



CHALMERS

Minska slöserier och avfall

Miljöanpassning i ett tillverkningsföretag

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Ekonomi och produktionsteknik

ISABELLE JARL
LISA ÅHLSTRÖM

**INSTITUTIONEN FÖR TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION
AVDELNINGEN FÖR MILJÖSYSTEMANALYS**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2021
www.chalmers.se
Rapportnummer E2021:133

Rapportnummer E2021:133

Minska slöserier och avfall

Miljöanpassning i ett tillverkningsföretag

ISABELLE JARL
LISA ÅHLSTRÖM

TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION
Avdelning för miljösystemanalys
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2021

Minska slöserier och avfall
Miljöanpassning i ett tillverkningsföretag

ISABELLE JARL
LISA ÅHLSTRÖM

© ISABELLE JARL, 2021
© LISA ÅHLSTRÖM, 2021

HANDLEDARE OCH EXAMINATOR: ANNA NYSTRÖM CLAESSON

Rapportnummer E2021:133
Teknikens ekonomi och organisation
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Sverige
Telefon + 46 (0)31-772 1000

Göteborg, Sverige 2021

FÖRORD

Examensarbetet är på 15 högskolepoäng och har utförts på institutionen Teknikens ekonomi och organisation och skriven på avdelningen för miljösystemanalys. Författarna läser på Chalmers Tekniska Högskola på programmet Ekonomi och produktionsteknik som omfattar 180 högskolepoäng.

Vi vill tacka personalen på företaget DENSIQ för att ha fått möjligheten att skriva examensarbetet hos er och för att ni delat med er av er kunskap. Vi vill också ge tack till vår handledare Fredrik Sjödell på DENSIQ som alltid varit tillgänglig och hjälpsam under vårt arbete. Tack ska också riktas till vår handledare på Chalmers Anna Nyström Claesson som har väglett och stöttat oss i arbetet. Vi vill också ge ett speciellt tack till Ann-Brith Strömberg, biträdande professor inom matematiska vetenskaper tillsammans med Edvin Åblad, industridoktorand för deras hjälp med ett datorprogram som räknade ut optimerade mönster.

Isabelle Jarl & Lisa Åhlström
Göteborg, Juni 2021

Göteborg, Sverige 2021

Minska slöserier och avfall
Miljöanpassning i ett tillverkningsföretag

ISABELLE JARL
LISA ÅHLSTRÖM

Institutionen för Teknikens ekonomi och organisation
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Denna rapport har utvecklats på företaget DENSIQ som är leverantör av produkter och tjänster inom tätningsteknik. DENSIQ ägs av Latour Industries AB som ingår i Latourkoncernen och är etablerat i Sverige, Finland, Norge och Danmark. Rapportens syfte är att undersöka hur ett produktionsflöde kan optimeras utifrån ett hållbarhetsperspektiv i ett tillverkningsföretag för att minska avfallsmängderna. Syftet besvaras genom frågeställningarna *“Hur kan tillverkningsprocessen optimeras för att nyttja materialet så effektivt som möjligt för att minska svinnet?”* samt *“Hur kan ett tillverkningsföretag hantera sitt svinn på ett mer hållbart sätt?”*.

Rapporten innefattar en kvalitativ och kvantitativ metod, där experiment, observationer, samtal och dokumentstudier har legat till grund för lösningar och antaganden.

Företaget har en hög andel avfall vilket är ett problemområde. På grund av många olika artiklar, i olika former och med olik försäljningsstatistik har företaget svårt att sänka mängden avfall. Tillverkningsprocessen där företaget skär ut cirkelformade packningar medför att avfall skapas.

Avslutningsvis beskriver rapporten att ett livscykel tänk behöver utvecklas för att arbeta mer hållbart med avfall. Rapporten beskriver att tillverkningsprocessen samt avfallshanteringen kan optimeras genom att titta på cirkulära möjligheter. För företaget specifikt framkommer det att standardisering av tillverkningsprocessen kommer ge möjlighet till ständig förbättring enligt Lean-principer. Standardiseringen innebär optimerade mönster och metoder för framtagning av produkterna. Lösningarna till minskad avfallsmängd bygger på litteratur och studier om livscykel tänk, cirkulära möjligheter och Lean produktion och är utformade efter fakta från företaget.

Sökord: livscykelanalys, ekodesign, Lean produktion, biomimetik, avfallshierarki, återvinning, återanvändning, optimering

Gothenburg, Sweden 2021

Reduce waste and garbage
Environmental adaptation in a manufacturing company

ISABELLE JARL
LISA ÅHLSTRÖM

Institution of Technology Management and Economics
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

This report has been developed at the company DENSIQ, which is a supplier of products and services in sealing technology. DENSIQ is owned by Latour Industries AB, which is part of the Latour Group and is established in Sweden, Finland, Norway and Denmark. The purpose of the report is to investigate how a production flow can be optimized from a sustainability perspective in a manufacturing company to reduce the amount of waste. The purpose is answered by the questions *"How can the manufacturing process be optimized to use the material as efficiently as possible to reduce waste?"* and *"How can a manufacturing company manage its waste in a more sustainable way?"*.

The report includes a qualitative and quantitative method, where experiments, observations, conversations and document studies have formed the basis for solutions and assumptions.

The company has a high proportion of waste, which is a problem area. Due to many different articles, in different forms and with different sales statistics, the company finds it difficult to reduce the amount of waste. The manufacturing process where the company cuts out circular gaskets means that waste is created.

In conclusion, the report describes that a life cycle thinking needs to be developed to work more sustainably with waste. The report describes that the manufacturing process and waste management can be optimized by looking at circular possibilities. For the company specifically, it appears that standardization of the manufacturing process will provide the opportunity for continuous improvement according to Lean principles. The standardization means optimized patterns and methods for developing the products. The solutions for reducing the amount of waste are based on literature and studies on life cycle thinking, circular opportunities and Lean production and are designed according to facts from the company.

The report is written in Swedish.

Keywords: life cycle analysis, eco design, Lean production, biomimetics, waste hierarchy, recycling, reuse, optimization

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING	2
1.1 Bakgrund	2
1.2 Syfte	3
1.3 Precisering av frågeställningar	3
1.4 Avgränsningar	3
2. LEDNINGSSYSTEM, MILJÖMETODER OCH FÖRETAGSBESKRIVNING	4
2.1 Lean produktion	4
2.1.1 Slöserier	4
2.1.2 Just-In-Time (produktionsfilosofi)	4
2.1.3 Jidoka (kvalitetssäkring)	5
2.2 Livscykel tänkande	5
2.2.1 LCA	6
2.2.2 Greenhouse Gas Protocol	7
2.2.3 Avfallshierarkin	7
2.2.4 Dematerialisering	8
2.2.5 Ekodesign & Biomimetik	9
2.2.6 ISO 9001 & ISO 14001	10
2.3 Lean och Green	11
2.3.1 Lean och Green i litteraturen	11
2.3.2 Likheter och skillnader mellan Lean och Green	12
2.4 Nulägesbeskrivning av DENSIQ AB	14
2.4.1 DENSIQ AB	14
2.4.2 Miljö- och kvalitetsarbete på DENSIQ AB	14
2.4.3 Planpackning	15
2.4.4 Tillverkning av en planpackning	16
2.4.5 Efterhantering	17
3. METOD	19
3.1 Datainsamling	19
3.1.1 Litteratur och internt företagsmaterial	19
3.1.2 Samtal och observationer	20
3.2 Experiment & beräkningar	20
3.2.1 Simuleringsmodell	21
3.3 Analysstrategi	21
4. RESULTAT	23
4.1 Tillverkning	23
4.1.1 Mätning av arken	23
4.1.2 Utformning av planpackning	24
4.1.3 Simulering	25
4.2 Avfallshantering	26
4.2.1 Möjligheter till att hantera spill	26
4.3 Andel spillmaterial	27
4.4 Förslag på nytt flöde	28
5. ANALYS	29
5.1 "Hur kan tillverkningsprocessen optimeras för att använda materialet så effektivt som möjligt för att minska svinnet?"	29
5.1.1 Yteffektiva mönster	29
5.1.2 Lean eller Green?	29
5.1.3 Standardisering	31
5.2 "Hur kan ett tillverkningsföretag hantera sitt svinn på ett mer hållbart sätt?"	32
5.2.1 Livscykel tänkande	32
5.2.2 Återvinning & återanvändning	32
5.2.3 Verksamhetsstrategi	33
6. DISKUSSION	34
6.1 Metodval	34
6.1.1 Samtal & observationer	34
6.1.2 Experiment	34
6.1.3 Litteraturen inom området	35
6.2 Avgränsningar och antaganden	35
6.3 Styrkor och svagheter i arbetets validitet	36

6.4 Bidrag till ämnesområdet.....	36
6.4.1 Studiens allmängiltighet.....	36
6.4.2 Kunskap som studien bidragit med och som tidigare saknats.....	37
7. SLUTSATS.....	37
8. FORTSATT ARBETE	37
REFERENSER	38
A. APPENDIX	42
A.1 MÅTT OCH BERÄKNINGAR.....	42
A.2 MIT-LICENS.....	44

Beteckningar

Planpackning: En cirkelformad platta som läggs i flänsar för att hålla isär två medier

Rondell: Den bit material som är kvar i mitten när packningen tillverkats

Materialutnyttjande: Användandet av materialet så effektivt som möjligt

Svinn/spill: Det materialet som blir över efter tillverkning

Avfall: Det spillet som slängs

Avfallsmängd: Totalt slängt spill under en viss tid

Dixo 5000: Ett material företaget använder

Grafex EX: Ett material företaget använder

Deponi: Slutlig förvaring av avfall, soptipp

Tätningsteknik: Metoder för att hålla två medier åtskilda

Flänsar: En tunn skiva, som ligger längs med eller runt omkring ett föremål

Kloss an: Lägga något utan avstånd till något annat

1. Inledning

Detta kapitel presenterar bakgrunden till arbetet, syfte, avgränsningar och frågeställning.

1.1 Bakgrund

De globala målen kan ett tillverkningsföretag använda sig av för att se vad de kan arbeta med för att göra sitt företag mer hållbart inom alla aspekter av hållbarhet. De globala målen är till för att förbättra den sociala, ekonomiska och ekologiska hållbarheten. Tillverkningsföretag i Sverige stod år 2019 för cirka 32 procent av Sveriges totala koldioxidutsläpp (Sveriges officiella statistik, 2021).

En minskad resursanvändning är en av mänsklighetens största utmaningar och kommer vara en avgörande faktor för att minska miljöpåverkan. Detta gäller alla sorters produktion eftersom majoriteten av alla produktionsföretag bidrar till att skapa avfall. I dagens samhälle konsumerar människor mycket av naturens tillgångar för att skapa varor som exempelvis datorer och kläder. Det som inte är synligt är resurserna som krävs till denna konsumtion. Det används t.ex. 1,8 ton material för att tillverka en dator (Upphandlingsmyndigheten, 2015)! Vid produktion av ett kilo bomull krävs 29 000 liter vatten (Enlund, 2016).

Branscher i näringslivet har i dagsläget fokus på produkters påverkan på miljön och arbetar med att analysera hela värdekedjan för att minska utsläpp. Det är framförallt stora och medelstora företag som aktivt arbetar med miljöfrågor, vilket har blivit en högre prioritering senaste åren. Små företag har en större variation i miljöarbetet och enligt Naturvårdsverkets rapport uppgår 40 procent att de arbetar aktivt med miljöfrågor (Naturvårdsverket, 2015).

Liksom andra tillverkningsföretag har DENSIQ AB spill från sin produktion. DENSIQ genererar cirka 55 procent spill som går till avfallshantering för deras planpackningsprodukter. DENSIQ har miljömässiga krav på sig och avfallet bidrar till stor del till den miljöpåverkan företaget har på omvärlden. Företaget vill undersöka om det finns möjligheter att minska mängden avfall deras produktion skapar samt om det finns andra metoder att arbeta på än dagens lösning för att minska miljöpåverkan.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att undersöka hur ett produktionsflöde kan optimeras utifrån ett hållbarhetsperspektiv i ett tillverkningsföretag för att minska avfallsmängderna.

1.3 Precisering av frågeställningar

Frågeställningar:

- Hur kan tillverkningsprocessen optimeras för att använda materialet så effektivt som möjligt för att minska svinnet?
- Hur kan ett tillverkningsföretag hantera sitt svinn på ett mer hållbart sätt?

1.4 Avgränsningar

- Arbetet kommer inte undersöka vilka material som skulle kunna ersätta nuvarande material.
- Studien är avgränsad till företaget och deras närmaste kunder och leverantörer.
- Livscykelanalysen kommer avgränsas till att främst titta på tillverkning och avfallshantering.
- Arbetet fokuserar på två materialtyper och kommer inte behandla samtliga artiklar som företaget producerar.

2. Ledningssystem, miljömetoder och företagsbeskrivning

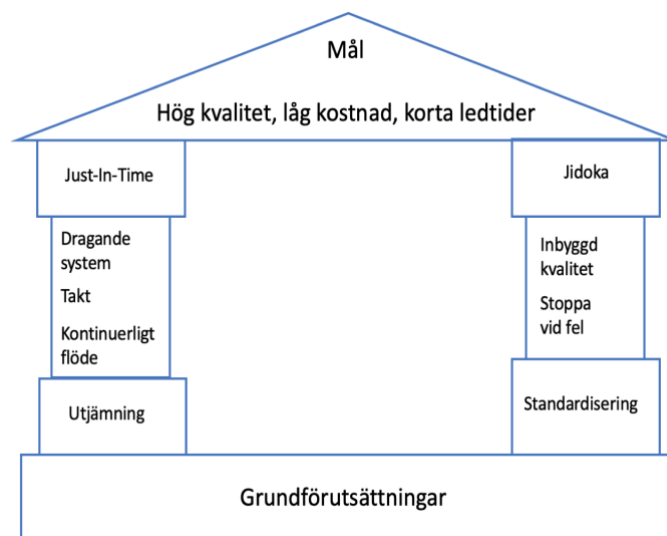
Den teoretiska referensramen behandlar tidigare litteratur och studier inom ämnesområdet.

2.1 Lean produktion

Lean används i syfte att förbättra och strukturera en verksamhet (Sörqvist, 2013). Lean är ett tankesätt om hur ett företag ska arbeta flexibelt och resurssnålt med utgångspunkt i kundens behov och på kvalitet (Sörqvist, 2013). Detta genomförs genom att minska variationer i arbetssätt och processer (Modig & Åhlström, 2015).

2.1.1 Slöserier

Det finns flera principer, verktyg och arbetssätt inom Lean (figur 1). Lean innebär att systematiskt identifiera och minska icke värdeskapande arbete (Sörqvist, 2013). Produktionsprocesser och arbetsrutiner som skapar värde för produkten kan antas som värdeskapande för kunden (Pascal, 2016). Motsatsen till en värdeskapande process inom Lean är slöserier (muda). I Lean identifieras åtta olika slöserier: överproduktion, lager, väntan, rörelse, överarbete, omarbete, transporter och medarbetarnas outnyttjade kreativitet (Liker & Hallberg, 2009). Överproduktion innebär att tillverka för många produkter. Att ha lager utöver det som är absolut nödvändigt på grund av för tidig tillverkning och låta produkter lagras i väntan på leverans är slöseri. Transporter och reparationer eller omarbete är något som inte tillför värde till kund. För medarbetarna innebär onödiga rörelser, outnyttjad kreativitet och överarbete att göra mer än vad kunden är nöjd med (Liker & Hallberg, 2009).



Figur 1: Lean-templet

2.1.2 Just-In-Time (produktionsfilosofi)

En av pelarna i Lean-templet (figur 1) är Just-In-Time som är en filosofi inom Lean där målet är att producera rätt produkter, i rätt tid och till rätt mängd. I praktiken innebär det korta genomloppstider, korta ställtider och hög tillgänglighet i maskiner för att kunna leverera värde till kund. Ingenting ska tillverkas innan det efterfrågas dvs Just-In-Time, för att förhindra lageruppsamling. För att arbeta efter filosofin krävs att produktionen utjämnas (figur 1) (Schill, 2019).

