baseras på ett externt marknadspris bör resultatet inte tolkas som en exakt intern kostnad för Borealis, utan som en uppskattning av materialsvinnets ekonomiska storlek.

I tabell 6 redovisas de kvantifierade utloppspunkternas yldpåverkan samt beräknad kostnad på årsbasis över en femårsperiod. Yldpåverkan har beräknats genom att dividera respektive utloppspunkts uppskattade materialsvinn per vecka med den genomsnittliga veckovisa inputen under den studerade perioden. Den nominellt ackumulerade kostnaden under fem år beräknas utan diskontering och utgår från att materialpris, produktionstakt och materialförlusternas omfattning är oförändrade. Tabellen redovisar även den ekonomiska potentialen, där 16 procent av materialets ordinarie värde återfås genom försäljning till kund med lägre kvalitetskrav.

Tabell 6. Sammanställning av kvantifierade utloppspunkters yieldpåverkan, kostnad per år, nominellt ackumulerad kostnad och ekonomisk potential över fem år.

Utloppspunkt	Yieldpåverkan	Kostnad per år	Nominell ackumulerad kostnad under 5 år	Ekonomisk potential 5 år
7	0,13%	159 536 €	797 680 €	670 051 €
9	0,56%	662 688 €	3 313 440 €	2 783 290 €
11	0,02%	16 992 €	84 960 €	71 366 €
12	0,03%	37 307 €	186 534 €	156 689 €
Summa	0,74%	876 523 €	4 382 614 €	3 681 396 €

Beräkningarna i tabell 6 bygger på samma schablonpris för LDPE GP som användes i MFCA-kartläggningen. Den ekonomiska potentialen avser kvarvarande materialvärde efter antagandet att 16 procent av materialets ordinarie värde återfås genom försäljning till kund med lägre kvalitetskrav.

Tabell 6 visar att de fyra kvantifierade utloppspunkterna tillsammans motsvarar en yieldpåverkan på 0,74 procentenheter. Den beräknade kostnaden uppgår till ungefär 876 500 euro per år. Över en femårsperiod motsvarar detta en nominell ackumulerad kostnad på ungefär 4,38 miljoner euro.

Den största delen av den beräknade kostnaden är kopplad till utloppspunkt 9, som uppgår till 662 688 euro per år. Utloppspunkt 7 motsvarar 159 536 euro per år, medan utloppspunkt 11 och 12 motsvarar 16 992 respektive 37 307 euro per år. Efter antagandet att 16 procent av materialets ordinarie värde återfås genom försäljning uppgår den sammanlagda ekonomiska potentialen till 3 681 396 euro över fem år.

De kvantifierade utloppspunkterna under normal drift motsvarar sammanlagt en yieldpåverkan på 0,74 procentenheter. Detta kan jämföras med den totala differensen mellan input och prima produkt, som uppgår till 8,2 procentenheter. De kvantifierade punkterna förklarar därmed ungefär 9 % av den totala yieldförlusten.

Utloppspunkterna 11 och 12 är utloppspunkter som är kopplade till kvalitetskontroll. Om utloppspunkt 11 och 12 exkluderas från den potentiella ökningen av yield återstår utloppspunkt 7 och 9. Dessa motsvarar tillsammans en yieldpåverkan på 0,69 procentenheter och en uppskattad kostnad på 822 224 euro per år. Över en femårsperiod motsvarar detta en nominell ackumulerad kostnad på 4 111 120 euro, under samma antaganden om

produktionstakt, materialpris och förlustnivåer. Med hänsyn till att 16 procent av värdet återfås genom försäljning till kund med lägre kvalitetskrav blir den uppskattade ekonomiska potentialen över 5 år 3 453 341 euro.

5. Diskussion

Detta kapitel diskuterar studiens resultat i relation till forskningsfrågorna. Diskussionen behandlar först hur kartläggningen och kvantifieringen kan förstås, därefter ekologisk hållbarhet, studiens begränsningar samt rekommendationer för vidare arbete inom Borealis och framtida studier.

5.1 Samlad tolkning av resultaten

I detta avsnitt diskuteras studiens huvudsakliga resultat utifrån de två forskningsfrågorna.

