



CHALMERS

Förenklad livscykelanalys för ett delvis återvunnet gummimaterial

En förenklad livscykelanalys enligt metoden Eco-indicator 99 med fokus på fyllmedel och stabilisatorer

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

IDA ADLER
ALEXANDRA LUND

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2022

EXAMENSARBETE IMSX20

Förenklad livscykelanalys för ett delvis återvunnet gummimaterial

En förenklad livscykelanalys enligt metoden Eco-indicator 99 med fokus på
fyllmedel och stabilisatorer

Ida Adler
Alexandra Lund

Institutionen för industri- och materialvetenskap
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2022

Förenklad livscykelanalys för ett delvis återvunnet gummimaterial
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik
IDA ADLER
ALEXANDRA LUND

© Ida Adler, 2022.

© Alexandra Lund, 2022.

Handledare: Stefan Sohl, AnVa Polytech AB

Examinator: Antal Boldizar, Institutionen för industri- och materialvetenskap

Examensarbete 2022 inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

Institutionen för industri- och materialvetenskap

Chalmers Tekniska Högskola

SE-412 96 Göteborg

Telefon +46 31 772 1000

Summary

The purpose of this bachelor thesis was to make a simplified life cycle assessment for a partially recycled rubber material on behalf of AnVa Polytech AB.

AnVa Polytech AB produces molded elastomeric products. In recent years they have focused on developing their own rubber material called “Climarub”, which is used for wheel suspension in the automotive industry. Components of this material have gradually been replaced with recycled or more environmentally friendly ingredients, such as recycled carbon black and bio-oil.

The purpose of the simplified life cycle assessment was to analyze and visualize the amount of carbon dioxide equivalents and environmental toxicity for the components of the rubber material with a focus on fillers and stabilizers. AnVa Polytech AB is interested in further developing the analysis in order to strive for a more environmentally sustainable material.

The result showed that carbon black and silica were the biggest contributors to carbon dioxide emissions for the material, where the greatest impact came from production. Furthermore, it showed that sulfur had the significantly largest impact on ecotoxicity followed by zinc oxide. Overall, the result for human toxicity is small relative to ecotoxicity.

Sammanfattning

Detta examensarbete hade till syfte att göra en förenklad livscykelanalys för ett delvis återvunnet gummimaterial på uppdrag av företaget AnVa Polytech AB.

AnVa Polytech AB producerar gjutna elastomera produkter. De har framför allt arbetat för att ta fram ett eget gummimaterial som kallas för "Climarub", som bland annat används till hjulupphängningar inom fordonsindustrin. I detta material har de successivt ersatt komponenter med återvunna eller mer miljövänliga ingredienser, till exempel återvunnen kimrök och bioolja.

Syftet med den förenklade livscykelanalysen var att analysera och visualisera mängden motsvarande koldioxidutsläpp och miljögifter för gummimaterialets beståndsdelar med fokus på fyllmedel och stabilisatorer. Intresse finns hos företaget att vidareutveckla analysen för att sträva mot ett mer miljövänligt hållbart material.

Resultatet av arbetet visade på att kimrök och kiseldioxid bidrog till de absolut största koldioxidutsläppen för materialet där den största påverkan kom från produktionen. Det visade även på att svavel hade avsevärt störst miljöpåverkan på ekotoxiciteten följt av zinkoxid. Totalt var resultatet av den mänskliga toxiciteten liten relativt ekotoxiciteten.

Författarens tack

Vi vill tacka de som varit behjälpliga i examensarbetet och har gjort det möjligt. Tack till AnVa Polytech AB för möjligheten och förtroendet att utföra ett examensarbete hos er. Stort tack till våra handledare på AnVa Polytech AB Stefan Sohl, Erik Hilmersson och Lena Bui för ett gott samarbete och vägledning. Vi vill även passa på att tacka Daniel Glimstrand (AnVa Polytech AB) för god expertis.

Tack till alla forskare och representanter från Chalmers tekniska högskola samt näringslivet som visat intresse för examensarbetet och varit behjälpliga med deras kunskap kring området. Slutligen vill vi tacka vår examinator och handledare Antal Boldizar för stöd och vägledning under examensarbetets gång.