Att utjämna produktionen är ett sätt att minska slöserier. En utjämnad produktionstakt gör det enklare att anpassa produkterna till kundens behov och att minska genomloppstiden. Utjämning sker genom att använda kontinuerliga flöden, att ha en takt baserad på efterfrågan och ha ett dragande system (figur 1). Ett dragande system innebär att det bara produceras om det finns ett behov från nästa steg i flödet. Kontinuerliga flöden eftersträvar att produkter och material konstant är i rörelse. Genom kontinuerliga flöden upptäcks problem lättare eftersom flödet stannar av vid brister i produktion. Flödena förbättras kontinuerligt för att undvika produktionsstopp. Meningen med takt är att ha ett jämnt flöde i produktionen där produkter produceras i ett kontinuerligt flöde. Ett jämnt flöde betyder att det inte blir stora skillnader i produktionsmängden. Arbetstakten ska bero på efterfrågan från kunder och tempot anpassas efter behov för att minska väntetiderna. Ett dragande system producerar bara när det finns ett behov från nästa steg i processen. Det innebär att efterfrågan styr produktionen (Schill, 2019).

2.1.3 Jidoka (kvalitetssäkring)

En annan pelare i Lean är Jidoka (figur 1) som innebär att förebygga kvalitetsfel genom att synliggöra kvalitetsfel. Om något hindrar eller stör flödet är tanken att det ska identifieras direkt och stoppas vid fel (figur 1). Kvalitetsbrister förhindras därefter genom att standardisera arbetsrutiner så att felen inte uppstår igen (Modig & Åhlström, 2015). Enligt Lean produktion är ständiga förbättringar alltid möjligt för att höja kvaliteten. Standardisering innebär en möjlighet till inbyggd kvalitet (figur 1) eftersom att kvalitetsbrister minskar genom samma arbetsrutiner.

Inom Jidoka är standardisering (figur 1) viktig och grunden för kontinuerlig förbättring (Mĺkva, et. al., 2016). Standardisering är åtgärder som leder till en bestämd lösning av ett återkommande problem. Standardisering minskar risken för fel, ökar effektiviteten, minskar spill och skapar rutiner för arbete. Standardisering är en metod för att utveckla metoder och innebär att standardiseringen förändras över tid (Mĺkva, et. al., 2016). Om ett standardiserat arbetssätt förbättras blir förbättringen den nya standarden. Genom standardisering skapas effektiva flöden (Modig & Åhlström, 2015). Det är också ett sätt att få en säker och ren arbetsmiljö. Om standardisering genomförs i alla processteg kan det förebygga att defekta produkter skapas och minska risken för andra fel som kan uppstå i produktionen (Mĺkva, et. al., 2016).

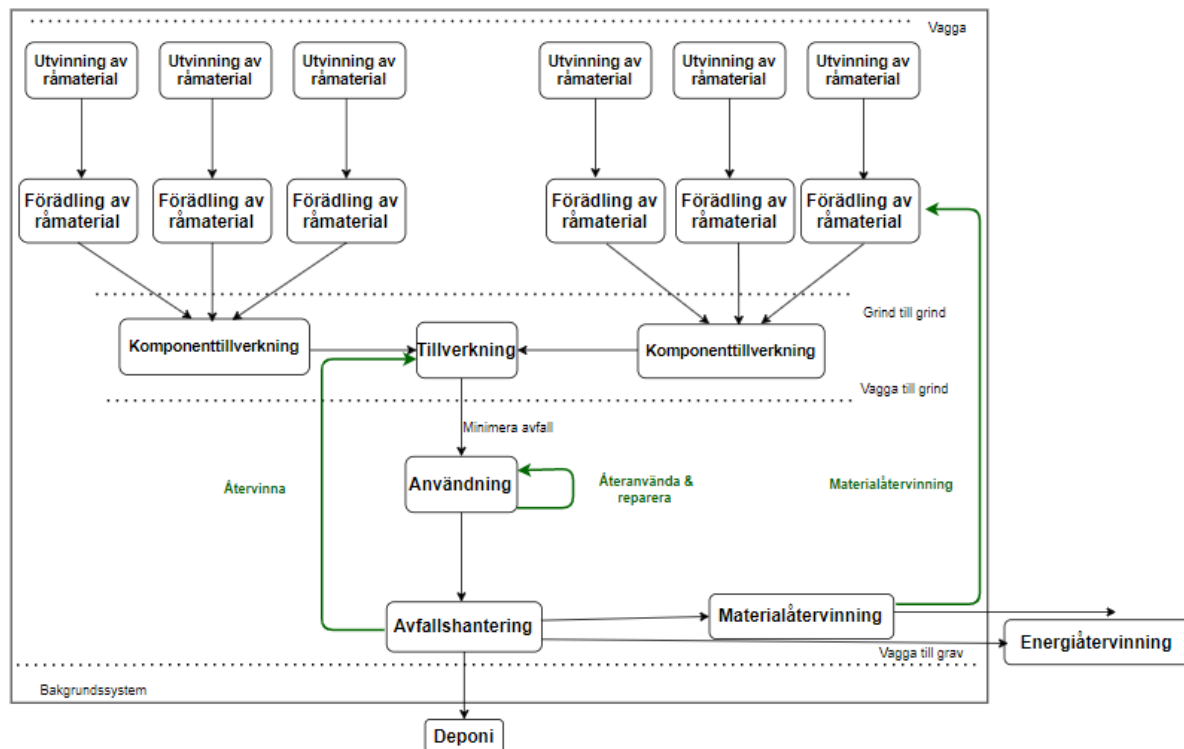
2.2 Livscykel tänkande

Miljöpolitiken har ändrats från att fokusera på punktutsläpp i industrin till att fokusera på konsekvenser av människors livsstil och produkters miljöbelastning ur ett livscykelperspektiv (figur 2) (Ammenberg 2004). Livscykel tänkande är filosofin eller tankesättet till en livscykelanalys (Thorpe, 2008). Ett livscykel tänkande används för att förstå konsekvenserna från olika beslut kring produkten, från råmaterialutvinning till slutfas (Thabrew et. al., 2008). Livscykel tänkande tillämpas i många olika verktyg t.ex. livscykelanalys (LCA), Green house gas protocol, avfallshierarkin, dematerialisering och ekodesign. Många av strategierna utgår ifrån hur naturen hanterar avfall och organiserar sig som beskrivs inom biomimetik. Avsnittet avslutas med en beskrivning av vanliga ledningssystem i tillverkningsföretag.

2.2.1 LCA

Syftet med en livscykelanalys är att få en uppfattning om miljöpåverkan av en produkt genom att kartlägga produktens livscykel (Hauschild et. al., 2018). I början av en livscykelanalys bestäms vilken data som ska samlas in och ett flödesschema ritas upp för att identifiera vilka relationer som finns under en produkts liv (figur 2) (Thorpe, 2008). Målet är att minska materialåtgången, energiförbrukningen och emissioner i varje steg i flödet. En livscykelanalys brukar delas in i fyra steg: målbeskrivning och omfattning, inventering av miljödata, miljöpåverkansbedömning och tolkning (Ammenberg 2004). En målbeskrivning innebär att man bestämmer hur omfattande LCA:n ska vara, vad den ska svara på och hur resultaten ska användas. En inventering av miljödata innebär att man tar reda på vilka resurser som används under livscykeln och vad de orsakar för utsläpp. En miljöpåverkansbedömning innebär att utsläppen och resursanvändningen kopplas till miljöproblem. En tolkning innebär att resultaten analyseras med avseende på avgränsningar, data, och giltighet.

En livscykelanalys är en kvantitativ metod där ett verktyg i datainventeringen är produktens flödesschema, medan livscykeltänkande används som kvalitativ metod (Jönbrink, 2011). Ett hjälpmedel att inventera data är att skapa ett flödesschema över produktens livscykel (figur 2).



Figur 2: Ett flödesschema för generell produkts livscykel

Bilden illustrerar olika begrepp som definierar upp vad som ingår i en LCA-beräkning. Analysen genomförs med ett helhetsperspektiv på produktens livscykeln från vagga till grav, alltså från råmaterialutvinning till avfallshantering (figur 2) (Ammenberg, 2004). En annan systemgräns kan vara vagga till grind som innebär att produkten analyseras från råmaterialutvinning till färdig produkt. En tredje systemgräns kan vara grind till grind där livscykeln omfattar en analys av hela eller delar av en produktionsprocess (Farjana et. al., 2021).

Avfallshantering inom livscykelanalys brukar också kallas “avfall” eller “end-of-life” (Hauschild et. al., 2018). Avfall kan beskrivas som en produkt eller material som inte längre har någon nytta, funktion eller värde för brukaren. Avfall i livscykelanalysen jämför olika alternativ till att hantera avfall och end-of-life fokuserar endast på avfallsdelen (Hauschild et. al., 2018). I en vagga till vagga studie undersöks alternativen för återvinning av materialet. I systemavgränsningen förlorar materialet aldrig värdet utan betraktas fortsatt som en resurs. Beroende på vilken sorts återvinning kan materialet helt eller delvis behålla sitt värde.

Olika delar av livscykeln kan analyseras för att undersöka hur avfall hanteras för att minska miljöpåverkan. I återvinningen processas avfallet för att behålla fysiska eller kemiska egenskaper. Återanvändning, utnyttjande av material eller deponering väljs beroende på vilka material som gått till avfall. Material som enkelt går att återvinna är metaller. Plaster kan materialåtervinnas eller energiåtervinnas, vilka också är den vanligaste återvinningen för kompositmaterial (Hauschild et. al., 2018).

2.2.2 Greenhouse Gas Protocol

Greenhouse Gas Protocol eller växthusgasprotokollet introducerades 2001 för att hjälpa företag att minska utsläpp och hantera klimatförändringar. I protokollet finns standarder, vägledning, verktyg och utbildning för länder och företag. Protokollet har bidragit med ett standardiserat ramverk för hur utsläpp kan mätas och hanteras för att minska växthusgaser. Greenhouse Gas Protocol är sedan 2006 också en ISO-standard (14064-I). Protokollet omfattar fem principer: noggrannhet, transparens, jämförbarhet, fullständighet och relevans. Principerna beskriver hur utsläpp ska beräknas och standarder kompletterar dessa för att företag ska kunna lägga upp en klimatstrategi för att minska sina utsläpp.

Protokollet är uppdelat i tre scope för att underlätta jämförelser av utsläpp mellan olika företag. Scope 1 omfattar de utsläpp som kommer direkt från aktiviteter inom företaget, ofta från företagets tillverkning dvs ett grind till grind perspektiv (figur 2). Till Scope 2 räknas indirekta utsläpp som kommer från företagets energiförbrukning, t.ex. utsläpp av koldioxid från elproduktionen i det land verksamheten är förlagd dvs från bakgrundssystemet (figur 2). Scope 3 omfattar alla andra indirekta utsläpp under en produkts livscykel. Dessa kan vara svåra att ta reda på eftersom de kommer från leverantörskedjan, produktanvändning och avfallshantering (figur 2). Scope 3 visar ofta den stora delen av de utsläpp som en organisation har, från vagga till grind samt grind till end-of-life (World Resources Institute, World Business Council for Sustainable Development, u.å).

2.2.3 Avfallshierarkin

EU skapade 2008 ett direktiv om avfallshantering (Eu, 2020). Målet i direktivet var att skapa en hållbar produktion, större resurseffektivitet och att minska användningen av viktiga resurser. Direktivet beskriver också hanteringen av avfallet så att miljöpåverkan på samhället och naturen blir så liten som möjligt. Direktivets mål är att återvinna eller återanvända. EU gjorde ändringar i direktivet 2018 som innebär att medlemsländerna ska nå en hållbar produktion och konsumtion och se till att viktiga råmaterial stannar i materialflödet (Eu, 2020). Direktivet beskrivs med en avfallstrappa där trappstegen beskriver avfallshanteringens olika nivåer (figur 3). I varje steg i trappan minskar mängden material som återvinns. Målet är att allt material stannar så högt upp i trappan som möjligt. Trappan består av fem steg och denna modell kallas avfallshierarkin (Naturvårdsverket, 2018b).



Figur 3: Avfallstrappan

Nedan återfinns en beskrivning av de fem olika stegen i avfallstrappan (figur 3).

1. Minimera. Detta steget är det bästa eftersom man redan innan det blir avfall minimerar så att den minsta möjliga mängden material blir till avfall. Det betyder att produktionen är så resurssnål som det går (Naturskyddsföreningen, 2015) och (Gharfalkar, et. al., 2015). I livscykeln minimeras utsläpp i varje steg i flödesschemat (figur 2).
2. Återanvända. Produkter eller material används igen i ett annat syfte eller till en annan som använder det i samma syfte, exempelvis second hand-kläder (Naturskyddsföreningen, 2015) och (Gharfalkar, et. al., 2015). Genom återanvändning behålls materialet i systemet i livscykeln (figur 2).
3. Återvinna. Detta innebär att material cirkulerar, vilket i teorin alla material kan. Det är i praktiken endast vanliga material som återvinns, så som metaller (Thorpe, 2008). Därför är det bättre med återanvändning. I livscykeln kan återvinning ske inom systemet eller utanför (figur 2).
4. Utvinna energi. I detta steg eldas avfallet upp och blir värme eller el. Detta bidrar till energi vilket är bättre än deponi men detta är sämre än materialåtervinning eftersom materialet försvinner (Naturskyddsföreningen, 2015). Detta innebär att energin lämnar systemet enligt livscykeln (figur 2).
5. Deponering innebär att lämna avfallet på en soptipp. Detta är den sämsta alternativet eftersom inget utvinns från deponi vare sig material eller energi (Naturskyddsföreningen, 2015) och (Gharfalkar, et. al., 2015). Deponering innebär i livscykeln att materialet lämnar systemet (figur 2).

2.2.4 Dematerialisering

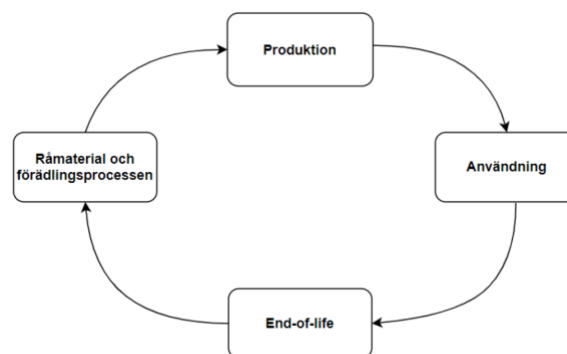
Användningen av icke-förnybara och förnybara resurser ökar. Genom att minska, sakta ner eller sluta resursflöden och effektivisera resursanvändningen skapas kontroll över användningen. Flöden av material kan begränsas genom dematerialisering och/eller transmaterialisering (Gröndahl & Svanström, 2011).

Definitionen av dematerialisering är att mängden material i en produkt minskas samtidigt som funktionen på produkten inte försämrar. Dematerialisering kan ske i produktionen av produkter medan transmaterialisering kan ske från råmaterialutvinning till end-of-life (Hanning & Cullbrand, 2021). Dematerialisering kan exempelvis vara att produkten kan delas, har en multifunktion tex schweizisk armékniv, är byggd i moduler, är energisnåla, ersätts med en tjänst tex åka buss istället för att köra bil, har lång livslängd eller samägs (Gröndahl & Svanström, 2011). Transmaterialisering innebär att ämnen som är skadliga eller ändliga byts ut mot ämnen som är mindre skadliga eller som räknas som oändliga resurser. Transmaterialisering innebär att använda material som är mindre farliga, renare, lätt nedbrytbara, förnybara och vanliga.

Olika faktorer påverkas av dematerialisering t.ex. produktens kvalitet, tillverkningsprocess och kostnaden, komplexiteten hos produkten och om produkten är reparerbar och går att byta ut. Ett exempel är att om en produkt tillverkas i ett annat material som kräver mindre resurser kan det leda till att fler produkter tillverkas och att det leder till överproduktion, t.ex. mindre och lättare mobiler eller energisnålare bilar. Detta betyder alltså att det produceras mindre avfall i tillverkningsprocessen men fler produkter tillverkas och bidrar i slutändan till mer avfall (Herman et. al., 1990).