5.1.1 Diskussion: Forskningsfråga 1

Resultatet från kartläggningen i forskningsfråga 1 och de befintliga P&ID-ritningarna visar att de två sätten att beskriva processen fyller olika funktioner, men också att de kompletterar varandra. P&ID-ritningarna gav en grund för att förstå produktionsprocessens tekniska struktur och gjorde det möjligt att följa materialets tänkta väg genom processen. Samtidigt framkom begränsningar med att enbart utgå från P&ID-ritningarna. Under observationerna framgick att vissa flöden som enligt ritningarna främst var avsedda att föra luft till atmosfären även kunde medföra material. Det finns därför en risk att en analys som enbart bygger på ritningarna följer hur processen är tänkt att fungera, snarare än hur den fungerar i praktiken. Detta kan leda till att mindre synliga utloppspunkter förbises. Därmed är P&ID-ritningar inte tillräckliga som enda underlag för att analysera materialsvinn.

Den framtagna kartläggningen hade i detta avseende en annan funktion. I den riktades fokus på var material lämnar huvudflödet och inte för att beskriva processens olika steg. Genom att markera dessa punkter explicit blev det lättare att identifiera var i processen svinn uppstår och att avgränsa vilka delar som är mest relevanta för fortsatt analys. Kartläggningen gav också en mer relevant informationsnivå för studiens syfte, eftersom den reducerade den tekniska komplexiteten och i stället lyfte fram just de aspekter som är viktiga för att förstå materialsvinnet.

Resultatet från frågeställning 1 hade även betydelse för den fortsatta analysen i studien. Genom att utloppspunkterna lokaliserades och kartlades skapades ett underlag för att senare kunna kvantifiera materialsvinnet och analysera dess påverkan på yield. Frågeställning 1 utgjorde därmed en förutsättning för att kunna besvara frågeställning 2. Utan en tydlig

identifiering av var material lämnar processen hade det varit svårt att avgöra vilka flöden som skulle inkluderas i den fortsatta kvantifieringen.

5.1.2 Diskussion: Forskningsfråga 2

Den kvantifierade yieldpåverkan som redovisas i resultatet kan, sett till hela processens volym, framstå som relativt begränsad. Samtidigt visar omräkningen till monetära värden att även en till synes liten yieldförlust kan få betydande ekonomiska konsekvenser över tid. Detta beror på att produktionsvolymen är hög och att återkommande materialförluster därför ackumuleras till stora mängder material. Resultatet visar därför att materialsvinnet bör förstås både som en materialeffektivitetsförlust och som ett ekonomiskt värdebortfall. Eftersom en del av materialets värde återfås genom försäljning till kund med lägre kvalitetskrav bör den ekonomiska potentialen däremot inte likställas med den totala beräknade materialkostnaden. Den bör snarare förstås som ett uppskattat beslutsunderlag för vidare analys av förbättringsmöjligheter.

Den ekonomiska potentialen bör dock inte tolkas som en direkt realiserbar besparing, utan som en uppskattning av den ekonomiska storleksordning som är kopplad till de kvantifierade materialförlusterna. Det är sannolikt svårt att uppnå den fulla potentialen, eftersom samtliga utloppspunkter inte kan reduceras utan att samtidigt påverka processens funktion eller produktens kvalitet. Detta gäller särskilt utloppspunkt 11 och 12, som är kopplade till kvalitetssäkring och kvalitetskontroll. För dessa punkter fyller materialuttaget en nödvändig funktion, vilket innebär att de inte bör betraktas som primära förbättringsområden eftersom en reduktion av dem skulle kunna medföra risker för produktkvaliteten. Den ekonomiska potentialen bör därför förstås som ett underlag för prioritering och vidare analys, snarare än som ett värde som fullt ut kan omsättas till faktisk kostnadsbesparing.

Resultatet bör inte heller tolkas som en fullständig förklaring av processens totala materialförlust, utan som en kvantifiering av de materialflöden som har kunnat kopplas till normal drift och där tillräckligt empiriskt underlag funnits. Resterande del beror på materialförluster vid kvalitetsavvikelser, driftstörningar och stopp- och uppstarter av produktionen. Dessa är inte inkluderade i studiens kvantifiering. Utloppspunkt 4 illustrerar detta, eftersom den uppskattas motsvara 215–430 ton per år men främst uppstår vid kvalitetsavvikelser. Detta visar att resultatet främst bör förstås som en avgränsad analys av återkommande materialsvinn under normal drift, snarare än som en förklaring av processens

totala yieldförlust.