Ida Adler och Alexandra Lund, Göteborg, maj 2022

Förkortningar

Förkortning	Beskrivning (svenska)	Description (english)
LCA	Livscykelanalys	Life cycle assessment
EPS		Environmental priority strategy system
CTU	Jämförande toxisk enhet	Comparative Toxic Unit
CTUe	Ekologisk toxicitet	Ecotoxicity
CTUh	Mänsklig toxicitet	Human toxicity
PAF	Potentiellt påverkade fraktionen av arter	Potentially affected fraction of species
PEF	Produktens miljövavtryck	Product Environmental Footprint
PAH	Polycykliska aromatiska kolväten	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons
EPA-PAH	United States Environmental Protection Agency - Polycykliska aromatiska kolväten inkl. Kvantifieringsgränser	United States Environmental Protection Agency - Polycyclic Aromatic Hydrocarbons incl. Limits Of Quantification
PHR	Per hundra massekvivalent gummi	Per hundred rubber

Innehållsförteckning

1. INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar	1
1.4 Precisering av frågeställning	1
1.5 Tidplan	1
2. TEORETISK REFERENSRAM	2
2.1 Övergripande om LCA	2
2.2 Eco-indicator 99	2
2.3 Environmental priority strategy system (EPS)	4
2.4 Funktionell enhet för miljögifter	5
2.5 Substitution och tillvägagångssätt för ingredienser	6
3. METOD	8
3.1 Förstudie och informationssamling	8
3.2 Inventering.....	8
3.3 Datainsamling	8
3.4 Tolkning	9
4. RESULTAT	10
4.1 Inventering.....	10
4.2 Datainsamling	13
4.3 Tolkning	14
5. DISKUSSION	17
6. FORTSATT ARBETE	18
Referenser	
Bilagor	

1. INLEDNING

I detta inledande kapitel presenteras en bakgrund och syftet till examensarbetet, följt av avgränsningar och en slutgiltig precisering av arbetets frågeställning.

1.1 Bakgrund

Företaget AnVa Polytech AB producerar gjutna elastomera produkter med mindre miljöpåverkan. De har framförallt arbetat för att ta fram ett eget gummimaterial som kallas för "Climarub", som bland annat används till hjulupphängningar inom fordonsindustrin. I detta material har de successivt ersatt komponenter med återvunna eller mer miljövänliga ingredienser, till exempel återvunnen kimirök eller bioolja. I nuläget så har de enbart analyserat delar av materialet. Då det kontinuerligt ställs högre krav på hållbarhet vill företaget nu fördjupa analysen ytterligare med en förenklad livscykelanalys för fyllmedel och stabilisatorer samt även jämföra mot andra mer hållbara ämnen på marknaden. Examensarbetet har utförts på Institutionen för industri- och materialvetenskap vid Chalmers tekniska högskola.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att utföra en förenklad livscykelanalys primärt för fyllmedel och stabilisatorer i ett gummimaterial samt i mån av tid jämföra dessa med alternativa substitut. Frågeställningarna listas nedan:

- Vad har de fyllmedel och stabilisatorer som används för påverkan på dess miljö?

1.3 Avgränsningar

Den förenklade livscykelanalysen kommer avgränsas till att omfatta utvinning av substitut samt transport till produktionsfabrik för de intressanta ingredienserna. I mån av tid kommer även produktion av slutprodukt ingå i den förenklade livscykelanalysen.

1.4 Precisering av frågeställning

- Hur stor miljöpåverkan har de fyllmedel och stabilisatorer som används idag?

1.5 Tidplan

Tidplanen presenteras med hjälp av ett Gantt-schema, där de färgade blocken visar planerad längd, faktiskt start samt procent klart. Gantt-schemat ger en tydlig tidsram för projektets olika faser och deadlines som gruppen skall förhålla sig till, se bilaga 1.

2. TEORETISK REFERENS RAM

I följande kapitel beskrivs de teorier som kommer användas som underlag för arbetet. Inledningsvis beskrivs övergripande om livscykelanalyser följt av två olika förenklade analysmetoder Eco-indicator 99 samt Environmental Priority Strategy System. Därefter förklaras den funktionella enheten för miljögifter och till sist substitution.

2.1 Övergripande om LCA

Hållbar produktion och konsumtion är ett mål som det kontinuerligt ställs högre krav på. Integrated Product Policy (IPP) har utvecklat omfattande policys för att kräva en samverkan för att nå de mål som finns (Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, 2000). De har introducerat Product Oriented Environmental Management System (POEM) vilka kontinuerligt strävar efter en förbättring av den miljömässiga aspekten i en livscykel, därmed krävs livscykelanalyser.