2.2.5 Ekodesign & Biomimetik

Ekodesign är en typ av tillämpning av dematerialisering. Ekodesign innebär att skapa maximal nytta i tillverkning av produkter och samtidigt belasta miljön minimalt (Jönbrink et. al., 2011). Miljöanpassning av produkter är viktigt för att företaget ska kunna välja strategi i sitt miljöarbete. Genom att effektivisera energi- och materialanvändning och återvinna material kan företag spara interna kostnader och öka sin konkurrenskraft (Jönbrink et. al., 2011). Ekodesign är ett sätt att försöka balansera produktens design och miljöbelastningen från produkten genom att arbeta med följande steg i figur 4 (Knight & Jenkins, 2008):

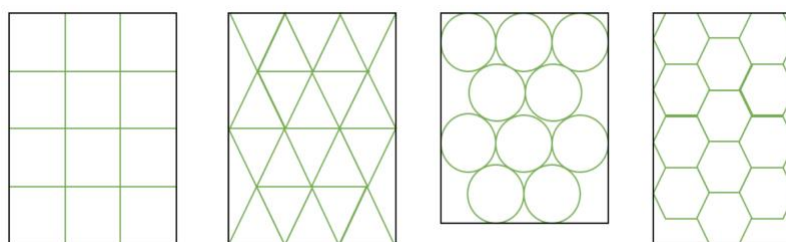


Figur 4: Fyra steg i ekodesign

I produktionen är det främst processerna som man vill minimera spill och energianvändning (figur 4). I användningen vill man ha energisnåla produkter med hög reparerbarhet (figur 4). I end-of-life ska produkten helst återanvändas och i andra hand återvinnas (figur 4). Miljöfarliga och sällsynta metaller ska bytas ut mot mindre miljöfarliga ämnen och vanligare metaller. Ekostrategihjulet fungerar som stöd för att miljöanpassa produkter genom produktens design (Jönbrink, 2011). Ekostrategihjulet hjälper till att förbättra produkter genom att minska påverkan vid användning, dematerialisera, välja rätt material, optimera funktionen, livslängden, produktionen, resthanteringen och distributionen (Ammenberg, 2004). En förenklad livscykelanalys, som inte omfattar exempelvis transporter utan bara det som påverkar produkten, kan användas för att hitta vilka aspekter av produkten som belastar miljön och därefter använda ekostrategihjulet för att fokusera på hur miljöbelastningen kan minskas. Ekostrategihjulet ska användas med ett livscykel tänkande och bidrar till att komma på idéer för hur produkten kan optimeras utifrån ett miljöperspektiv (Jönbrink, 2011).

I biomimetik är idén att efterlikna naturens design (Thorpe, 2008). Biomimetik söker inspiration från naturen för att finna tekniska lösningar vilket är vanligt inom områden som läkemedelsindustrin (Nationalencyklopedin, u.å). Det finns mycket inspiration att hämta från naturen t.ex. hur olika arter är anpassade till deras olika klimat (Thorpe & Wijkmark, 2008). Ett annat exempel är hur naturen kan göra starka kompositmaterial utan höga temperaturer och kemikalier som människor använder.

Naturen kan imiteras för att utvinna så mycket material som möjligt och det finns tre former som är mest effektiva för att täcka en yta, kvadrater, trianglar och hexagoner (Ball, 2011) (figur 5). Vaxet i bikupor bildar ett hexagonalt organiserat mönster. Mindre material går åt att bygga strukturen eftersom hexagoner är mer utrymmeseffektivt än andra former såsom en kvadratisk och triangulär form. Detta medför att bina inte behöver skapa lika mycket vax och mindre resurser används (Ball, 2011). Det är inte bara bin som skapar saker i hexagonala former. I naturen kan detta visas på flera ställen, exempelvis i grafit. Ett annat exempel är om många bubblor placeras utan mellanrum vid varandra, vilket leder till att det slutligen kommer att skapas hexagonala mönster (Ball, 2011). Ett exempel på en form som inte är yteffektiv är cirkclar.



Figur 5: Mer och mindre yteffektiva mönster

2.2.6 ISO 9001 & ISO 14001

ISO är en internationell organisation som publicerar globala standarder. Organisationen är oberoende och icke-statlig. ISO-standarder används för att systematisera datainsamling, uppföljning, beslut och åtgärder med hjälp av PDCA-cykeln (Plan, Do, Check, Act) och används på många olika områden, t.ex. inom vården eller industrin.

Standarden ISO 9001 används för att förbättra produkt- eller servicekvalitet och verifieras av en tredje part var tredje år. Utgångspunkten i standarden är att minimera antal fel i produktionsprocessen. Kvalitetsledningssystem för verksamhetsprocesser beskriver hur verksamheten kan kontinuerligt förbättras för att möta kunders förväntningar, genom att kvalitetsarbetet organiseras med mål, rutiner, policys, utbildningar, strategier, uppföljning och fördelning av resurser så att verksamhetens medarbetare stöttas och får vägledning i det arbete som ska utföras. Systemet följer upp att rätt mängd resurser används vid rätt tillfälle och möter rätt kvalitet och att ledningssystemet ständigt förbättras och följer upp rutiner. Enligt svenska institutet för standarder (u.å) innehåller ISO 9001 tre perspektiv, risktänkande, PDCA och processtänkande och sju principer: kundfokus, ledarskap, medarbetarnas engagemang, processinriktning, förbättring, faktabaserade beslut, relationshantering och certifiering. Kvalitetsledningssystemet innehåller policys, manualer, rutiner och checklistor för att säkerställa att produkter och tjänster håller god kvalitet och att kunden blir nöjd (Svenska institutet för standarder, u.å).

En ytterligare standard är miljöledningssystemet ISO 14001 och är ett organisations- och tekniskt ledningsverktyg för att organisera och systematisera miljöarbetet genom att mäta, följa upp, analysera och ta beslut. Miljöledningssystemet verifieras vart tredje år av en tredje part. Miljöledningssystem hjälper företag att hantera material, kemikalier, emissioner, vatten, avfall och energi. Som bidrar till minskad resursanvändning, effektiv energianvändning och ger positiva effekter på ekosystemet. Standarden används av organisationer för att systematiskt arbeta med och bidra till minskad miljöbelastning (Svenska institutet för standarder, u.å). ISO 14001 omfattar inte exakta kravställningar på hur miljöarbetet ska gå till utan handlar om hur ledningen sätter mål och stöttar verksamhetens miljöarbete med standarder. ISO 14001 innehåller vissa organisatoriska krav, t.ex. att mäta och följa upp, som måste beaktas för att en verksamhet ska bli certifierad, exempelvis att verksamheten arbetar med ständiga förbättringar enligt PDCA-cykeln (Ammenberg, 2004).

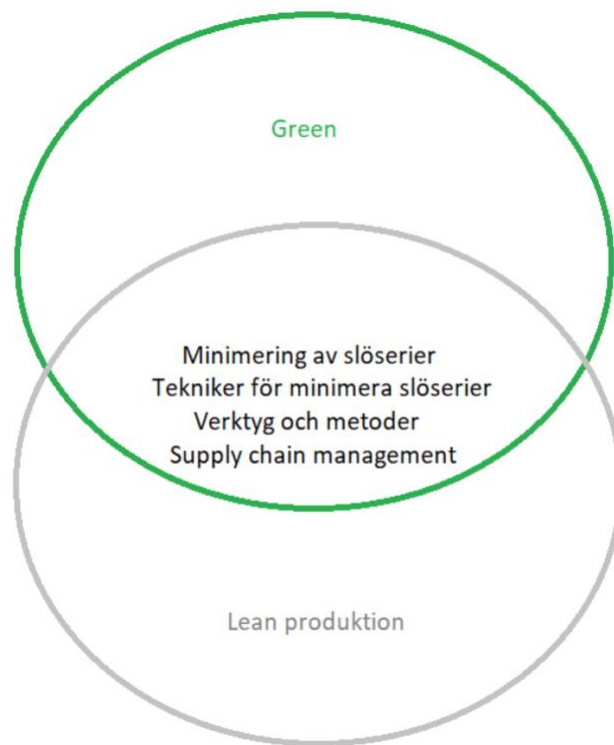
2.3 Lean och Green

I början av 1990-talet aktualiserades tillverkningsindustrins miljöbelastningar. Som ett svar utvecklades Green. Green innebär miljömetoder och förbättringar i industriprocesser som exempelvis minskning av avfall, livscykelanalys och end-of-life. Green fokuserar på miljöslöserier som t.ex. emissioner, outnyttjade resurser och avfall från produktion (Dües et. al., 2012). Green tillverkning innebär att ständigt göra miljöförbättringar av processer och produkter för att minska utsläpp.

Miljövänliga, återvinningsbara produkter som samtidigt minimerar avfall som produceras med goda materialval och möter kundernas förväntningar är en utmaning. I Green förbättras processerna genom att spara material och energi, undvika eller minska giftiga ämnen och minska avfall. Tekniska förbättringar som minskar miljöbelastningen hos en produkt kan vara att effektivisera eller automatisera tillverkningsprocessen och att göra en miljöanpassad design av produkten eller processen. Standardisering används inom Green för att minska eller förhindra avfall och utsläpp, t.ex. genom att förebygga spill genom arbetsinstruktioner och utbildning (Johansson & Winroth, 2009).

2.3.1 Lean och Green i litteraturen

Det finns korrelationer mellan Lean och Green men det finns svaga bevis på hur metoderna går att kombinera i praktiken (Marques Souza Farias et al., 2019). De flesta studier på Lean och Green har utförts på industrier med få studier i andra branscher som t.ex. sjukvården. När Lean införs ökar utnyttjandet av resurserna i produktionen vilket skapar mindre avfall (Marques Souza Farias et al., 2019). För att få en ren och hållbar produktion behöver företag kombinera kvalitet med effektivitet, vilket Lean tar upp. Green syftar till att få en hållbar och ren produktion genom att arbeta med olika miljömetoder t.ex. LCA. Lean och Green beskrivs som ett system för att få ett miljöanpassat produktionssystem (Dües et. al., 2012). Lean och Green-filosofierna kan tillsammans vara en grund för att arbeta med att förbättra tillverkningsföretag miljömässigt och kvalitetsmässigt.



Figur 6: Gemensamma faktorer för Lean och Green.

2.3.2 Likheter och skillnader mellan Lean och Green

Lean saknar metoder för att miljöanpassa processer och produkter. Det Lean och Green är överens om är att minska slöserier, tekniker för att minska slöserier, verktyg och supply chain management (figur 6) (Dües et. al., 2012., Wu & Low, 2013). I Lean betyder det icke-värdeskapande aktiviteter i produktionsprocessen. För att minska slöserier i miljöarbetet enligt Green behöver material- och energiåtgången samt mängden avfall reduceras. Vid tillverkning ligger fokus i både Lean och Green på att använda resurser på bästa sätt, t.ex. material.

Det finns överlapp, men det finns också olika fokus mellan Lean och Green. Företag arbetar ständigt med att minska kostnader. I Lean ligger fokus på att minimera kostnader i produktionen och samtidigt ha hög kvalitet hos produkten (tabell 1). I Green minskas kostnader genom att fokusera på produktens livscykel och design för att minska miljöbelastningen genom verktyg som ekodesign samt livscykelanalys (tabell 1). En av många olikheter mellan filosofierna är att Green utvärderar hur produkten kan återvinnas medan Lean stannar av vid produktens försäljning (Dües et. al., 2012). Relationerna mellan Lean och Green-filosofierna visas nedan (tabell 1) (Johansson & Winroth, 2009).

Tabell 1: Likheter och skillnader mellan Lean och Green (Johansson & Winroth, 2009)

Aspekter:	Lean	Green
Fokus i filosofin	-Värdeskapande för kund -Kvalitet -Minimera slöserier -Leveranstider	-Miljöanpassade förbättringar av processer och produkter -Minskning/förebyggande av utsläpp till luft, vatten och land -Minimera avfall -Minimera risker för människor och djur
Principer inom filosofin	-Långsiktigt tänkande -Minskning av slöserier -Intressentrelationer -Ständiga förbättringar	-Förebyggande av föroreningar -Minskad användning av giftiga ämnen -Design för miljö
Produkt- eller processfokus	-Fokus på processer	-Fokus på processer och produkter
Metoder och verktyg	-Flera olika metoder och verktyg för att förbättra processen	-Olika verktyg och metoder för att förbättra miljöaspekterna i processen och hos produkterna
Anställdas delaktighet	-Viktigt med deltagande hos anställda för att nå kontinuerliga förbättringar	-Viktigt med deltagande hos anställda för att minska miljöpåverkan på både produkterna och i processerna
Delaktighet i leveranskedjan	-Kundfokus, delaktighet och samarbete med leverantörer är viktigt för att ha kundfokus	-Samarbete med leverantörer är viktigt för att stödja miljöförbättringar i tillverkningen, genom att göra förändringar över organisatoriska gränser

Det pågår en diskussion om hur väl Lean och Green går att kombinera. Vissa argumenterar för att de två filosofierna går att kombinera medans andra inte är lika optimistiska (Dieste et al., 2019). Koldioxidnivåerna kan öka av Just-In-Time eftersom det behövs fler transporter med material till fabriken som ger en högre bränsleförbrukning. Detta är ett exempel där flera artiklar menar på att Lean och Green inte kan kombineras (Dieste et al., 2019). I en review-artikel av 20 rapporter om Lean och Green kunde det uppfattas att om Lean infördes minskade luftföroreningarna hos 16 företag men 4 företag fick mer luftutsläpp. Detta tyder på att även om Lean fokuserar på minskning av slöserier gör detta inte Lean grönt (Dieste et al., 2019). Det finns också blandade resultat angående energi och vattenförbrukning vilket har ökat i vissa fall och minskat i andra med Lean (Dieste et al., 2019).

2.4 Nulägesbeskrivning av DENSIQ AB

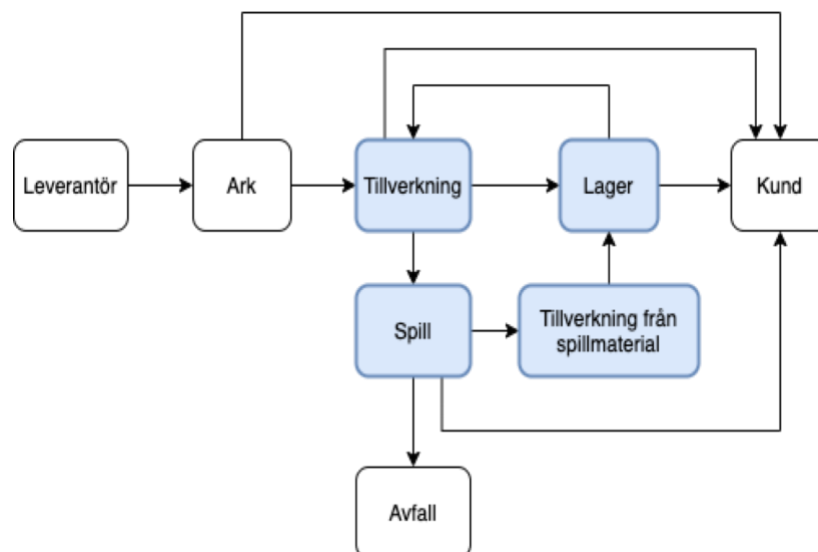
I detta avsnitt beskrivs företaget DENSIQ AB. Samtliga data avser en period på två år, från 2019 till 2020, eftersom att 2020 års statistik har påverkats av Covid-19.

2.4.1 DENSIQ AB

DENSIQ AB är ett tillverkningsföretag i processindustrin och ägs av Latour Industries AB som ingår i koncernen Latour AB. Inom Latour pågår ett arbete med att definiera globala mål med relevans för koncernen (Latour, 2020). Globala hållbarhetsmål som skulle ha relevans för DENSIQ är t.ex. mål 9 hållbar industri, innovation och infrastruktur och mål 12 hållbar konsumtion och produktion (FN, u.å). DENSIQ startades 1918 under namnet Specialmaskiner AB och fick 2017 företagsnamnet DENSIQ. DENSIQ har fabriker i Sverige, Norge, Danmark och Finland. DENSIQ är en ledande leverantör inom tätningsteknik i Norden och erbjuder tjänster och produkter som planpackningar och teknisk service. Företaget hade 39 anställda och en omsättning på 119 miljoner 2019 (DENSIQ, 2021).