5.2 Resultatets relation till produktionsprocessens ekologiska hållbarhet

Resultatet visar att utloppspunkternas ekologiska betydelse skiljer sig åt beroende på materialmängd och hur materialet hanteras efter att det lämnat huvudflödet. De utloppspunkter där större mängder material samlas upp i behållare och säljs vidare till kund med lägre kvalitetskrav innebär en tydlig yieldpåverkan, eftersom materialet inte längre kan klassas som prima produkt. Ur ett ekologiskt hållbarhetsperspektiv är dessa punkter dock mindre kritiska än direkta utsläpp till atmosfären, eftersom materialet fortfarande tas tillvara på och kan användas i annan verksamhet. Nedklassningen innebär dock ett mindre effektivt utnyttjande av de resurser som redan använts i processen. Eftersom materialet redan har genomgått en resurs- och energikrävande produktionsprocess kvarstår en stor del av den miljöpåverkan som uppstått tidigare i kedjan, samtidigt som det ekonomiska värdet av materialet minskar. Detta innebär att koldioxidutsläpp per värdeadderad enhet kan öka när materialet lämnar huvudflödet och inte säljs som prima produkt.

Eftersom de kvantifierade materialförlusterna motsvarar ett uppskattat materialvärde på cirka 876 500 euro per år innebär detta även att den värdeaddering som erhålls från processen reduceras. Om processens koldioxidutsläpp antas vara oförändrade innebär en lägre värdeaddering att koldioxidutsläpp per värdeadderad enhet ökar. Detta innebär att materialsvinnet inte endast en ekonomisk förlust, utan även en försämring av processens ekologiska resurseffektivitet.

De utloppspunkter där material lämnar processen direkt till atmosfären bedöms vara mer kritiska ur ett ekologiskt hållbarhetsperspektiv, särskilt när materialet lämnar processen i dammform. Till skillnad från material som samlas upp i behållare tas detta material inte tillvara, utan kan spridas utanför processens kontrollerade huvudflöde. I denna studie har de atmosfäriska utloppspunkterna dock inte kunnat kvantifieras, vilket gör att det är svårt att fastställa deras faktiska påverkan på den ekologiska hållbarheten. Samtidigt ska dessa utloppspunkter inte tolkas som att Borealis överskrider gällande miljökrav eller utsläppsvillkor, då utsläppen är inom tillåtna intervall. Den ekologiska relevansen ligger i stället främst i resurseffektivitet och minskat materialsvinn, eftersom material som redan har producerats inte nyttjas fullt ut som prima produkt. Vidare studier kan därför riktas mot att mäta och kvantifiera hur mycket material som lämnar processen vid respektive atmosfärisk

utloppspunkt. En sådan kvantifiering skulle ge ett mer tillförlitligt underlag för att bedöma vilka utloppspunkter som bör prioriteras i framtida förbättringsarbete.

5.3 Begränsningar och datakvalitet

Studien har flera begränsningar som bör beaktas vid tolkningen av resultatet. Dessa begränsningar berör både kartläggningen av utloppspunkter i forskningsfråga 1 och kvantifieringen av materialsvinn och yieldpåverkan i forskningsfråga 2.

5.3.1 Begränsningar forskningsfråga 1

En första begränsning är kopplad till kartläggningen av produktionsprocessen och identifiering av utloppspunkter. Den framtagna processkartläggningen är en förenklad representation av en tekniskt komplex produktionsprocess. Förenklingen har varit nödvändig för att kunna skapa en överskådlig bild av huvudflöde, avvikande flöden och utloppspunkter, men innebär samtidigt att alla tekniska detaljer inte återges fullt ut. Resultatet från forskningsfråga 1 bör därför förstås som en kartläggning av de utloppspunkter som har kunnat identifieras, och inte som en detaljerad teknisk beskrivning av hela produktionssystemet.

En ytterligare begränsning för forskningsfråga 1 är att P&ID-ritningarna främst visar processens formella och tekniska struktur. De har varit viktiga för att följa materialets tänkta väg genom processen, men de visar inte alltid hur materialflöden beter sig i praktiken. Under observationerna framkom exempelvis att vissa flöden som enligt ritningarna främst var kopplade till luft även kunde medföra materialförluster. Observationerna minskade denna risk, men innebär samtidigt en egen begränsning. Observationer ger en bild av processen vid de specifika tillfällen då de genomförs och fångar därmed inte nödvändigtvis all variation som kan uppstå över tid. Detta innebär att vissa utloppspunkter kan vara svåra att identifiera med säkerhet utan mer långsiktig uppföljning.