Kubát et al. (2008) förklarar ett livscykelperspektiv på produkter som avser hänsyn till miljöeffekter under hela produktlivscykeln, det vill säga från råvaruproduktion till hantering av restprodukter efter produkten tjänat ut. Målsättningen är att uppskatta och värdera effekterna av resursförbrukning samt emissioner och andra restprodukter, särskilt vad gäller inverkan på ekologiska system. Livscykelperspektivet kan indelas i hänsyn till råvaruutvinning, tillverkning av material, tillverkning av produkt, användning av produkt, hantering av avfall samt transporter.

Även om livscykelanalyser är ett bra verktyg för att sammanställa den totala miljöpåverkan av en produkt, är det mycket tidskrävande och dyrt (Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, 2000). Dessutom är resultatet ofta mångtydigt och kräver tolkning och jämförelse. Därmed kan förenklade livscykelanalyser användas för internt bruk i brist på t.ex. tid, pengar, kompetens eller data.

2.2 Eco-indicator 99

Eco-indicator 99 är en metod för förenklad livscykelanalys framtagen av det nederländska konsultföretaget PRé Consultants B.V. Metoden hjälper produktutvecklaren att göra en miljöbedömning av en produkt genom att beräkna så kallat "Eco-indicator-värde" för de material och processer som berör produkten. (Mannan, 2012). Metoden delas in i totalt fem steg som beskrivs nedan.

2.2.1 Fastslå syftet

Under det första steget skall produkten beskrivas. Definition gällande analysen fastställs även utifrån om det avses att analysera enbart produkten eller jämföra flera olika produkter. Under detta steg definieras även nogrannhetsnivån som krävs för indikatorerna (Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, 2000).

2.2.2 Inventering / Definiera livscykeln

I steg två skall produktens livscykel definieras, detta görs med fördel genom att rita upp livscykeln schematiskt där man utgår från tre olika perspektiv: produktion, användning och avfallshantering (Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, 2000).

2.2.3 Kvantifiering och processer

Under denna fas skall den funktionella enheten samt en kvantifiering av alla relevanta processer från inventeringen fastslås. Den funktionella enheten beskriver produkten, livscykeln och prestandan i en mätbar, gemensam enhet. Kvantiteten av produktdata och varje process måste ha en funktionell enhet för att till slut kunna jämföras och tolkas.

Vid avsaknad av data skall antaganden göras, vilka kan få två resultat. Det första är en försummelse av en komponent eller process, vilket endast är accepterbart om det är ett mycket litet bidrag i jämförelse med helheten. Det andra är att användaren själv antar en kvantitet. I många analysfall görs flera antaganden om data för att sedan söka mer korrekta värden om behov finns.

2.2.4 Datainsamling

Under datainsamlingen skall varje material och process listas med sina olika mätvärden. Därefter måste ett relevant Eco-indikator-värde hittas, detta genom att använda sig av olika databaser och dokument. Dessa standardiserade Eco-indikatorer är siffror som uttrycker den totala miljöpåverkan en produkt eller process har. Framtagningen av indikatorerna är komplicerad men framförallt uträknade genom en energidatabas utvecklad av Environmental Consultancy for Business and Authorities tillsammans med Swiss Federal Institute of Technology i Zurich [ESU 1996].

Indexvärdet registreras sedan i listan och multipliceras med mätvärdet. Multiplikationen ger det jämförelsebara resultatvärdet.

Om ett indikationsvärde saknas avgörs huruvida värdet har en betydande påverkan på den totala miljöeffekten. Substitution med ett relativt likt och känt värde kan göras och därmed skapa en approximation. Om detta inte är lämpligt kan produktutvecklaren ta hjälp av annan expertis för att räkna ut ett nytt indikationsvärde. Om valet är att försumma ett indikationsvärde behövs en motivering med att miljöpåverkan är mycket liten i sammanhanget.

2.2.5 Tolkning

När resultaten sammanställts för varje material eller process krävs alltid en tolkning av siffrorna. I tolkningen ingår att kontrollera preliminära slutsatser med resultatet, kontrollera

effekterna av antaganden och osäkerheter, eventuellt ändra slutsatser samt kontrollera så syftet med kalkylen har uppfyllts.

2.3 Environmental priority strategy system (EPS)

Utvecklingen av denna metod startade 1989 genom ett samarbete mellan IVL Swedish Environmental Research Institute, Volvo samt Swedish Federation of Industries (tidigare CPM)(Swedish Environmental Research Institute [ivl], 2020). Metodens idé är att den skall kunna användas som en kostnads kalkyl under designprocessen och den följer standarderna ISO 14040 samt 14044.