2.4.2 Miljö- och kvalitetsarbete på DENSIQ AB

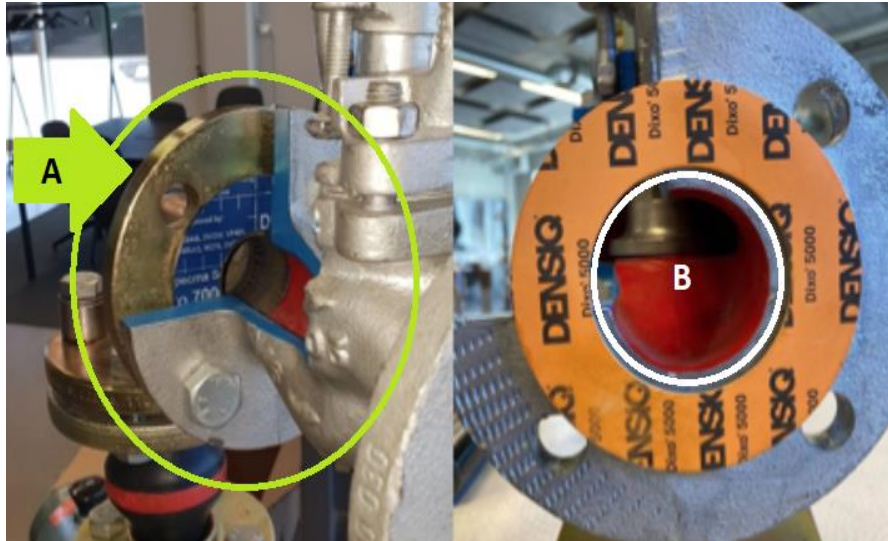
En del av DENSIQs strategiska mål är att ständigt förbättra verksamheten genom att varje år fokusera på olika miljöaspekter, t.ex. att minska avfall från produktionen. DENSIQ har ett ledningssystem för både kvalitet, miljö, hälsa och säkerhet och är certifierad av tredje part sedan 2005 i enlighet med ISO 9001:2015 samt ISO 14001:2015 där regelbundna uppföljningar och revisioner bidrar till att öka kvalitetssäkerheten och minska miljöbelastningen. I dagsläget har DENSIQ satt egna mål för verksamheten för att minska svinn från produktionen och att minska koldioxidutsläppen. Under 2021 var målet att öka materialutnyttjandegraden genom att minska mängderna spillmaterial. Målen för utsläpp av växthusgaser var att kontinuerligt sänka utsläppen genom att utveckla produkter och tjänster för ett hållbart och cirkulärt samhälle. Företaget har identifierat avfallet som en miljöaspekt och arbetar aktivt med att försöka minska mängden spill från produktionen (DENSIQ internt företagsmaterial, 2021). Företagets materialanvändning beskrivs i figur 7.



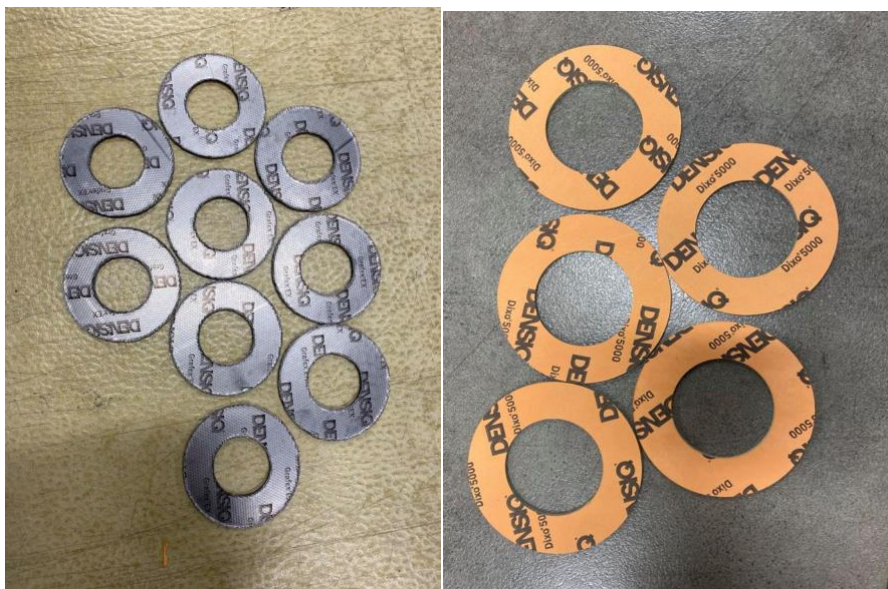
Figur 7: Nuvarande produktionsflöde

2.4.3 Planpackning

Planpackningar är runda ringar med en borttagen rondell i mitten (figur 8b) som fungerar som en tätning mellan två flänsar (figur 8). En fläns är en tunn skiva som ligger längs med eller runt omkring ett föremål och fungerar t.ex. för att sätta ihop ändar på rör (figur 8a). Planpackningar används i industrier som arbetar med t.ex. olja, gas, kemikalier, papper, kraft och energi (DENSIQ, 2021). Val av planpackning styrs av tryck, temperatur och ämne i rören. DENSIQ producerar planpackningar i 23 olika material (figur 9). Eftersom planpackningarna är runda innebär det att det ofta skapas spillmaterial. Avfallsmängden från produktionen av planpackningar uppskattas vara cirka 55 procent.



Figur 8: Bilder på planpackningar i flänsar



Figur 9: Planpackningar av materialen Grafex EX och Dixo 5000

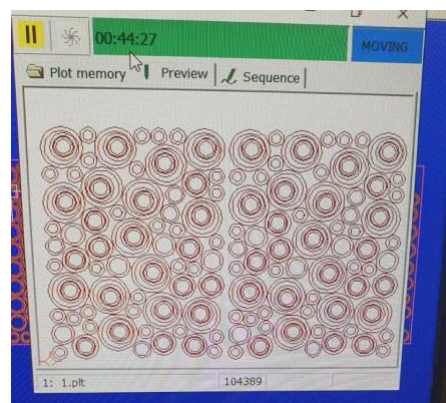
2.4.4 Tillverkning av en planpackning

Planpackningar tillverkas genom att skära ut ringarna och rondellerna från ett rektangulärt ark (figur 10). Tillverkningen av planpackningar styrs av kund- eller lagerordrar. Beställning från kund anger specifika artiklar och antal planpackningar. Lagerorder beställs när lagernivåerna på en artikel blir för låg. Ordern anger den materialmängd som krävs. Om det finns plats kvar på arket när orderartiklarna är programmerade kan ytterligare planpackningar programmeras in och skickas till lager. Extra artiklar som tillverkas utöver orderantalet läggs på ett bord och räknas som produkter i arbete.



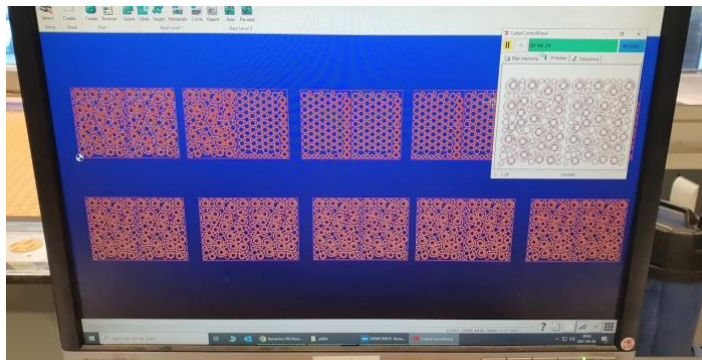
Figur 10: En av skärmaskinerna i arbete

Utskärningsprogrammet skapar en 3 millimeters säkerhetsmarginal, dels från kanten och dels mellan packningarna. Processen är i dagsläget inte standardiserad och placeringen på arken beror på vilken produkt som ska skäras. Operatörerna har erfarenhet, utbildning och datorprogrammet till hjälp vid utplacering av packningar för att materialutnyttja arket. Programmeringen av placeringen av packningarna utförs på olika sätt vilket medför att spillmaterialets mängd också varierar. Det är bara artiklar som har programmerats in som finns med i programmet även om materialutnyttjandet hade blivit högre genom att ta med artiklar av andra mått. Utskärningsprogrammet optimerar utläggningen av packningar med avseende på avstånd och utplacering. Programmet kan utesluta artiklar som skulle vara med på arket för att göra mönstret materialeffektivt. För att öka materialeffektiviteten kan mindre packningar placeras i större, dvs rondellen från en större planpackning utnyttjas till mindre planpackningar (figur 11). Hur detta används beror på storlekarna på ordern och om det finns tid att programmera fler planpackningar.



Figur 11: Två programmerade ark

Programmeringen innebär att storleken på marginalerna varierar (figur 12). Marginalerna fungerar som en försäkring om att planpackningarna håller toleranskrav (tabell 2). Om planpackningarna ligger för tätt ökar risken att inte möta toleranskraven eftersom att skärmaskinskniven skär på samma ställe två gånger. I de fall när det är hög tidspress saknas tid att anpassa programmeringen vilket ofta innebär att spillet ökar.



Figur 12: Programmeringen av utskärningen

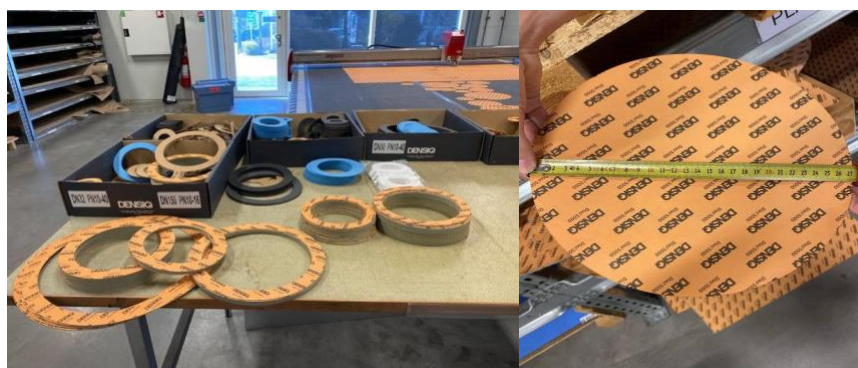
Artiklarna kontrolleras mäts och inspekteras visuellt i kontrollen och om det finns fel loggas det som ett "Internal complaint" i företagets ärendehanteringssystem. Ur varje batch kontrolleras en planpackning för små artiklar och fler för de stora artiklarna. Toleranserna för artiklarna varierar beroende på vilka mått artikeln har (tabell 2).

Tabell 2: Toleranser beroende på storlek

Storlek på packning:	Innermått tolerans:	Ytermått tolerans:
0-150mm	-0/ +0,5 mm	+0/-0,5 mm
150-2 000 mm	-0/ +1 mm	+0/-1 mm

2.4.5 Efterhantering

Arkbeställning beror på Minimum Order Quantity (MOQ), som anger det minsta antalet producerade produkter. Lagernivåerna justeras varje månad för att säkerställa saldot på artiklar och ark. Saldot räknas av mot produktionsorder under månaden. Vissa spillbitar från utskärningen sparas i lager för att användas senare (figur 13). Lagergränserna för artiklar är olika anpassad efter hur många artiklar som säljs per månad. Om artiklar produceras utanför en order eller fler än vad ordern säger läggs artiklarna i ett lager för produkter i arbete (figur 13).



Figur 13: PIA-bordet (produkter i arbete) & Spillbit som har sparats

Trots hög materialeffektivitet skapar hanteringen och programmeringen spillmaterial. Rutinerna beskriver att spillmaterial ska användas i första hand när nya planpackningar tillverkas. Hur rutinen genomförs beror på tid och mängd artiklar. Utskärningen av mindre arkbitar är svårare att genomföra och tar tid att programmera. Spillet som inte används blir blandat avfall och energiåtervinns (figur 14).



Figur 14: Material som går till förbränning

Avfallsstatistiken för brännbart avfall var 21 020 kg (2020) och 33 240 kg (2019). Fraktionen innehåller dels planpackningar och dels annat material, där planpackningar utgjorde den större mängden. Företaget saknar avfallsstatistik för separata materialflöden men en uppskattning är att 30 artiklar av Dixo 5000 skapar 9321,3 kg avfall på två år, dvs cirka 17 procent av det totala brännbara avfallet.

3. Metod

Litteraturstudier har bidragit med kunskap om avfallshantering och produktion. Dokumentstudier, observationer och samtal har utförts för att få utreda möjligheter till att minska slöserier. Simuleringen bidrog med att visa hur ett mönster kan vara yteffektivt. Experiment har genomförts för att utforska möjligheter till materialutnyttjande för att minska avfallsmängderna.

3.1 Datainsamling

Olika metoder har använts för att samla in och bearbeta information till arbetet. Nedan beskrivs datainsamlingsmetoderna som använts till denna studie.

3.1.1 Litteratur och internt företagsmaterial

Litteraturstudien delades upp i en tidig orienterande studie och senare en djupare studie med kompletterande litteratur. Den tidiga litteraturstudien behandlade produktion och avfallshantering och sökorden som användes var: *Lean production, Lean & Green, återvinning, återanvändning, avfallshierarki, ekodesign, livscykelanalys, hållbar utveckling och biomimetik*. Den senare litteraturstudien fokuserade på produktion och avfallshantering med sökorden: *optimering, kompositmaterial, fraktaler, graphite recycling, nitrilgummi, aramidfiber, dematerialisering, livscykeltänk, ISO, greenhouse gases och sustainable development goals*. Informationen är främst hämtad från Chalmers bibliotek databas och Google Scholar, men även från faktaböcker inom ämnesområdena *ekodesign, hållbar utveckling, miljöledning och biomimetik*.

Information och dokument som företaget delat kommer att hanteras som interna dokument som ger sammanhang kring organisationen och produktionen. Företagets organisationskarta och strategiska mål användes till att identifiera vem som hade information. Materialspecifikationer användes för att utvärdera möjlighet för återvinning av planpackningar. Försäljningsdata användes för välja ut artiklar av Dixo 5000. Andra dokument som använts är kvalitetskontroller som använts till att se varför planpackningar kasseras. Företagets operatörer hjälpte till att förklara planpackningstillverkningen samtidigt som det gavs möjlighet att ställa frågor.

Planpackningsmaterialen Dixo 5000 och Grafex EX har valts ut eftersom att de är materialen med störst försäljning. Dixo 5000 består av materialet nitrilgummibunden aramid- och minerald- eller fyllmedel (internt företagsmaterial). Rapporten fokuserar på 30 artiklar av Dixo 5000 som sålde över 1 000 st under perioden 2019 och 2020 med tjocklek 1,5mm. Arken som planpackningar av Dixo 5000 skärs ut ifrån hade dimensionerna 2000x1500x1,5mm och 2019-2020 köpte företaget in 2241 stycken. Måtten för Grafex EX har dimensionerna 2000x1000x1,5mm.

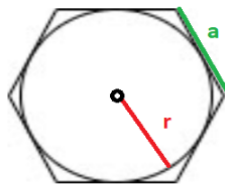
3.1.2 Samtal och observationer

Företagets tillverkningsprocess förklarades genom samtal och observationer. Samtalen var semistrukturerade och anpassade efter situation. Det innebar att vissa av frågorna var förutbestämda och att samtalen kretsade kring ett specifikt område, exempelvis samtal kring produktens design. Under observationerna var samtalen ostrukturerade vilket innebar fria samtal där frågor uppkom efterhand men ofta med ett förutbestämt tema (Björklund & Paulsson, 2012). Samtalen och observationerna bidrog också till att hitta möjligheter att minska avfallsmängden från produktionen av Dixo 5000. Produktionschefen och operatörerna förklarade och gav information angående tillvägagångssättet i fabriken och hur skärmaskinerna fungerar. Produktchefen bidrog med materialinformation och produktdesign. En säljare gav information kring försäljningsstatistik och om kunderna köper spillmaterial. En leverantör kontaktades för att undersöka om spillmaterial kunde återvinnas eller returneras för att återvinna materialen Dixo 5000 och Grafex EX. Observationerna har använts för att visualisera hur produktionen fungerar. I observationerna ingick hur maskinerna programmerades, hur produkterna skars ut, noggrannheten av skärmaskinerna samt vad som hände med spillmaterial. Observationerna var en blandning av deltagande observation och iakttagande av händelsen utifrån (Björklund & Paulsson, 2012). Alla observationer och samtal dokumenterades med anteckningar och renskrevs direkt efter mötena.

3.2 Experiment & beräkningar

För att hitta yteffektiva sätt att skära ut packningar testades hur planpackningarna kunde placeras på arken under utskärning. Testet genomfördes för att undersöka om det fanns möjlighet att ta bort säkerhetsmarginalen mellan packningarna. Produkterna kontrollerades och inspekterades visuellt i kvalitetsavdelningen utan operatörens vetskap hur packningarna hade producerats. Hexagoner är en av de mest effektiva formerna för materialutnyttjande. En cirkel med ytterdiametern 107 mm placerades och jämfördes i en hexagon och en kvadrat. Ekvationerna som användes till beräkningen av hexagoners area var:

$$A = \frac{(3 \times \sqrt{3})}{2} \times a^2, \quad r = \frac{107}{2}, \quad r = \frac{(a \times \sqrt{3})}{2}$$



Figur 15: Variabler i en hexagonberäkning

A= hexagonens area

r= cirkelns radie (figur 15)

a= sidan på hexagonen (figur 15)

Lilla a måste lösas ut för att kunna använda formeln för hexagonens area (A).