För att bemöta denna risk har intervjuer och ostrukturerade samtal genomförts med personer som har erfarenhet av processen. Detta har stärkt studiens data om de praktiska materialflödena med erfarenhetsbaserad kunskap. Sådan kunskap är viktig i en komplex produktionsprocess, men kan också påverkas av respondenternas roll, erfarenhet och vilken del av processen de arbetar med. Det kan därför finnas utloppspunkter eller driftvariationer

som inte har framkommit tydligt i intervjuerna. För att minska denna osäkerhet har information från dokument, observationer och intervjuer triangulerats.

En begränsning med metodtrianguleringen är att olika datakällor inte alltid ger helt samstämmiga resultat. Dokumentgenomgången visar främst hur processen är avsedd att fungera, medan observationer och intervjuer kan synliggöra hur processen fungerar i praktiken. När dessa källor skiljer sig åt krävs därför en tolkning av vilken källa som är mest relevant för den aktuella frågan. I denna studie har observationer och intervjuer använts för att komplettera och kontrollera information från P&ID-ritningar, men skillnader mellan källorna innebär samtidigt att resultatet påverkas av forskarnas bedömningar. Triangulering stärker därmed studiens trovärdighet, men eliminerar inte osäkerhet i datainsamling och analys.

5.3.2 Begränsningar forskningsfråga 2

En utmaning i studien är att allt material som inte resulterar i prima produkt inte har kunnat kvantifieras. I processen finns exempelvis filter där material, som främst är damm, har samlats, men där är mängden svår att kvantifiera på ett tillförlitligt sätt. Dessa filter har därför inte inkluderats i den kvantitativa beräkningen. Tillsammans med övriga utloppspunkter som inte har kunnat kvantifieras innebär detta att den beräknade mängden materialsvinn bör anses som en miniminivå, snarare än en fullständig uppskattning av det totala materialsvinnet.

Eftersom Borealis i dagsläget inte systematiskt kvantifierar mängden material som lämnar processen vid samtliga utloppspunkter, har beräkningarna för vissa punkter behövt baseras på intervjuer med erfaren driftpersonal. Detta innebär att delar av resultatet bygger på erfarenhetsbaserade uppskattningar snarare än dokumenterade mätdata. Driftpersonalen arbetar enligt ett rullande femveckorsschema, vilket innebär att olika personer kan vara involverade vid tömning av behållare och andra uppsamlingspunkter. För att minska osäkerheten har därför information hämtats från personer med flera års erfarenhet av processen, vilket bedöms öka trovärdigheten i uppskattningarna.

En ytterligare begränsning är att mänskliga fel kan påverka mängden material som lämnar processen. Felaktig hantering, avvikelser från rutiner eller misstag vid drift kan leda till större materialförluster än vad som uppstår vid normal drift. Denna typ av variation har dock avgränsats från studien, eftersom fokus har legat på den normala driften snarare än på individuella handhavandefel. Det innebär att studiens resultat främst speglar materialsvinn

kopplat till processens utformning och normala driftförhållanden, medan förluster orsakade av mänskliga fel inte har kvantifierats.

En begränsning finns även i relation till beräkningen av yield. Yelden har beräknats utifrån total input och mängden prima produkt under den studerade perioden. Eftersom studien endast kvantifierar de identifierade utloppspunkter som uppstår under normal drift, förklarar resultatet inte hela differensen mellan input och prima produkt. De kvantifierade utloppspunkterna visar därför endast en del av den totala yieldförlusten. Resultatet bör därmed tolkas som en uppskattning av de materialförluster som har kunnat identifieras och kvantifieras inom studiens avgränsning, snarare än som en fullständig redovisning av alla orsaker till processens yieldförlust.

De ekonomiska beräkningarna innebär också en begränsning. Materialsvinnets ekonomiska värde har beräknats med hjälp av externt marknadspris för LDPE och ska därför inte förstås som Borealis exakta interna kostnad. Beräkningen av ackumulerad kostnad över fem år bygger dessutom på antagandet att materialpris, produktionstakt och materialförlusternas omfattning är oförändrade över tid. Den ekonomiska analysen bör därför ses som ett sätt att synliggöra materialsvinnets storleksordning och ungefärlig kostnad, snarare än en fullständig investeringskalkyl.

5.4 Rekommendationer till Borealis

Baserat på studiens resultat och identifierade begränsningar presenteras i detta avsnitt rekommendationer till Borealis. Rekommendationerna utgår från den genomförda processkartläggningen, de identifierade utloppspunkterna och de materialförluster som kunnat kvantifieras inom studiens avgränsning. Fokus ligger därmed inte på att föreslå nya tekniska lösningar, utan på hur resultatet kan användas som underlag för prioritering, uppföljning och vidare analys.