Enligt Steen (1999) har EPS fördelen av att det finns en uttalad hierarki bland dess principer och regler som hjälper till att lösa konflikter mellan olika principer och krav. Han menar att detta ofta uppstår i andra komplexa analysystem. Principerna ingående i EPS presenteras i följande delkapitel. Steen menar att det som saknas i många andra metoder är en analys av miljöpåverkan där hänsyn först tas till naturresursförbrukning och utsläpp för att sedan sammanställs en slutgiltig bedömning. EPS systemet bygger på principen att med miljöindex för naturresursförbrukning, effekter av utsläpp, material och processer beräkna ett miljöbelastningstal ELV (Environmental Load Value) för att ge ett mått på en produkts miljöpåverkan.

2.3.1 Principen i fem steg

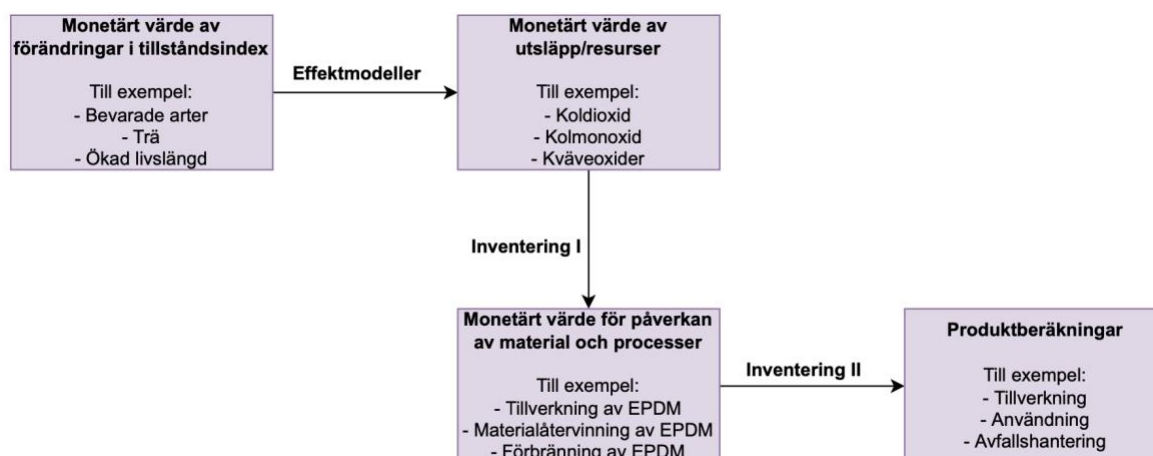
EPS-metoden har fem systemprinciper som appliceras i en hierarkisk ordning (Steen, 2015):

1. Uppifrån och ner: Alla typer av modell, data eller process bedöms genom dess möjligheter till att kunna bidra till en minskad miljöpåverkan. Detta innebär att tidsram och kostnader behöver vägas mot värdet av den minskade miljöpåverkan från produkten.
2. Indexprincip: Användaren av EPS-systemet skall kunna beskriva en produkts livscykel i form av material och processer för vilka färdiga konsekvensanalyser finns tillgängliga som index. Indexvärdet skall representera separerade, viktade och aggregerade miljöpåverkans effekter för olika material med produktion, bearbetning och återvinning i åtanke.
3. Standard: Standardindex skall finnas tillgängligt för snabb analys av godtycklig produktutveckling. Vid senare tillfälle kan mer specifik data användas.
4. Osäkerheter: Då osäkerheter är en del av verkligheten kommer dessa också finnas med i analysen. Data skall representeras av en bäst uppskattad jämförelse samt en osäkerhetsmätning. Känslighetsanalyser skall finnas tillgängligt för att fastställa en prioriteringsordning.
5. Val av standardindex: Själva valet av index görs baserat på tillgänglig kunskap och behov från användaren. Både inventeringsdata samt konsekvensanalysdata kräver val. Inventeringsdata behöver organiseras med avseende på fördelning, därmed kan de

användas som adderbara moduler för produktion, bearbetning och återvinning för material samt komponenter. Data för konsekvensanalys organiseras för att redovisa monetära värden av miljöpåverkan från utsläpp och resursanvändning. Standardindex uttrycker därmed monetära värden av miljöpåverkan från produktion, bearbetning och återvinning av material och komponenter.