Från samtalen med produktionschefen och operatörerna framkom det att arken varierade i storlek vilket ledde till att arkens längd mättes eftersom det kunde påverka materialutbytet. Ark av Dixo 5000 vägdes innan och efter utskärning för att kunna bevaka materialutnyttjandet. Vikten av ett ark för Dixo 5000 var 7,8 kg och vikten efter utskärning resulterade i 4,3 kg spillmaterial. I det nuvarande utskärningssystemet blev 55,6 procent till spillmaterial. Motsvarande för Grafex EX är 66,7 procent och 2 kg spillmaterial per ark.

Totalt utfördes fyra vägningar per material. Indata i tabell 3 användes för att räkna ut andelen spill procentuellt för ett ark med ekvationen:

$$\frac{Spill}{Vikt} = \% \text{ andel spill}$$

Tabell 3: Vikt innan och efter vägning av Dixo 5000

Vikt innan utskärning	Vikt efter utskärning
7,8	4,25
7,8	4,5
7,8	4,25
7,8	4,35

3.2.1 Simuleringsmodell

Under arbetet blev det tydligt att utskärningen kunde betraktas som ett optimeringsproblem. Detta ledde till kontakten med Ann-Brith Strömberg, biträdande professor inom matematiska vetenskaper på Chalmers Tekniska Högskola och Edvin Åblad, industridoktorand på Fraunhofer-Chalmers Research Centre (FCC) och Matematiska vetenskaper inom programmet Tillämpad matematik och matematisk statistik. Utgångspunkten för modellen var antalet artiklar som producerades för de 30 utvalda artiklarna, deras mått (bilaga 1) och placering på arket. Uppgiften var att få ett maximalt materialutnyttjande. För att beräkna andelen spill utifrån ett optimerat mönster användes beräkningar av areorna på planpackningarna och uträkningar kan visas i bilaga 1. Edvin Åblad skrev koden till modellen och har copyright på koden för simuleringsmodellen som omfattas av en MIT-licens vilken visas i bilaga 2: "The MIT License (MIT) Copyright (c) 2021 Edvin Åblad.

3.3 Analysstrategi

Frågeställningarna avser att besvara syftet och bryts ner för att förstå vad som påverkar resultaten genom de valda metoderna.

Frågeställning 1 "Hur kan tillverkningsprocessen optimeras för att använda materialet så effektivt som möjligt för att minska svinnet?" besvaras genom tre olika perspektiv:

1. Yteffektiva mönster
2. Lean eller Green
3. Standardisering

Yteffektiva mönster undersöks för att se vad som ger högst materialutnyttjande. Lean och Green diskuteras för att reda ut om miljöaspekter och tillverkning kan kombineras eller inte. Standardisering används för att beskriva vilka processer som kan standardiseras för att nå ett högt materialutnyttjande.

Frågeställning 2 *“Hur kan ett tillverkningsföretag hantera sitt svinn på ett mer hållbart sätt?”*
avser att analyseras i tre olika delar för att hitta möjliga lösningar.

1. Livscykel­tänkande
2. Återvinning & Återanvändning
3. Verksamhetsstrategi

Livscykel­tänkande används för att vidga perspektivet från endast tillverkningen till livscykeln av produkten. Återvinning & återanvändning analyseras för att se vilka möjliga sätt eller flöden som finns för produkterna. Slutligen analyseras vilken verksamhetsstrategi som kan användas för att arbeta hållbart och vilka globala mål som omfattas av att använda strategin.

4. Resultat

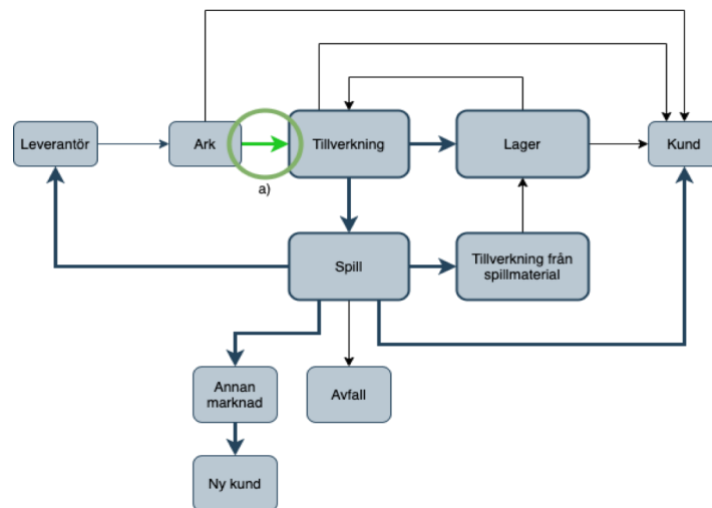
Inledningsvis redovisas resultaten från tillverkningsprocessen baserat på samtal, observationer, experiment och simuleringsmodellen. Sedan presenteras resultat från litteraturstudier, experiment och samtal angående avfallshantering av materialen. Därefter presenteras förbättringen av de tidigare presenterade resultaten jämfört med nuläget. Slutligen presenteras ett förslag på ett utvecklat flödesschema.

4.1 Tillverkning

Resultaten av förbättringar kommer att redovisas på olika ställen i produktionens materialflöde.

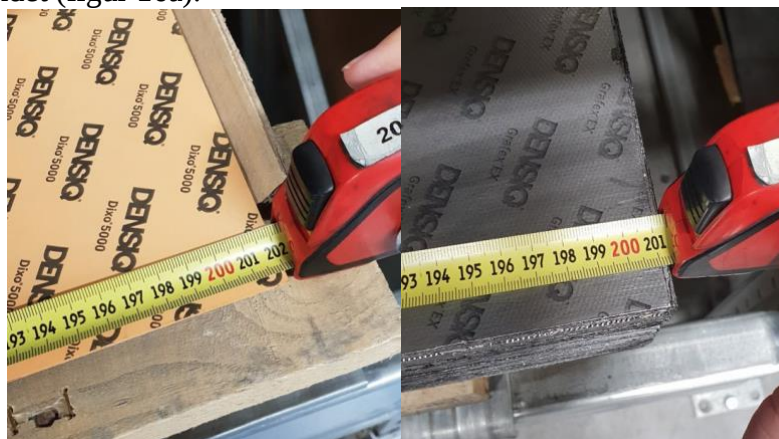
4.1.1 Mätning av arken

Innan planpackningarna skärs ut från arken kan en förbättring ske (figur 16).



Figur 16: Flödesschema med fokus från ark till tillverkning

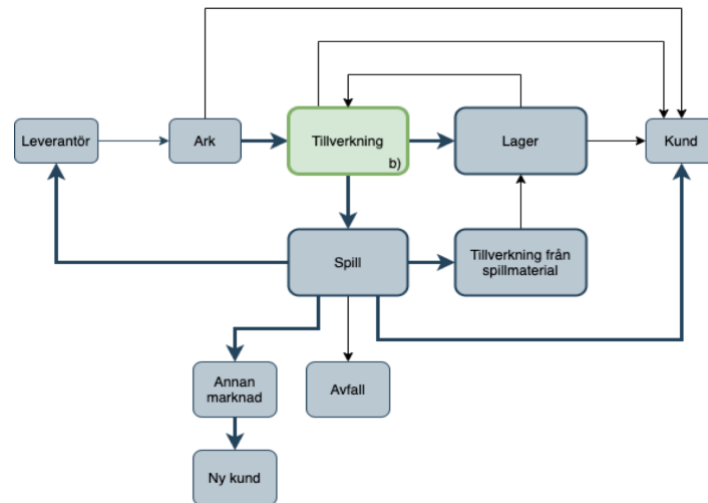
Arkens längd varierar med 1,5-2cm. Arken är generellt större än beställningsmåten 1500x2000mm för Dixo 5000 och 1000x2000mm för Grafex EX. Skillnaderna från beställningsmåten beror på att leverantörerna har toleranser som medför att arken är större (figur 17). Genom att mäta arken innan utskärning kan rätt storlek programmeras för att öka materialutnyttjandet (figur 16a).



Figur 17: Arken för Dixo 5000 och Grafex EX är större än beställningsmåten

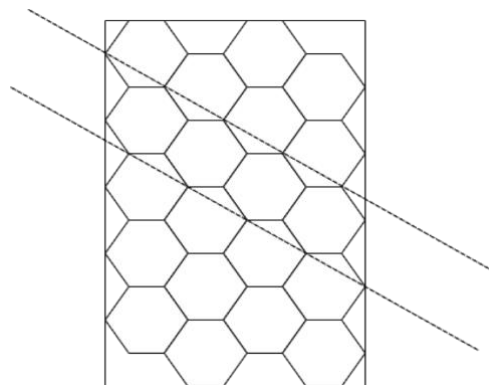
4.1.2 Utformning av planpackning

I tillverkningen (figur 18) har det framkommit att olika faktorer spelar roll för minskad mängd avfall.



Figur 18: Flödesschema med fokus på tillverkning

Enligt produktchefen behöver formen på packningarna vara rund på grund av yttryck och att passa i flänsarna. En hexagonal form hade varit optimal för att öka materialutnyttjandet eftersom att en rund form skapar spillmaterial. När planpackningarna placerades hexagonalt på arket blev materialutnyttjandet 85,1 procent och om planpackningarna placerades kvadratisk blev materialutnyttjandet 75,6 procent (figur 19).

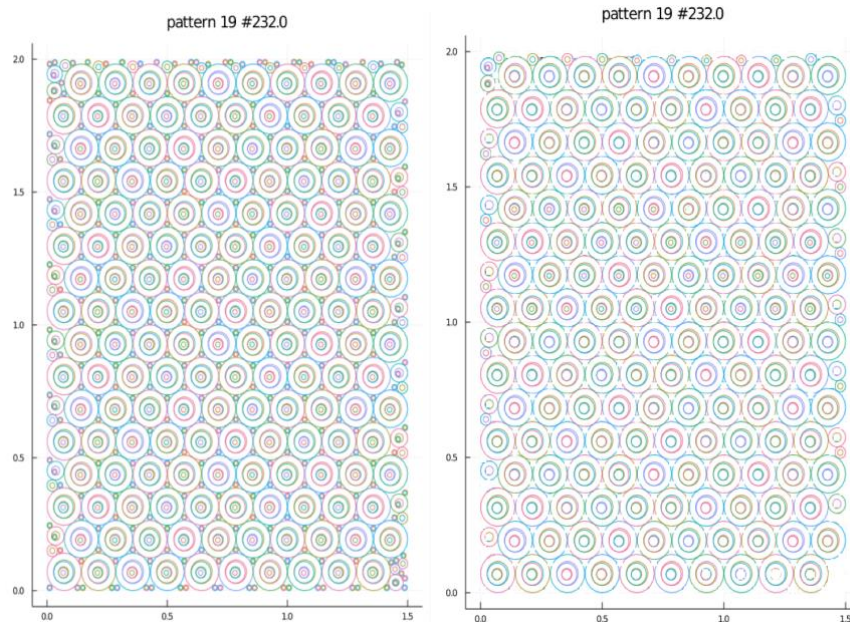


Figur 19: Hexagonal utläggning av packningar

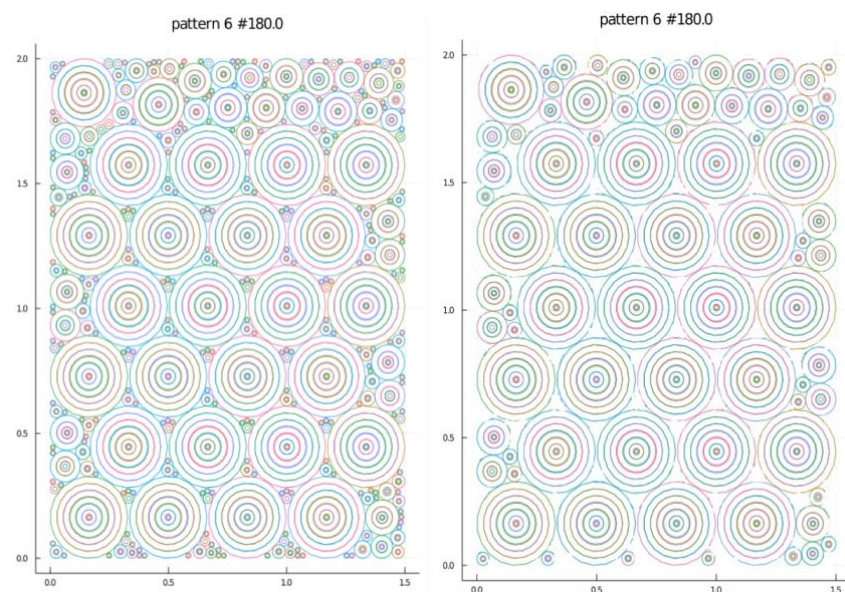
Experimentet att lägga planpackningar av materialet Dixo 5000 med storleken 77mm i diameter i ett tätt hexagonalt mönster (figur 19) visade att produkterna klarade kvalitetskraven och bidrog till fler packningar på ett ark än i en utskärning med marginaler. Om planpackningarna läggs hexagonalt får man ut 284 produkter istället för 252st när de placeras kvadratisk, dvs 32st fler produkter, enligt beräkningar. När planpackningarna läggs hexagonalt kvarstår det lite spillmaterial vilket kräver en omfattande process för att utnyttjas i skärmaskinerna. Planpackningar av materialet Grafex EX var svårare att optimera eftersom metallen inte kan läggas i ett tätt hexagonalt mönster. Packningarna blir fransiga och får vassa kanter. Den minsta säkerhetsmarginalen mellan packningarna behövde vara tre millimeter. Ytterligare sätt att öka materialutnyttjandet var att placera planpackningarna i varandra. Placeringen av planpackningar beror på vilka artiklar som tillverkas.

4.1.3 Simulering

För att förbättra materialutnyttjandet ytterligare behöver det standardiseras. Resultatet av simuleringsmodellen gav 21 olika optimerade ark av 30 artiklar i olika storlekar för Dixo 5000. Mönstren tar hänsyn till att minst producera antalet sålda produkter men saknar en övre gräns vilket skulle leda till överproduktion. Utifrån de optimala arken (till vänster i figur 20 och 21) togs de artiklar bort som skulle bidra till överproduktion för att få ut ett mer realistiskt mönster (till höger i figur 20 och 21). Det medför att spillet ökar men skapar ingen överproduktion. Hashtaggen (#) i figurena 20 och 21 syftar till antalet gånger det mönstret ska produceras över två år.



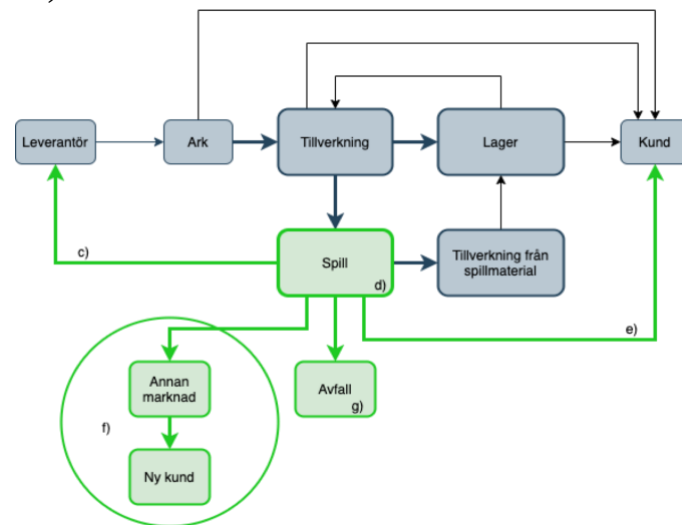
Figur 20: Till vänster: är det optimerade arket enligt datorprogrammet, till höger: förenklat mönster för att minska överproduktion



Figur 21: Till vänster: är det optimerade arket enligt datorprogrammet, till höger: förenklat mönster för att minska överproduktion

4.2 Avfallshantering

I detta avsnitt behandlas vilka förbättringar eller möjligheter som finns för att hantera avfallet från tillverkningen av planpackningar. Flödesschemat visar olika tänkbara flödet för spillmaterialet (figur 22).