5.4.1 Använd de kvantifierade utloppspunkterna som prioriteringsunderlag

Studiens resultat visar att utloppspunkt 7, 9, 11 och 12 är de utloppspunkter som kunnat kvantifieras under normal drift. Dessa punkter bör därför användas som ett första prioriteringsunderlag i Borealis fortsatta arbete med att minska materialsvinn. Eftersom dessa utloppspunkter har kunnat kopplas till både materialmängd, yieldpåverkan och uppskattat försäljningsvärde ger de ett mer konkret beslutsunderlag än de utloppspunkter som endast

kunnat beskrivas kvalitativt.

Särskilt utloppspunkt 9 bör prioriteras i fortsatt uppföljning, eftersom den står för den största delen av det kvantifierade materialsvinnet. Genom att inledningsvis fokusera på de utloppspunkter där materialförlusten är störst kan Borealis rikta förbättringsarbetet mot de delar av processen där återkommande svinn har störst betydelse över tid. Detta innebär inte att övriga utloppspunkter saknar betydelse, men att de kvantifierade punkterna utgör ett mer tillförlitligt underlag för initial prioritering.

Resultatet bör därför användas som en grund för att bedöma vilka utloppspunkter som bör följas upp närmare, vilka förluster som är mest återkommande och vilka delar av processen som bör analyseras vidare innan eventuella åtgärder genomförs. På så sätt kan studiens resultat fungera som ett praktiskt stöd i Borealis fortsatta förbättringsarbete.

5.4.2 Använd kartläggningen som grund för fortsatt uppföljning

Den WFM-inspirerade processkartläggningen kan användas som ett gemensamt underlag för att synliggöra var material lämnar huvudflödet. Kartläggningen gör det möjligt att skilja mellan huvudflöde, avvikande flöden och utloppspunkter, vilket kan underlätta kommunikationen mellan olika funktioner inom verksamheten. Detta är särskilt relevant eftersom materialsvinnet inte är koncentrerat till en enskild del av processen, utan uppstår vid flera olika processteg.

Borealis kan använda kartläggningen för att skapa en tydligare struktur i det fortsatta arbetet med materialsvinn. Genom att utgå från de identifierade utloppspunkterna kan uppföljning, diskussioner och eventuella förbättringsinsatser kopplas till specifika delar av processen. Kartläggningen kan även användas för att tydliggöra vilka utloppspunkter som uppstår under normal drift och vilka som främst är kopplade till avvikande händelser. Denna åtskillnad är viktig eftersom olika typer av materialförluster kräver olika typer av vidare analys.

5.4.3 Stärk datakvaliteten vid de utloppspunkter som redan kan följas upp

En begränsning i studien är att flera materialförluster har behövt uppskattas utifrån observationer, intervjuer, tömningsfrekvens och schabloniserade vikter. För att Borealis ska kunna använda resultatet mer tillförlitligt över tid bör datakvaliteten därför stärkas vid de utloppspunkter där material redan samlas upp i behållare eller på annat sätt är möjligt att följa

upp.

Detta bör i första hand göras vid de utloppspunkter som studien har visat är mest betydande under normal drift. Genom att följa upp mängden material vid dessa punkter över tid kan Borealis kontrollera om de uppskattade materialförlusterna i studien är representativa för normal produktion. En sådan uppföljning skulle även kunna visa om materialsvinnet varierar mellan olika produktkvaliteter, driftförhållanden eller tidsperioder.

5.5 Resultatets relation till studiens syfte

Studiens syfte var att kartlägga och kvantifiera materialsvinn i produktionsprocessen för polyeten vid LDCo genom att identifiera de utloppspunkter där material lämnar processens huvudflöde. Syftet var även att kvantifiera de utloppspunkter som uppstår under normal drift och analysera deras påverkan på processens yield och uppskattad kostnad. Resultaten visar att studien i huvudsak har uppfyllt detta syfte, eftersom produktionsprocessens huvudflöde har kartlagts, utloppspunkter har identifierats och de materialflöden som varit möjliga att kvantifiera har relaterats till processens yield, och materialsvinnets uppskattade kostnad har beräknats.