2.3.2 Struktur

EPS-systemet har en struktur enligt figur 1, som innefattar den nuvarande versionen av standardindex. För användning vid produktutveckling finns det tillgång till en lista med monetära värden av miljöpåverkans effekter från material och processer som sedan kräver beräkning av det totala miljöpåverkansvärdet för produktkonceptet. Miljöexperter kan behöva konsulteras för nya index avseende material och processer, exempelvis för kvantifieringar gällande samband mellan index och utsläpp, utvärdera resursutvinning och koppla utsläpp- och resursflöden till material och processer.



Figur 1. EPS-systemets struktur

2.4 Funktionell enhet för miljögifter

Den funktionella enheten för miljögifter kan vara CTU/kg emitted (Usetox, 2022). CTU står för Comparative Toxic Unit och kan användas som en faktor för att jämföra miljögifter med påverkan på människan respektive vatten. Enheten delas därmed in i CTUh med index för *human toxicity* samt CTUe med index för *ecotoxicity*. Toxicitetsfaktorn för människa uttrycks i sjukligheten i den totala mänskliga befolkningen per massenhet av en kemikalie som släpps ut. Faktorn för ekotoxicitet i vatten är en uppskattning av den potentiellt påverkade fraktionen av arter (PAF: Potentially affected fraction of species) integrerad över tid och volym per massenhet av en kemikalie som släpps ut. Det vill säga:

$$\text{CTUh/kg emitterad} = \text{sjukdomsfall/kg emitterad}$$

$$\text{CTUe/kg emitterad} = \text{PAF} * \text{m}^3 * \text{dag/kg emitterad}$$

Dessa jämförbara CTU-värden finns listade hos Europeiska kommissionen (European Committee for Standardization, European Standard 15804, 2016). Under 2016 gav Europeiska kommissionen mandat till CEN (European Committee for Standardization) för att ändra EN 15804-standarderna och anpassa den bättre till PEF-kraven (PEF: Product Environmental Footprint). Standarderna inkluderade anpassning av konsekvensbedömningsmodellerna, indikatorernas enheter och karaktäriseringsfaktorer (CTU) som utvecklats inom EF-metoden (EF: Environmental Footprint). Vidare ingår att standarderna baseras på samma termer och format för livscykelinventeringar som i ILDC (International reference Life Cycle Data system).

Ytterligare enhet för miljögifter kan vara EPA-PAH inkl. LOQ (United States Environmental Protection Agency - Polycyclic Aromatic Hydrocarbons incl. Limits Of Quantification och United States Department of Health and Human Services, 1996). Polycykliska aromatiska kolväten är en samling av över 100 olika kemikalier som bildas under ofullständig förbränning av kol, olja och gas, sopor eller andra organiska ämnen så som tobak eller grillat kött. The Department of Human Services har fastställt att flera PAH:er förväntas vara cancerframkallande. Även djurförsök har visat på risker för fortplantningsförmåga, högre antal födelsedefekter liksom högre antal avkommor eller lägre födelsevikter. Försöken har även visat på skadliga effekter på huden, kroppsvätskor och immunförsvar.

2.5 Substitution och tillvägagångssätt för ingredienser

Substitution innebär att man tar bort eller byter ut ett eller flera ämnen i ett material som anses vara farligt för människa och/eller miljö. Syftet är att produkten skall bli säkrare för dess miljö och användare både vid tillverkning, användning, avfallshantering och eventuell återvinning. Nedan presenteras en stegs metod framtagen av Kemikalieinspektionen (2021) som utgör grunden för att systematiskt välja och ersätta ämnen vid substitution.

2.5.1 Ämnets funktion

I det första steget bör produktutvecklaren överväga varför ett specifikt ämne eller en komponent hos produkten behöver ersättas. En detaljerad beskrivning till varför och hur ämnet är riskabelt bör redovisas.

2.5.2 Kan funktionen ersättas

I det andra steget bör man identifiera alternativ eller andra lösningar som kan nå samma typ av funktion som ursprungsämnet. Här bör man även se över om det finns alternativa lösningar där ett utbyte av kemikalie nödvändigtvis inte ingår, till exempel genom att ändra tillverkningsprocess eller produktdesign.

2.5.3 Bedöma alternativa ämnen eller nya tekniska lösningar

Efter att man genomfört steg ett och två bör en grundlig bedömning av de alternativa lösningarna göras. Syftet är här att minska risken för tvivelaktig substitution vilket innebär att ett redan problematiskt ämne ersätts av ett annat problematiskt ämne. De parametrar som bör tas in vid bedömning är exempelvis faroegenskaper, ämnets livscykel och teknisk prestanda.