Figur 22: Flödesschema med fokus på spill och avfallshantering

4.2.1 Möjligheter till att hantera spill

För att minimera avfallet eller återanvända det behöver materialet behålla sitt värde genom att vara kvar inom systemgränsen. De möjliga återanvändningsflödena är tillbaka till leverantören eller att materialet säljs till kunder eller på en ny marknad (figur 22). Spillbitarna från Dixo 5000 har lång livslängd vilket gör att materialet behåller sin kvalitet.

Återvinning av kompositmaterial av plast och fiber är utmanande eftersom att materialet är beständigt. Dixo 5000 består av kompositmaterialet aramidfiber vilket i sig är svårt att återvinna, men det finns återvinningsmetoder, om än inte vanliga eftersom det finns en del utmaningar med dem. Möjliga metoder för materialåtervinning är termokemisk eller kemisk återvinning (figur 22g) (Smuk, 2019). Olika företag i Storbritannien, Japan, Tyskland, Italien och USA återvinner kompositmaterial av kol och/eller glas genom pyrolys. Aramidfiber har hög kemisk resistens och hög smältpunkt men löses upp med koncentrerad syra. Aramider kan återvinnas genom mekanisk raffinering där materialet löses upp genom kemisk-tekniska processer eller fibrillering där fibrerna slås isär för att få ut aramid av lägre kvalitet, men detta kräver en stor mängd energi och tid (Yang et al., 2021). Det saknas litteratur om återvinning av aramidfiber med kemiska metoder (Okajima et al., 2019).

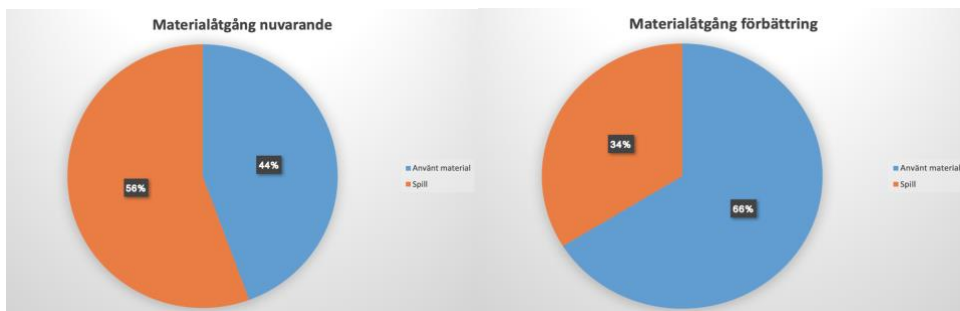
I produktionen av Grafex EX pressas grafiten på metallen vilket gör att de är lätta att separera och återvinna (figur 22g). Eftersom kol är ett legeringsämne som alltid ingår i stål och grafit består av kolatomer skulle stålet och grafiten kunna hettas upp för att blanda kolatomerna direkt och på det sättet höja kolhalten i stålet (Bergquist, 2017). Grafiten kan återvinnas i ståltillverkning och metallen kan smältas ner. Återanvändandet av Grafex EX finns inga möjligheter till i nuläget.



Figur 23: Skalar av grafiten samt visar en avskalad Grafex EX jämfört med en med grafiten kvar. Metallen visas med en pil.

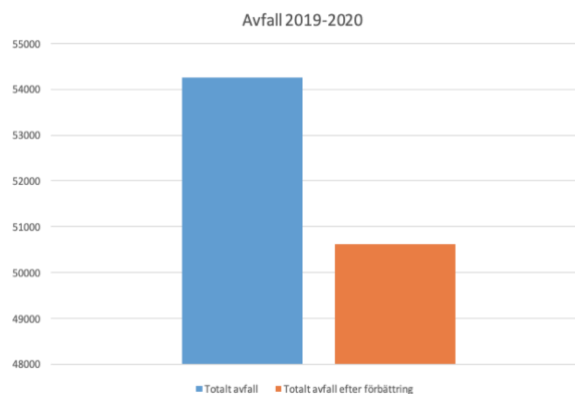
4.3 Andel spillmaterial

Utläggningen på arken baserat på ett optimerat mönster som skulle innebära överproduktion. I den mer realitetsanpassade utläggningen blir det ingen överproduktion men mer spillmaterial. En yteffektiv utläggning som inte överproducerar skulle innebära för 30 artiklar av Dixo 5000 att mängden spillmaterial skulle minska från 55,6 procent till 33,8 procent (figur 24). Detta innebär en minskning med 21,8 procentenheter på två år.



Figur 24: Nuvarande materialåtgång jämfört med förbättring

En uppskattning är att 30 artiklar av Dixo 5000 med tjockleken 1,5mm står för 95,9 procent av försäljningen vilket innebär att DENSIOQ köper cirka 2149 ark. Ett bättre materialutnyttjande innebär att antalet inköpta ark minskar med 21,8 procentenheter, dvs antalet inköpta ark blir 1774 st ark, vilket blir en minskning med 467 st ark på två år. Detta blir en besparing eftersom företaget inte behöver köpa in lika mycket material. Eftersom mindre spill skapas av varje produkt resulterar detta i en minskning av kostnaden per produkt. Om företaget behåller samma pris får de en högre vinst per producerad enhet.

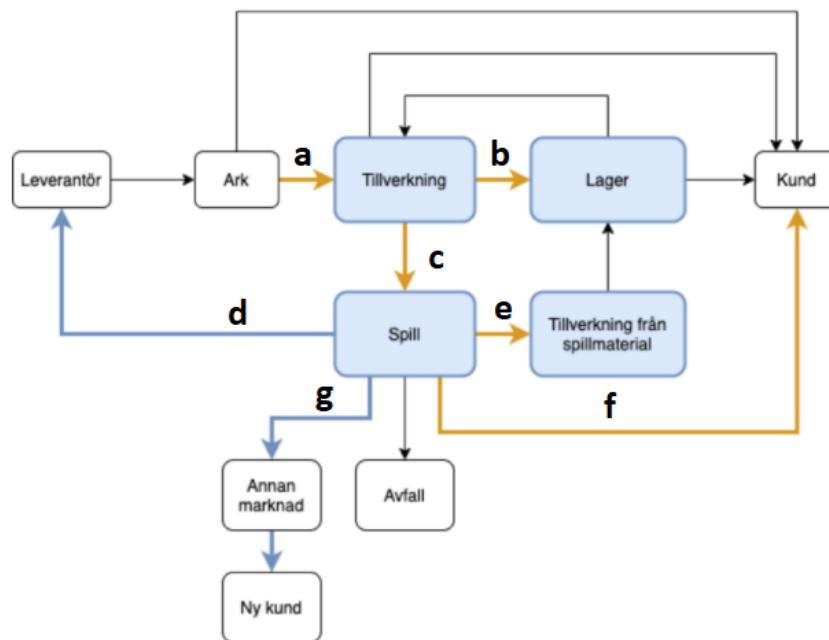


Figur 25: Nuvarande avfallsmängd jämfört med förbättring

Den nuvarande avfallsmängden var 54 260kg. Genom att använda optimerade mönster på 30 artiklar av Dixo 5000 blev det totala avfallet 50 624,6kg, alltså 6,7 procent minskning (figur 25). Om spillmaterial av Grafex EX skulle materialåtervinnas skulle mängden brännbart spill kunna minska ännu mer.

4.4 Förslag på nytt flöde

Detta avsnitt beskriver olika flöden som kan användas för att öka materialutnyttjandet och minimera avfallsmängden. Resultaten har bidragit till ett nytt möjligt flödesschema (figur 26). De gula pilarna innebär flöden med förbättringspotential och de blåa är nya möjliga flöden.



Figur 26: Alternativt flödesschema

Materialutnyttjandet ökar om arken mäts innan tillverkningen och utskärningen anpassas efter arkens precisa mått (figur 26, a). Lagernivåerna påverkas av ändringar i tillverkningen och därmed bör tillverkningen av planpackningar optimeras utifrån försäljningsstatistik för att lagernivåerna inte ska bli för stora och för att produkterna inte ska kasseras på grund av för kort livslängd (figur 26, b). När tillverkningen förbättras genom att lägga packningar i ett tätt hexagonalt mönster enligt tidigare resultat minskar spillmängden och därmed minskar per automatik mängden avfall som skapas (figur 26, c). En möjlig återvinning skulle vara om leverantörerna skulle kunna återanvända materialet i spillbitarna i produktionen av arken (figur 26, d). Leverantörerna har i dagsläget inte möjlighet att ta tillbaka spillet för att återanvända i sin egen produktion. Det går att minska mängden avfall genom att utnyttja spillbitar mer, t.ex. genom att använda en stans eller försöka få så stora spillbitar som möjligt vid utskärning (figur 26, e). Vissa kunder köper hela ark och det är en möjlighet att kontakta dem för att se om de är intresserade av att också köpa spillbitar och därmed utöka försäljningen av spillmaterial till fler kunder (figur 26, f). Det finns också möjligheter att se om några andra marknader skulle vara intresserade av spillet (figur 26, g).

5. Analys

Analysdelen innefattar två frågeställningar som besvaras genom att resultaten analyseras utifrån olika faktorer. Faktorerna varierar beroende på frågeställning men diskuteras med utgångspunkt i ett Lean och Green-perspektiv, dvs både likheter och skillnader i miljöaspekter och produktionsaspekter behandlas.

5.1 “Hur kan tillverkningsprocessen optimeras för att använda materialet så effektivt som möjligt för att minska svinnet?”

Avfall från utskärningen av produkter beror på flera olika faktorer, t.ex. programmeringen och hanteringen av spillbitar. Frågeställning 1 besvaras genom att analysera resultaten utifrån tre olika perspektiv: yteffektiva mönster, Lean eller Green och standardisering.

5.1.1 Yteffektiva mönster

Det finns olika möjligheter att minska spillet från utskärningen, genom att använda materialutnyttjande mönster och att mäta arken. När programmeringen utförs utan bestämda mönster skapas en högre andel spillmaterial än ett standardiserat sätt. Genom att undersöka yteffektiva mönster framkom det att ett hexagonalt mönster är bäst lämpat för att utnyttja material så mycket som möjligt vilket följer idéerna i biomimetik (Ball, 2011). Genom att härma naturen kan man vara så resurseffektiv som möjligt. Exempelvis är formen på bikupor hexagonal, vilket styrker argumentet för att använda den placeringen när man väljer mönster för effektivt materialutnyttjande.

Genom att ta bort eller minimera säkerhetsmarginaler och välja ett hexagonalt mönster utnyttjas materialet mer vid tillverkning. Det finns en risk att produkterna blir felaktiga i högre grad än med säkerhetsmarginaler och därmed behöver kasseras, vilket inte bidrar till ett effektivt materialutnyttjande i slutändan. Det mest optimala utifrån frågeställningen är att producera enligt simuleringsprogrammets beräkning som ger en hexagonal utplacering eftersom det ger ett högt materialutnyttjande. För företaget är materialutnyttjandet inte den enda faktorn att ta i beaktning vid implementering av specifika mönster och därför rekommenderas ett optimerat mönster där överproduktion minimeras.

5.1.2 Lean eller Green?

Lean och Green är olika filosofier trots att de har tre slöserier gemensamt dvs materialutnyttjande, materialets värde och lagerhållning. Icke-värdeskapande aktiviteter betyder enligt Lean att allt som inte tillför värde till kund är slöserier. Enligt Green är det slöseri att använda mycket material och energi samt att producera stor mängd avfall. Processer i ett företag kan vara positiva ur både ett Lean och ett Green-perspektiv. Det finns delar där Lean är positivt och Green är negativt och vice versa.

Både Lean-filosofin och Green-filosofin vill skapa ett högt materialutnyttjande. De material som företaget använder är de materialen marknaden vill ha, vilket är positivt ur ett Lean-perspektiv eftersom kundens behov uppfylls. Miljöbelastningen från dessa material är hög vilket är negativt ur ett Green-perspektiv. Enligt Green behöver materialåtgången minska vilket kan vara möjligt om materialen som inte går att återvinna byts ut till förnybara material med samma funktion. Om materialet behåller sitt värde sparas också energin och materialåtgången minskar. Aramidfiber bränns upp och förlorar alltså sitt värde eftersom energin går ut ur systemet.

Grafex EX kan behållas enligt Green om materialet återvinns och inte skickas till förbränning. Det innebär därmed att materialet blir positivt ur ett Lean-perspektiv för att kundens behov uppfylls och ur ett Green-perspektiv för att materialet fortsätter att användas. Enligt Lean kan det vara positivt att byta material om kunderna uttrycker ett behov av att använda miljövänliga material. Eftersom att Lean fokuserar på att möta kundens behov med rätt kvalitet skulle det kunna omfatta förnybara material enligt Green.

Genom att minska mängden spill som skapas vid tillverkning kan företaget arbeta både enligt Lean och Green eftersom båda metoderna syftar till att minska slöserier. I dagsläget mäts inte arken innan utskärning av planpackningar vilket inte är i enlighet med Lean eller Green. Eftersom att arken konstaterats vara större än beställningsmåttan är det en materialförlust som skulle kunna undvikas genom att mäta arken innan tillverkning av packningar. Det kan sägas att detta skapar onödigt arbete enligt Lean och att det istället bör justeras redan hos leverantören. Å andra sidan skrivs måtten på arket in vid programmeringen i dagsläget vilket är ett moment som är nödvändigt för att skapa produkten. Det kan alltså argumenteras för att mätning av ark kan vara en värdeskapande aktivitet, men framförallt ett sätt att öka materialutnyttjandet enligt både Lean och Green.

Lager är ett slöseri enligt Lean eftersom att det inte bidrar med värde till kund, men samtidigt vill man ha ett högt materialutnyttjande i tillverkningsprocessen. Green-filosofin anser inte att lager är ett slöseri utan fokuserar bara på materialutnyttjandet. Lager är inte miljöbelastande enligt Green så länge materialet nyttjas efter att ha lagrats. Om produkterna måste kasseras på grund av att livslängden är kortare än lagertiden blir det ett slöseri enligt Green. Lean vill utnyttja materialet så effektivt som möjligt men samtidigt inte skapa lager, så här blir det en konflikt. Hur väljer man vad som är bäst eller det viktigaste slöseriet att fokusera på? I detta fall när man försöker kombinera Lean och Green kan det uppfattas att båda filosofierna håller med om att utnyttja materialet, vilket överväger nackdelen att lager skapas så länge produkternas livslängd är längre än den förväntade lagertiden. Genom att använda effektiva mönster i tillverkningen av planpackningar skapas lite spillmaterial. Effektiva mönster bidrar till ett ökat lager eftersom fler produkter skärs ut från varje ark och därför bör mönstren anpassas för att fungera i både ett Lean och ett Green-perspektiv.

Materialutnyttjandet ökar om ett tätt hexagonalt mönster används. Ett tätt mönster kan innebära att produkter blir felaktiga vid utskärning. Detta resulterar i kasserade produkter, som därmed inte har ett värde för kund och inte kan användas i det syfte det var tänkt till. Detta är något som både Green och Lean vill motverka. Enligt Lean beror kvalitetsbrister på att något har utförts på fel sätt och behöver standardiseras så att felet inte uppstår igen. Tittar man ur ett Green-perspektiv behöver en felaktig produkt inte vara försummad, så länge den kan ingå i systemet, exempelvis genom att återgå till leverantör. Felaktiga produkter föredras inte inom Green eftersom materialet ska utnyttjas, men ur detta perspektivet finns det fler möjligheter än vad Lean ser. Lean stoppar produktionen vid fel och risken finns att produkterna inte kan placeras tätt, utan att säkerhetsmarginaler används för att justera felet på produkten. Detta ger en konflikt eftersom materialutnyttjandet sänks för att minska kvalitetsbrister.

5.1.3 Standardisering

Enligt Lean är standardisering en metod för att minska slöserier och kunna arbeta med ständiga förbättringar (Mílkva, et al., 2016). Företaget arbetar i dagsläget med att försöka förbättra sin produktion och engagera sig i att uppnå de miljökrav som de har ställt. Även om företaget i dagsläget inte arbetar helt i enlighet med Lean-principen skulle standardisering vara ett sätt att minska resursanvändningen. Det som kan standardiseras är mätning av ark, avstånd mellan packningar, placering av packningar och att använda optimerade mönster.