Resultatet från processkartläggningen visar att materialsvinnet uppstår på flera delar av processen där material avviker från huvudflödet och inte längre kan klassas som prima produkt. Genom att identifiera 13 utloppspunkter har studien därmed skapat en mer detaljerad förståelse för var i processen material lämnar systemet. Detta uppfyller den del av syftet som handlar om att synliggöra materialsvinnets lokalisering och skapa en tydligare bild av processens struktur. Den kvantitativa delen av syftet har uppfyllts i den utsträckning som tillgängligt empiriskt underlag har möjliggjort. För de utloppspunkter där material samlas upp i behållare och där tömningsfrekvens eller schabloniserade vikter har kunnat användas har materialsvinnets mängd och kostnad kunnat uppskattas och relateras till yield. Detta innebär att studien inte enbart visar var material lämnar processen, utan även ger en uppskattning av vilka utloppspunkter som har störst påverkan på yield och störst uppskattad kostnad.

Syftet har uppfyllts inom ramen för studiens avgränsningar, men kvantifieringen har inte kunnat genomföras med full precision för samtliga utloppspunkter. Flera utloppspunkter har endast kunnat beskrivas kvalitativt, eftersom det saknas tillförlitliga mätdata över materialmängderna. Dessutom omfattar studiens huvudsakliga kvantifiering endast

materialsveinn som uppstår under normal drift. Materialförluster som främst uppstår vid kvalitetsavvikelser, driftstörningar eller stopp- och uppstarter har identifierats och diskuterats, men ingår inte i den huvudsakliga beräkningen av yieldpåverkan.

6. Slutsats

I detta kapitel presenteras studiens slutsats i relation till syfte och forskningsfrågor. Därefter behandlas hur resultatet kan användas som underlag för vidare tillämpning och fortsatta studier.

6.1 Slutsats

Studien visar att materialsvinn uppstår på flera platser i produktionsprocessen vid LDCo. Totalt identifierades 13 utloppspunkter där material lämnar processens huvudflöde och därmed inte längre kan bli prima produkt.

Av dessa kunde fyra utloppspunkter kvantifieras under normal drift: utloppspunkt 7, 9, 11 och 12. Tillsammans motsvarar dessa ett uppskattat materialsvinn på cirka 7,14 ton per vecka och en påverkan på processens yield med cirka 0,74 procentenheter. Materialsvinnets uppskattade kostnad från de fyra kvantifierade utloppspunkterna uppgår till ungefär 876 500 euro per år, baserat på det schablonpris som används i studien. Utloppspunkt 9 står för den största materialförlusten, med cirka 5,4 ton per vecka, och är därmed den mest betydande utloppspunkten ur ett förbättringsperspektiv.

Processens totala yield beräknades till 91,8 procent. De kvantifierade utloppspunkterna förklarar endast ungefär 9 procent av den totala differensen mellan input och prima produkt. Resultatet ska därför ses som en kartläggning och kvantifiering av de materialförluster som kunnat identifieras och uppskattas under normal drift, snarare än en fullständig förklaring av processens totala yieldförlust.

Slutsatsen är att studien har skapat en tydligare bild av var material lämnar processen, vilka utloppspunkter som har störst betydelse för yield och materialsvinnets kostnad. För att förbättra underlaget för framtida förbättringsarbete bör Borealis införa mer systematisk vägning och dokumentation av material som lämnar processen vid utloppspunkterna.

6.2 Vidare tillämpning och förslag till fortsatta studier

I detta avsnitt diskuteras hur studiens arbetssätt kan tillämpas vidare och vilka områden som bör undersökas i framtida studier.

6.2.1 Vidare tillämpning av studiens arbetssätt

Studiens tillvägagångssätt bedöms kunna användas även på andra produktionslinjer inom Borealis samt i andra verksamheter där materialflöden och materialförluster behöver tydliggöras. Arbetssättet är inte begränsat till polyetenproduktion, utan kan vara relevant i andra typer av processer där ett materialflöde går att följa från input till färdig produkt och där material kan lämna huvudflödet.

Ett första steg i ett sådant arbete kan vara att kartlägga processens huvudsakliga input och output. Om det finns en betydande skillnad mellan inkommande material och färdig produkt kan det finnas anledning att undersöka var i processen material lämnar huvudflödet. I ett sådant arbete kan processkartläggning användas för att skapa en överskådlig bild av processens huvudsakliga steg (Aguilar-Savén, 2004). WFM kan därefter användas för att identifiera var material lämnar huvudflödet och för att synliggöra materialförluster och ineffektiv resursanvändning i produktionen (Kurdve et al., 2015). MFCA kan dessutom bidra till att tydliggöra att materialförluster inte enbart innebär ett fysiskt svinn, utan även har betydelse för ekonomi och resurseffektivitet (Guenther et al., 2015). Arbetssättet kan därmed fungera som ett stöd för att identifiera utloppspunkter och skapa ett underlag för vidare förbättringsarbete.

6.2.2 Jämförelse med tidigare WFM-studier

I relation till tidigare forskning skiljer sig denna studie från Kurdve et al. (2015) framför allt genom var i materialflödet analysen placeras. Kurdve et al. använder WFM för att analysera materialförluster i ett bredare avfallshanteringssystem, där studien inte enbart omfattar var avfall uppstår utan även hur det samlas in, sorteras, hanteras internt och behandlas vidare. WFM beskrivs där som en metod för att kartlägga avfallsströmmar och förbättra hållbarheten i avfallshanteringen. Denna studie analyserar däremot inte hela avfallshanteringskedjan, utan fokuserar på själva produktionsprocessen och de punkter där material lämnar huvudflödet. Skillnaden är därför att Kurdve et al. (2015) även studerar materialet efter att det har blivit ett avfallsflöde, medan denna studie begränsas till det moment där materialförlusten uppstår. Examensarbetet använder därmed WFM som ett stöd för att förstå var materialeffektiviteten brister i produktionen, snarare än som ett verktyg för att optimera avfallshanteringen.

6.2.3 Fortsatt forskning

Fortsatta studier kan bygga vidare på denna studies kartläggning genom att rikta större fokus mot orsakerna bakom materialsvinnet. Eftersom denna studie främst har fokuserat på att identifiera utloppspunkter och kvantifiera materialsvinn under normal drift, finns det behov av att undersöka hur materialförluster påverkas av exempelvis kvalitetsfel, stopp, uppstarter, och andra avvikande driftsituationer. Detta skulle kunna ge en mer heltäckande bild av företagets totala materialförluster och skapa bättre underlag för riktade förbättringsåtgärder.

Ett område som är särskilt relevant för fortsatta studier är utloppspunkt 9 eftersom denna punkt står för den största kvantifierade materialförlusten. Vidare undersökningar kan därför fokusera på varför material behöver tömmas vid denna punkt och vilka åtgärder som skulle kunna minska mängden. Exempelvis skulle olika rengöringsrutiner eller rengöringsmetoder kunna studeras och jämföras för att undersöka om materialförlusten kan reduceras utan att öka risken för kontaminering eller kvalitetsproblem.

Även utloppspunkt 7 kan studeras vidare. En fortsatt studie skulle kunna undersöka var i processen dammet främst bildas och om mängden varierar beroende på exempelvis produktkvalitet. Genom att mäta dammängder vid olika delar av processen kan det bli möjligt att identifiera var den största dammbildningen sker. Detta skulle i sin tur kunna ligga till grund för åtgärder som minskar materialsvinnet och därmed bidrar till en högre yield.

6.2.4 Mätning av utloppspunkter till atmosfär

En möjlig fortsättning på studien är att undersöka hur materialförluster vid utloppspunkter till atmosfär kan mätas eller uppskattas på ett mer tillförlitligt sätt. Dessa utloppspunkter har identifierats i studien, men har inte kunnat kvantifieras inom arbetets avgränsning eftersom materialet inte samlas upp på samma sätt som vid utloppspunkter med behållare.

En sådan studie skulle kunna fokusera på vilka mätmetoder som är tekniskt möjliga, vilka driftförhållanden som bör undersökas och om nyttan av mätningarna står i rimlig proportion till kostnaden. Detta är särskilt relevant om Borealis i framtiden vill skapa en mer fullständig bild av materialförluster som inte kan följas upp genom befintlig uppsamling. Eftersom detta examensarbete inte har undersökt mätteknik eller genomfört mätningar vid utloppspunkter till atmosfär bör frågan behandlas som ett område för fortsatt forskning snarare än som en direkt rekommendation.