Möjligheter till standardisering har undersökts på två av 23 material. Standardiseringar kan införas i processerna oavsett vilket material som används. När programmering utförs ska minimala avstånd vara standard. Vissa av materialen, exempelvis Grafex EX, kräver säkerhetsavstånd för att produkterna ska godkännas i kvalitetskontrollen. Om säkerhetsmarginalen bestäms till ett specifikt mått blir det inte sporadiska avstånd mellan packningarna. Genom att standardisera avståndet går det att förutspå hur mycket spill som skapas från utskärningen. Om det inte ska produceras tillräckligt många packningar för att täcka hela arket ska placeringen av packningarna vara på ett sånt sätt att så stora spillbitar som möjligt blir kvar. Spillbitarna kan därmed sparas för att användas igen eftersom att de är tillräckligt stora. De bitar som sparas måste användas i första hand såsom företagets standard säger.

Ett standardiserat mönster som tagits fram med utgångspunkt att vara så materialeffektivt som möjligt men som ändå är anpassat efter företagets försäljningsstatistik kan användas. Det innebär att lagernivåerna är rimliga och att spillet ändå minimeras. Om företaget kan öka efterfrågan på sina produkter så att det matchar det ett ännu mer optimerat mönster kan det vara en potential för att öka materialutnyttjandet framtiden.

För varje tillverkningsorder rapporteras kassationer och orsaker in i företagets affärssystem. Denna informationen går inte i dagsläget att läsa ut på ett rationellt och effektivt sätt eftersom det saknas analysverktyg för detta. En möjlig förbättring är att företaget tar fram ett standardiserat sätt att analysera denna information för att stödja arbetet med att minska avfall som beror på kassationer. Ett standardiserat arbetssätt lägger grunden för ständiga förbättringar och bidrar till att minska mängden defekta produkter genom att göra rätt från början. Analysverktyg till kvalitetssystemet skulle ge en ökad förståelse för vad som blir fel och varför produkter kasseras. Därefter kan man jobba vidare med detta och försöka förbättra och minska felen genom att förbättra tillverkningsprocessen och minska spillet. Genom att tillämpa analys på kassationsutfallet kan man verifiera om ändringar i produktionen får någon negativ effekt på lång sikt.

För att kunna se hur mycket som slängs av de olika materialen och sedan kunna avgöra var företaget behöver göra förbättringar borde spillmaterialen separeras i avfallscontainrar så att företaget har konkreta siffror på hur stora mängder som slängs från varje material. På detta sätt skulle företaget kunna få en bättre bild av vilka material som mest spill kommer ifrån och anpassa och standardisera produktionen för det materialet. Om standardisering införs så kommer det bidra till en grund för ständiga förbättringar enligt Lean-principen.

5.2 “Hur kan ett tillverkningsföretag hantera sitt svinn på ett mer hållbart sätt?”

Hållbar hantering av avfall kan uppnås genom olika metoder och synsätt. De tre områden som analyseras för att besvara frågeställning två är livscykelräkning, återvinning och återanvändning och verksamhetsstrategi.

5.2.1 Livscykelräkning

För att arbeta med att minska svinn på ett hållbart sätt krävs en förståelse för vilka utsläpp som skapas under produktens livscykel. Scope 1 (företagets egna utsläpp) och Scope 2 (den inköpta energin) är oftast lättare att analysera än Scope 3. För att hantera utsläpp utanför grindarna till företaget krävs en god kommunikation med leverantörer, anställda och kunder. Om företag vill bli klimatneutrala behöver utsläpp från Scope 3 tas med i beräkningarna. Det första företaget behöver göra är att kartlägga livscykeln och utsläppen från produkten. Därefter kan företaget fokusera på de delar som skapar mycket utsläpp och genomföra förändringar, exempelvis i avfallshanteringen. Företaget jobbar redan med scoopen men i dagsläget har de inte kartlagt scope 3. Scope 3 är bra för företagets miljöanalys eftersom det visar hela kedjans utsläpp och företaget kan därför jobba tillsammans med leverantörer för att göra sina produkters miljöpåverkan så liten som möjligt. När scope 3 är kartlagt är det enklare att hitta möjliga alternativa flöden där materialen cirkulerar inom systemgränserna för livscykeln.

Genom att minska mängden avfall från ett steg i livscykeln kommer dess relationer påverkas eftersom allt hänger samman som ett system av interaktioner. Lean fokuserar på grind till grind i livscykeln. Enligt Green kan systemgränserna anpassas efter vad som ska analyseras. När Green och Lean kombineras är det lätt att bara fokusera på grind till grind. För att minska miljöbelastningen kan man enligt Green använda andra flöden för materialet än att endast förädla material till kund som Lean förespråkar. Genom att sälja spill till fler kunder skapas ett flöde där materialet bibehåller sitt värde enligt Green, och detta uppfattas som en värdeskapande aktivitet enligt Lean eftersom kundens behov tillgodoses. Om flödet innebär att spillmaterial skickas tillbaka till leverantör uppfattas detta som en icke-värdeskapande aktivitet inom Lean, eftersom det inte ger något värde till kunden. Det kan återkopplas till att både Lean och Green vill utnyttja material så mycket som möjligt, men att Lean endast vill göra det inom ramarna för systemgränsen grind till grind för att skapa värde för kunden.

5.2.2 Återvinning & återanvändning

En del i avfallstrappan är återvinning. Istället för att förbränna material kan det återvinnas på andra sätt. Metoder för att återvinna kompositmaterial är i dagsläget inte utvecklade på grund av kostnaden och energin som krävs för dessa. De återvinningsmetoder som finns är främst utvecklade för metaller, men eftersom användandet av polymerer ökat tillkommer behovet av utvecklade återvinningsmetoder för dessa.

Ett möjligt flöde för återvinning av spillmaterial skulle kunna vara att leverantörer tar hand om det för att återskapa materialet. Återvinning av Dixo 5000 är svårt på grund av aramidfibern. Det finns metoder som troligtvis kan återvinna aramidfiber, men än så länge är de inte vanliga. Anläggningar som återvinner kompositmaterial tar främst hand om glasfiber. I Grafex EX går det att separera grafiten från metallen och därför är detta material lättare att återvinna. Företaget kan leta efter möjligheter att få kontakt med ett företag som använder grafit för att höja kolhalten i stål och därmed kan det finnas en möjlighet att de slipper separera de olika materialen. Ett lättare sätt för företaget att kunna återvinna material är att byta ut befintliga material till sådana som det finns etablerade metoder till för återvinning.

En annan del av avfallstrappan är återanvändning. En fördel med kompositmaterial är dess livslängd vilket är ett incitament för att återanvända det och öka resurseffektiviteten. Företaget säljer spill i vissa material vilket skulle kunna utvecklas till fler material och fler kunder. Det skulle innebära att spillmaterial används i ytterligare en produktion och att det inte tappar värde. Ett ytterligare flöde är att leverantörer kan återta materialet. Detta är inte möjligt i dagsläget men om materialet byts ut till ett förnybart material kan ett sådant flöde vara intressant. Det är också en möjlighet att öka materialutnyttjandet genom att låta spillmaterialet användas mer i tillverkningsprocessen. För att få ett bättre helhetsflöde för att minska utsläpp behöver scope 3 tas i beaktning och om företaget vill skapa fler möjligheter för att minska miljöbelastningen behöver material som inte är återvinningsbara bytas ut.

5.2.3 Verksamhetsstrategi

Ett annat sätt för företaget att arbeta med hållbarhet är att arbeta mot de globala målen. Eftersom målen är välkända är detta också ett sätt att lätt kunna förmedla sitt miljöarbete till bland annat kunder. De globala målen bidrar till det cirkulära tänkandet. De mål som kan kopplas till denna rapport och därmed företagets produktion är mål 9 och 12. Mål 9 handlar om hållbar industri, innovationer och infrastruktur och företaget kan, genom att använda tidigare föreslagna flöden, arbeta mot delmål 9.4 som handlar om effektivare resursanvändning. I mål 12 som handlar om hållbar konsumtion och produktion berör rapporten bland annat delmål 12.2 vilket handlar om att senast 2030 använda naturresurserna effektivare. Delmål 12.4 skulle vara uppnått år 2020 och handlar om att ha en miljövänlig hantering av avfallet under hela livscykeln. Mål 12.5 syftar att till 2030 minska drastiskt på mängden avfall med hjälp av minimering, återvinning och återanvändning.

En verksamhetsstrategi som har använts mycket i rapporten är Lean och Green. Lean är en populär verksamhetsstrategi hos tillverkningsföretag över hela världen. Eftersom Lean har vissa aspekter som bidrar med positiv miljöpåverkan, trots att Lean inte aktivt fokuserar på miljöförbättringar, kan denna strategi användas för att förbättra produktionen och minska avfall. Green innefattar de miljömetoder som företag kan använda för att exempelvis arbeta med scope tre. Tillsammans ger Lean och Green en strategi som kan fungera både ur ett produktionsperspektiv och ett miljöperspektiv.

6. Diskussion

Nedan presenteras en diskussion kring rapportens styrkor och svagheter baserat på teori, metod, resultat och analys. Trovärdigheten, allmängiltigheten och tillförlitligheten i rapporten diskuteras i detta kapitel.

6.1 Metodval

Valet av metoder i denna rapport och hur de påverkat resultatet diskuteras i detta kapitel.

6.1.1 Samtal & observationer

Samtal och observationer användes för att få en förståelse för tillvägagångssättet i produktionen samt för att få svar på frågor och funderingar. Samtal och observationer har flera styrkor såsom att personalen var öppna och berättade samt svarade på alla frågor. Detta ledde till att grundproblemen i produktionen kunde visas och undersökas. Deras svar gav också en bra förståelse för organisationen och hur de arbetar. Det finns också svagheter med samtal och observationer. De utfrågade kan ha lagt in egna känslor och värderingar samt att de kan ha undanhållit information. Sedan finns forskning om "the Hawthorne effect" som visar att människor agerar annorlunda när de är övervakade (Purssell, et. al., 2020). Detta kan ha medfört att en felaktig bild av arbetet har uppfattats. Triangulering har använts genom samtal och observationer för att stärka resultaten (Björklund & Paulsson, 2012).

6.1.2 Experiment

Experiment utfördes för att undersöka möjligheter till förbättringar i tillverkningsprocessen och var specifikt utformade för detta. Det finns en möjlighet att andra experiment hade visat på fler eller färre möjligheter för att minska mängden spill från tillverkning. Det utfördes inte en undersökning av andra möjliga tester som hade kunnat ge relevanta resultat. Utfallen av experimenten visade på möjligheter till förbättring, men eftersom experimenten utfördes få gånger är det inte säkert att de är fullt tillförlitliga. Det skulle krävas fler tester för att säkerställa validiteten av resultaten. Vissa av beräkningarna som utfördes utgick från uppskattade siffror, vilket även nämns i rapporten. Även om det inte fanns exakta siffror att tillgå gav ändå de uppskattade beräkningarna positiva resultat av minskningen av avfall. Beräkningarna utgick även från historiska data, vilket medför att de endast ger en fingervisning av framtida utfall om lösningarna i rapporten testas i praktiken.

De resultaten som rapporten har kommit fram till har en hög validitet. Det som skulle kunna ha en lägre validitet och reliabilitet är vägningarna. En svaghet var att företaget inte hade specifika siffror på mängden avfall från varje material separat. För att uppskatta mängden spillmaterial vägdes detta för att kunna jämföra i vilken grad yteffektiva mönster kunde minska mängden spill. Eftersom spillet bara vägdes fyra gånger kan resultatet inte anses ha en hög reliabilitet. Det kan alltså konstateras att det som mättes inte är representabelt för en större mängd, vilket minskar validiteten. Vägningarna tydde på att det inte fanns en stor varians i resultaten för att det skulle göra resultatet för mönstren irrelevanta. En mer omfattande studie angående att lägga packningarna kloss an skulle kunna bidra med en bättre förståelse för hur det skulle påverka kassationerna. Ingen data saknades för rapporten men validiteten kunde ökat om fler tester utförts. En styrka i rapporten är att de olika experimenten hade små skillnader vilket tyder på en hög validitet. Metoderna som valdes visade på samma resultat och det förväntade utfallet stämmer överens med verkligheten vilket stärker reliabiliteten.

6.1.3 Litteraturen inom området

Litteraturen som använts för rapporten har gjort det överskådligt för läsaren att veta vilka områden rapporten behandlar. Det har använts faktaböcker, vetenskapliga artiklar och examensarbeten. Artiklar och examensarbeten har hämtats från specifika databaser vilka enbart visar de studier som finns publicerade, vilket kan ha utelämnat litteratur som hade kunnat vara relevant för rapporten vilket är en svaghet. Inom de flesta områden fanns det mycket information och källorna innehöll likvärdig information vilket tyder på en hög validitet dvs en styrka. Det område där det fanns minst information var återvinning av aramidfiber där fanns det väldigt få källor vilket är en svaghet. Källorna som fanns var tillförlitliga men mer information hade önskats. Det är en styrka att det i övriga områden fanns mycket och tydlig information. Det ska nämnas att konceptet "Lean and Green" verkar vara ett relativt nyetablerat uttryck och begreppet har förklarats med information om de två uttrycken separat vilket kan uppfattas som en svaghet. Något negativt att anmärka på kring litteratur-valen är att det tidigt bestämdes att använda Lean som lämplig verksamhetsstrategi och några andra strategier har inte tagits upp i litteraturstudien, vilket utelämnar information till läsaren. Informationen som hämtats från litteraturstudierna har granskats utefter typ av litteratur, utgivningsår och relevans för ämnesområdet, men trots det så kan egna värderingar av källorna ha kunnat spela roll i valet av litteratur.

Internt företagsmaterial har också använts i denna rapport. Det är en styrka att ha haft tillgång till internt företagsmaterial, men en svaghet i hur det kunnat användas. Läsaren av denna rapport har inte tillgång till materialet vilket kan lämna frågor kring vad som har utelämnats och huruvida informationen från företaget har förmedlats i rapporten. Det interna materialet borde ha hög validitet eftersom det är företagsinformation. Företaget har granskat informationen som återfinns i rapporten och godkänt detta för publicering. Detta påverkar inte slutsatsen, men beräkningar som innefattar försäljningsstatistik kan inte utläsas från rapporten vilket är en svaghet. Simuleringsprogrammet hade inte gått att göra utan det interna företagsmaterialet.

Det har varit en styrka för rapporten att ha tillgång till det interna företagsmaterialet eftersom bland annat det optimerade mönstret inte skulle ha varit möjligt att ta fram utan det interna företagsmaterialet. En svaghet för rapporten är att internt företagsmaterial använts som inte kan publiceras vilket sänker rapportens trovärdighet eftersom uträkningarna som har utförts inte kan återskapas. Materialet från företaget skulle också kunna vara vinklat.

6.2 Avgränsningar och antaganden

Rapporten har avgränsats vilket beror på tidsaspekten för rapporten och för att kunna fokusera på att hitta lösningar till att minska avfallet. Det finns flera fördelar med att avgränsa rapporten. Det har bidragit till ett ökat fokus på de delarna som är med i rapporten. Fokus har varit på företaget vilket gör att det finns möjligheter att använda rapporten direkt på företaget. Detta är också negativt eftersom det ska gå att generalisera arbetet till en viss grad och detta hade fungerat bättre om flera företag undersöktes. Ytterligare negativa aspekter med att avgränsa rapporten är att rapporten inte är generaliserad till andra branscher. Dessutom avgränsades rapporten till att inte kolla på möjligheten till att byta ut materialen. Denna avgränsning skulle kunnat ge fler resultat om den inte avgränsats. Den viktigaste avgränsningen var att inte undersöka vilka material som skulle kunna ersätta befintliga eftersom att detta bidrog till att hitta andra möjligheter för att hantera avfall. Det var också nödvändigt att begränsa rapporten till två material för att kunna göra mer detaljerade undersökningar av hur materialen kunde hanteras.

6.3 Styrkor och svagheter i arbetets validitet

Validiteten i datan som samlats in och som visas som resultat är beroende på de metoder som använts och vad som framkommit från dem. Nedan presenteras de felkällor som uppmärksammas under studien.

Datorprogrammet tar inte hänsyn till att det ska finnas ett högsta antal produkter som ska tillverkas, vilket medför att samtliga optimerade ark måste förenklas för att företaget inte ska överproducera artiklar. Programmet som togs fram gjorde en bra optimering men det är inte bevisat att det är den bästa optimeringen. Det kontrollerades om minsta antal av ett urval av artiklar fanns med från programmets beräkningar vilket det gjorde. De artiklar som valdes ut i stickprovet var de mest kritiska avseende antal produkter som skulle tillverkas och storleken på dessa. Det kan vara svårt att veta hur många produkter som kommer att behöva tillverkas eftersom framtidsprognoser är baserade på historisk data och datorprogrammet är därmed också utformat efter historik. Detta kan leda till att de mönster som tagits fram överproducerar eller inte räcker för antalet produkter som behövs. Det ska påpekas att antalet artiklar som räknades med i programmet endast var 30 st som sålde över 1000st på två år, där det andra året var påverkat av Covid-19. Företaget borde alltså kunna göra säkrare prognoser än vad som använts under studien på hur många artiklar av varje som behöver tillverkas.

Enligt kontroller kunde det påvisas att det går att lägga artiklar kloss an mot varandra. Det är inte undersökt hur många fler felaktiga produkter det blir eller hur stor skillnad det blir på mängden produkter som reklameras av kund. De tester som gjordes visar på att det gick bra utan några defekta produkter, men en mer omfattande testning behöver utföras. Eftersom att företaget inte vet hur mycket spill som skapas från varje material kunde skillnaden från nuvarande till förbättring endast uppskattas efter vägningar. Det är alltså inte säkert att skillnaden stämmer i kilo eller procentuellt eftersom det både kan vara mindre eller större mängd spill. Eftersom skillnaden var på cirka 21,8 procentenheter kan det antas att studien har bidragit med en förbättring eftersom vägningarna inte tydde på en stor variation. Andra resultat hade kunnat uppstå om materialet som företaget kallar för Dixo 5000 kunde bytas till ett återvinningsbart material. Studien avgränsades från att undersöka den möjligheten.

6.4 Bidrag till ämnesområdet

Detta kapitel presenterar hur rapporten har bidragit till hur en tillverkningsprocess kan optimeras för att minska avfallsmängder.

6.4.1 Studiens allmängiltighet

Detta arbetet är fokuserat på ett företag vilket gör att det blir svårt att generalisera resultaten till en hög grad. Förbättringarna och antagandena går att använda på företag i samma bransch som använder samma metoder för att tillverka planpackningar. Standardiseringsdelen skulle troligtvis ge liknande resultat i ett sådant företag. Angående materialen kommer svaret bli detsamma om företag har samma material som undersöks. Lean och Green går att använda på en större mängd tillverkningsföretag eftersom filosofierna omfattar metoder för produktions- och miljöarbete, det är alltså inte begränsat till ett specifikt företag.

6.4.2 Kunskap som studien bidragit med och som tidigare saknats

Detta arbete har bidragit med mer information i hur Lean och Green skulle kunna användas tillsammans för att förbättra ett företag både ur ett Lean-perspektiv men också ur ett Green-perspektiv. Rapporten har bidragit med en till fallstudie angående hur ett företag rent praktiskt kan använda sig av Lean och Green. Denna rapport sammanfattar också den befintliga litteratur som finns angående återvinning av aramidfiber. Rapporten har också bidragit med vilka globala mål företaget kan arbeta mot samt gett företaget redskap för att förbättra deras produktion och minska deras miljöpåverkan.

7. Slutsats

Produktionsflödet optimeras och avfallsmängder minskas genom att identifiera var i produktionen det skapas avfall och använda biomimetik, ekodesign och Lean och Green som verktyg för att arbeta hållbart och i enlighet med de globala målen.

Tillverkningen optimeras genom att ändra och standardisera processen så att mindre spill skapas genom att använda yteffektiva mönster, mäta ark och använda bestämda avstånd mellan produkterna. Utbud och efterfrågan behöver balanseras med resursutnyttjandet för att nå ett optimalt Lean och Green-tänk och därmed en hållbar produktion.

Ett livscykel tänkande används för att lyfta fokus från enbart tillverkningen av produkten till alla relationer under produktens liv som orsakar utsläpp för att hitta möjliga förbättringar. För tillfället finns det inga väletablerade metoder för återvinning av det undersökta kompositmaterialet.

8. Fortsatt arbete

Ett arbete som skulle kunna utföras är att försöka hitta återvinningsmetoder för aramidfibrer eller undersöka om det finns möjlighet att byta ut aramidfiber till ett annat material.

Det kan också undersökas hur man kombinerar Lean och Green och använder det på andra företag för att se hur det fungerar och hur mycket förändring det bidrar med. Genom att se hur Lean och Green kan användas i andra företag kan det öka kunskapen kring den teorin samt bidra till metoder kring hur det kan användas.

En fortsättning på arbetet hos företaget skulle kunna vara att se om det finns bättre mönster än de som datorprogrammet gjorde samt förenkla alla de 21 mönster som programmet gav. Sedan kan det skapas liknande mönster för de övriga materialen företaget använder för att minska deras miljöpåverkan ännu mer och spara pengar. Det finns också en möjlighet att undersöka vilket som är det bästa sättet att skriva programmet för optimeringen.

Vidare kan det också undersökas om det är möjligt att byta ut materialen till något som går att återvinna eller återanvända lättare. Testerna som utfördes i denna rapport och resultatet den kom fram till skulle kunna testas över en längre period för att se hur det skulle gå. En fullständig livscykelanalys kan också utföras för att få en bättre helhetsbild av produktens miljöpåverkan.

Referenser

Ammenberg, J. (2004). *Miljömanagement*. Studentlitteratur.

Ball, P. (2011). *Shapes: Nature's Patterns: a Tapestry in Three Parts*. Oxford University Press, Incorporated.

Bergquist, Eva-Lena. (2017). *Materiallära – grunderna*. Svetsen, Tema Materiallära, s. 12-16.

Björklund, M., & Paulsson, U. (2012). *Seminarieboken: Att skriva, presentera och opponera* (2. uppl. ed.). Lund: Studentlitteratur.

DENSIQ. (2021). *Om DENSIQ*. URL: <https://www.densiq.com/om-densiq/>

DENSIQ. (2021). *Industrier*. URL: <https://www.densiq.com/industrier/>

Dieste, Panizzolo, Arturo Garza-Reyes, Anosike (2019). *The relationship between lean and environmental performance: Practices and measures*. Journal of Cleaner Production. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619309527?casa_token=y3krl1FiiQ8AAAAA:tDPVxhBe-zh2PaAt7Fe2taWxNeWgiO8VLmlXCu2qYOfDXj15Y9ZyXvHoptwKOKG8dJ6bj6X1_1o

Dües, C., Tan, K., Lim, M. (2012). *Green as the new Lean: how to use Lean practices as a catalyst to greening your supply chain*. Nottingham University Business School & Aston University. England, United Kingdom.

Ejvegård, R. (2009). *Vetenskaplig metod* (4. uppl.). Studentlitteratur.

Enlund, J. (2016). *Jeansen i garderoben* [Examensarbete, Novia] URL: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/129127/Enlund_Jennifer.pdf?sequence=1

Europeiska unionen. (22 juni 2020). *EU:s lagstiftning om avfallshantering*. EUR-Lex. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=LEGISSUM:ev0010>

Europeiska unionen. (2016). *Mikroföretag samt små och medelstora företag: definition och tillämpningsområde*. EUR-Lex. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=LEGISSUM%3An26026>

Shahjadi Hisan, F., M. A. Parvez M., & Nazmul H. (2021). *Life Cycle Assessment for Sustainable Mining (1)*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85451-1.00001-9>

FN. (u.å). *Globala målen för hållbar utveckling*. FN-förbundet. URL: <https://fn.se/globala-malen-for-hallbar-utveckling/>

Gharfalkar, Court, Campbell, Ali, Hillier. (2015). *Analysis of waste hierarchy in the European waste directive 2008/98/EC*. Teesside University. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15000902?casa_token=gmk8xyRLcowAAAAA:zH0ON92rngE4FFUnEwClbhsLnXxQsuspneIqEWwswQAEWiBM8vDDwMbt6HdQO8ONaTCi6zBQNmE

Gröndahl, F., & Svanström, M. (2011). *Hållbar utveckling: en introduktion för ingenjörer och andra problemlösare* (1. uppl.). Liber.

Hanning & Cullbrand. (2021). *Grafen i den cirkulära ekonomin*. Chalmers Industriteknik. URL: [Grafen i den cirkulära ekonomin - Mynewsdesk](#)

Hauschild, M. Z., Rosenbaum, R. K., & Olsen, S. I. (2018). *Life Cycle Assessment*. [electronic resource]: Theory and Practice (1st ed. 2018.). Springer International Publishing.

Hedenus, F., Persson, U. M., & Sprei, F. (2018). *Hållbar utveckling: nyanser och tolkningar* (Upplaga 1). Studentlitteratur.

Herman, R., Ardekani, S. A. & Ausubel, J. H., 1990. *Dematerialization*. Technological Forecasting and Social Change. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004016259090003E?via%3Dihub>

Johansson, G. & Winroth, M. (2009). *Lean vs. Green manufacturing: Similarities and differences*. Chalmers tekniska högskola. URL: https://www.researchgate.net/profile/Mats-Winroth/publication/257492917_Lean_vs_Green_manufacturing_Similarities_and_differences/links/547c92e80cf2cfe203c1add7/Lean-vs-Green-manufacturing-Similarities-and-differences.pdf

Knight, P., & Jenkins, J. O. (2008). *Adopting and applying eco-design techniques: a practitioners perspective*. Journal of Cleaner Production volym 17 (5), 549-558. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.10.002>

Latour Årsredovisning (2020). URL: <https://vp302.alertir.com/afw/files/press/latour/202103107352-1.pdf> hämtad: 2021-05-12

Liker, J. K., & Hallberg, J. (2009). *The Toyota way: lean för världsklass* (1. uppl.).

Marques Souza Farias, Costa Santos, Fabiana Gohr, Carvalho de Oliveira, Henrique da Silva Amorim (2019). *Criteria and practices for lean and green performance assessment: Systematic review and conceptual framework*. Journal of cleaner production. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619304214>

Míkva, M., Prajová, V., Yakimovich, B., Korshunov, A., & Tyurin, I. (2016). *Standardization – One of the Tools of Continuous Improvement*. Procedia Engineering, 149, 329-332. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.674>

Modig, N., & Åhlström, P. (2015). *Detta är lean: lösningen på effektivitetsparadoxen* (2. uppl.). Rheologica.

Nationalencyklopedin, *Biomimetik*. URL: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/biomimetik> (hämtad 2021-04-29).

Naturvårdsverket (2015). *Miljö- och klimatarbete i näringslivet: En översikt med fokus på drivkrafter och klimat* (Rapport 6665). Naturvårdsverket.

<https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-6665-9.pdf?pid=16480>

Okajima, I., Okamoto, H., & Sako, T. (2019). *Recycling of aramid fiber using subcritical and supercritical water*. *Polymer Degradation and Stability*, 162, 22–28.
<https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2019.01.034>

Pascal Dennis. (2016). *Lean Production Simplified: A Plain-Language Guide to the World's Most Powerful Production System*: Vol. Third edition. Productivity Press.

Prof. William M. K. (2020). *Types of Reliability*. Conjoint.ly. URL:
<https://conjointly.com/kb/types-of-reliability/>

Purssell, E., Drey, N., Chudleigh, J., Creedon, S., & Gould, D. J. (2020). *The Hawthorne effect on adherence to hand hygiene in patient care*. *Journal of Hospital Infection*, 106 (2), 311–317. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.07.028>

Schill, L (2019). *Ledtider och Kontinuerliga flöden*. [Examensarbete, Uppsala universitet]. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1325932/FULLTEXT01.pdf>

Smuk, Lena. (2019). *Fiberförstärkta plastkompositer i hållbara cykler* (47572-1). Rise Research Institutes of Sweden.

Svenska Institutet för Standarder. (u.å). *Detta är ISO 9001*. SIS.
<https://www.sis.se/iso9001/dettariso9001/>

Svenska Institutet för Standarder. (u.å). *Detta är ISO 14001*. SIS.
<https://www.sis.se/iso14001/dettariso14001/>

Sveriges officiella statistik. (2021). *Sveriges territoriella utsläpp 2020 (preliminära)*. Naturvårdsverket. URL: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Klimat/Tre-satt-att-berakna-klimatpaverkande-utslapp/Kvartals--och-preliminara-arsvisa-vaxthusgasutslapp/>

Sörqvist, L. (2013). *Lean: processutveckling med fokus på kundvärde och effektiva flöden* (1. uppl.). Studentlitteratur.

Thabrew, L., Wiek, A., & Ries, R. (2009). *Environmental decision making in multi-stakeholder contexts: applicability of life cycle thinking in development planning and implementation*. *Journal of Cleaner Production*, 17(1), 67–76.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.03.008>

Thorpe, A., & Wijkmark, M. (2008). *Design för hållbar utveckling: ekologi, ekonomi, kultur*. Raster.

Upphandlingsmyndigheten (2015). *Datorers miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv*. Upphandlingsmyndigheten.
http://resources.mynewsdesk.com/image/upload/t_attachment/jj9ncm4g5vkb511rhi9e.pdf

World Resources Institute, World Business Council for Sustainable Development (u.å). *The Greenhouse Gas Protocol, A Corporate Accounting and Reporting Standard*.
<https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>

Wu, P., & Low, S. P. (2013). *Lean and Cleaner Production. [electronic resource]: Applications in Prefabrication to Reduce Carbon Emissions* (1st ed. 2013.). Springer Berlin Heidelberg.

Yang, B., Li, W., Zhang, M., Wang, L., & Ding, X. (2021). *Recycling of High-Value-Added Aramid Nanofibers from Waste Aramid Resources via a Feasible and Cost-Effective Approach*. ACS Nano, 15(4), 7195–7207.

Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: design and methods* (Sixth edition). SAGE.

A. APPENDIX

A.1 MÅTT OCH BERÄKNINGAR

Innermått (m) radie	Yttermått (m) radie	Area innermått (m ²)	Area yttermått (m ²)	Packning area
0,00715	0,011	0,000160525	0,00038	0,000219
0,2035	0,2445	0,130034465	0,18771	0,057676
0,0845	0,112	0,022420385	0,039388	0,016968
0,0575	0,084	0,010381625	0,022156	0,011774
0,0135	0,027	0,000572265	0,002289	0,001717
0,011	0,022	0,00037994	0,00152	0,00114
0,162	0,189	0,08240616	0,112164	0,029758
0,0845	0,1035	0,022420385	0,033636	0,011216
0,0705	0,091	0,015606585	0,026002	0,010396
0,0095	0,0195	0,000283385	0,001194	0,000911
0,017	0,032	0,00090746	0,003215	0,002308
0,1365	0,164	0,058505265	0,084453	0,025948
0,0215	0,038	0,001451465	0,004534	0,003083
0,0575	0,076	0,010381625	0,018137	0,007755
0,0445	0,066	0,006217985	0,013678	0,00746
0,0245	0,043	0,001884785	0,005806	0,003921
0,11	0,1365	0,037994	0,058505	0,020511

0,0385	0,058	0,004654265	0,010563	0,005909
0,0705	0,096	0,015606585	0,028938	0,013332
0,0135	0,0305	0,000572265	0,002921	0,002349
0,011	0,0255	0,00037994	0,002042	0,001662
0,0305	0,048	0,002920985	0,007235	0,004314
0,0845	0,109	0,022420385	0,037306	0,014886
0,0215	0,041	0,001451465	0,005278	0,003827
0,0245	0,046	0,001884785	0,006644	0,004759
0,017	0,0355	0,00090746	0,003957	0,00305
0,0385	0,0635	0,004654265	0,012661	0,008007
0,0575	0,081	0,010381625	0,020602	0,01022
0,0445	0,071	0,006217985	0,015829	0,009611
0,0305	0,0535	0,002920985	0,008987	0,006066

A.2 MIT-LICENS

“The MIT License (MIT) Copyright (c) 2021 Edvin Åblad

Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining a copy of this software and associated documentation files (the "Software"), to deal in the Software without restriction, including without limitation the rights to use, copy, modify, merge, publish, distribute, sublicense, and/or sell copies of the Software, and to permit persons to whom the Software is furnished to do so, subject to the following conditions:

The above copyright notice and this permission notice shall be included in all copies or substantial portions of the Software.

THE SOFTWARE IS PROVIDED "AS IS", WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL THE AUTHORS OR COPYRIGHT HOLDERS BE LIABLE FOR ANY CLAIM, DAMAGES OR OTHER LIABILITY, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, TORT OR OTHERWISE, ARISING FROM, OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR THE USE OR OTHER DEALINGS IN THE SOFTWARE.“

INSTITUTIONEN FÖR TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION
AVDELNINGEN FÖR MILJÖSYSTEMANALYS
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2021
www.chalmers.se



CHALMERS