Litteraturförteckning

- Aguilar-Savén, R. S. (2004). Business process modelling: Review and framework. *International Journal of Production Economics*, 90(2), 129–149.
- Ahrne, G., & Svensson, P. (2022). *Handbok i kvalitativa metoder* (3:e uppl.). Liber.
- Allesch, A., & Brunner, P. H. (2015). Material flow analysis as a decision support tool for waste management: A literature review. *Journal of Industrial Ecology*, 19(5), 753–764.
- Bell, E., Bryman, A., & Harley, B. (2019). *Business research methods*. Oxford University Press.
- Bohn, R. E., & Terwiesch, C. (1999). The economics of yield-driven processes. *Journal of Operations Management*, 18(1), 41–59.
- Borealis AB. (2024). *Miljörapport 2024*. Borealis AB.
- Borealis GmbH. (2026). *Om oss*. <https://www.borealisgroup.com/sverige/om-oss>
- Borealis GmbH. (2026). *Stenungsund*. <https://www.borealisgroup.com/sverige/stenungsund>
- Borealis GmbH. (2026). *Sverige*. <https://www.borealisgroup.com/sverige>
- Brunner, P. H., & Rechberger, H. (2005). *Practical handbook of material flow analysis*. Taylor & Francis.
- Bryman, A. (2016). *Social research methods*. Oxford University Press.
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. SAGE Publications.
- Deming, W. E. (1986). *Out of the crisis*. MIT Press.
- Denzin, N. K. (2009). *The research act*. Taylor & Francis.
- Dierkes, S., & Siepelmeyer, D. (2019). Production and cost theory-based material flow cost accounting. *Journal of Cleaner Production*, 235, 483–492.
- Globala målen. (2024, 3 december). *Mål 9: Hållbar industri, innovationer och infrastruktur*. <https://globalamalen.se/om-globala-malen/mal-9-hallbar-industri-innovationer-och-infrastruktur/>

- Guenther, E., Jasch, C., Schmidt, M., Wagner, B., & Ilg, P. (2015). Material flow cost accounting: Looking back and ahead. *Journal of Cleaner Production*, 108, 1249–1254.
- Höst, M., Regnell, B., & Runeson, P. (2006). *Att genomföra examensarbete*. Studentlitteratur.
- Holweg, M., Davies, J., de Meyer, A., Lawson, B., & Schmenner, R. W. (2018). *Process theory: The principles of operations management*. Oxford University Press.
- Huang, C.-L., Vause, J., Ma, H.-W., & Yu, C.-P. (2012). Using material/substance flow analysis to support sustainable development assessment: A literature review and outlook. *Resources, Conservation and Recycling*, 68, 104–116.
- Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1999). *Juran's quality handbook* (5:e uppl.). McGraw-Hill.
- Kokubu, K., & Kitada, H. (2015). Material flow cost accounting and existing management perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 108, 1279–1288.
- Kurdve, M., Shahbazi, S., Wendin, M., Bengtsson, C., & Wiktorsson, M. (2015). Waste flow mapping to improve sustainability of waste management: A case study approach. *Journal of Cleaner Production*, 98, 304–315.
- Kurdve, M., Shahbazi, S., Wendin, M., Bengtsson, C., & Wiktorsson, M. (2017). *Waste flow mapping*. Mälardalen University.
- Kvale, S. (2015). *Interviews: An introduction to qualitative research interviewing*. SAGE Publications.
- Laner, D., Rechberger, H., & Astrup, T. F. (2014). Systematic evaluation of uncertainty in material flow analysis. *Journal of Industrial Ecology*, 18(6), 859–870.
- Marriott, R. D. (2018). Process mapping: The foundation for effective quality improvement. *Current Problems in Pediatric and Adolescent Health Care*, 48(7), 177–181.
- Medbo, P. (2026). *Presentation av inledning, metod och syfte* [Föreläsningsmaterial]. Chalmers tekniska högskola.
- PlasticPortal. (2026, 12 maj). *Prices of commodity plastics*.
<https://www.plasticportal.eu/price-reports>
- Saunders, M. N. K., Lewis, P., & Thornhill, A. (2023). *Research methods for business students* (9:e uppl.). Pearson.

- Shahbazi, S., Kurdve, M., Zackrisson, M., Jönsson, C., & Kristinsdottir, A. R. (2019). Comparison of four environmental assessment tools in Swedish manufacturing: A case study. *Sustainability*, 11(7), 2173.
- Slack, N., Brandon-Jones, A., & Johnston, R. (2022). *Operations management* (10th ed.). Pearson Education.
- Statistiska centralbyrån. (2026, 29 januari). *Statistikdatabasen*.
https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0107/MI0107IndustriN/table/tableViewLayout1/
- Towler, G., & Sinnott, R. (2022). *Chemical engineering design: Principles, practice and economics of plant and process design*. Butterworth-Heinemann.
- United Nations. (2026, 17 februari). *United Nations Department of Economic and Social Affairs: Sustainable Development Goals*. <https://sdgs.un.org/goals>
- World Economic Forum. (2014). *Towards the circular economy: Accelerating the scale-up across global supply chains*. World Economic Forum.
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications*. SAGE Publications.

INSTITUTIONEN FÖR TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION
AVDELNINGEN FÖR SUPPLY AND OPERATIONS MANAGEMENT
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2026
www.chalmers.se



CHALMERS