2.5.4 Jämför riskerna

När bedömning gjorts bör riskerna för alternativen jämföras med riskerna för ursprungsämnet som man önskar att substituera. Hur stor risken är med användningen av ett ämne beror delvis på exponering av ämnet samt hur farligt det är. Jämförelse ska utföras mellan nuvarande ämne och dess substitut utifrån risk och inte utifrån miljö- och hälsofarliga aspekter för varje enskilt ämne.

2.5.5 Ta beslut om alternativa ämnen/tekniska lösningar

Efter jämförelse av riskerna bör produktutvecklaren besluta vilka alternativ eller tekniska lösningar som man önskar att gå vidare med. För att ta ett kvalificerat beslut kan följande frågeställningar ställas som utgångspunkt:

- Är alternativen bättre än ursprungsämnet?
- När kan ämnet/processen ersättas med alternativet?
- Ekonomisk analys - hur kommer kostnaden se ut för alternativen?

2.5.6 Planera för och implementera substitutionen

Att successivt ersätta ett ämne med ett substitut kräver ofta en omfattande planering. För att underlätta planeringen kan det vara bra att väga in påverkande faktorer som en substitution medför. Detta kan till exempel vara att utse en ansvarig för de olika momenten som behöver genomföras och se över tidsplanen.

2.5.7 Utvärdera resultatet

Efter substitutionen bör en utvärdering göras. Utvärderingen bör omfatta en dokumentation där produktutvecklare utförligt beskriver hur substitutionsarbetet genomfördes och vilka beslut som fattades utifrån givna data.

3. METOD

I detta kapitel presenteras tillvägagångssättet för att besvara arbetets frågeställning. Projektets utvecklingsfaser delades in i förstudie, inventering, datainsamling samt tolkning, som presenteras i kronologisk ordning nedan.

3.1 Förstudie och informationssamling

Den informationsinsamling som följer genomfördes i två steg genom litteraturstudier samt intervjuer med representanter från näringslivet. Informationsinsamlingen var grundläggande för arbetets avgränsningar, frågeställning och planerad arbetsgång.

3.1.1 Litteraturstudier

Litteraturstudierna genomfördes med hjälp av verktyg så som Google Scholar samt Chalmers Biblioteks sökdatas. Sökningarna gav en större förståelse för ingredienser, livscykelanalyser, processmetoder och utvinningsmetoder ur en miljöpåverkanssynpunkt. Sökorden i litteraturstudien uppdaterades efter hand under genomförandet av metoden.

3.1.2 Intervjuer

För att inhämta en bredare uppfattning kring arbetets område har ett flertal intervjuer med representanter från näringslivet utförts. Dessa representanter består bland annat av anställda på företaget samt forskare. Det var även önskvärt att i mån av tid intervjua leverantörer till företaget.

3.2 Inventering

Under inventeringen sammanställdes miljömässig information om ingrediensen från utvinning fram till leverans hos företaget. Inventeringen av miljöpåverkansinformation såsom mängd, utvinning, transportsträckor etc. för respektive ingrediens samlades in från företaget samt leverantörer, genom intervjuer, tillgängliga data, litteraturstudier och webbsökningar.

3.3 Datainsamling

Efter färdigställd inventering fortsatte datainsamlingen enligt metoden Eco-indicator 99. Insamlingen utfördes med hjälp av tillgängliga dokument och säkerhetsdatablad från företaget och leverantörer, transportberäkningar, webbsökningar samt information från databaser. Datainsamlingen hade en funktionell enhet per 100 kilogram färdigblandat gummimaterial samt strävade mot att innehålla två stycken av de miljöpåverkans effekter som förklaras i boken Plaster – Materialval och materialdata (Klason et al., 2013). De två miljöpåverkans effekterna som valdes var global uppvärmning samt miljögifter.

3.4 Tolkning

Sista steget för den förenklade livscykelanalysen var tolkning av resultatet. Här ifrågasättes de sammanställda resultatvärdena med avseende på gjorda antaganden, använda mängder i förhållande till miljöpåverkan etc.

4. RESULTAT

I detta avsnitt redovisas de resultat av den förenklade livscykelanalysen som arbetet lett fram till. Avsnittet delas upp i tre steg enligt Eco-indicator 99 metoden: inventering, datainsamling och tolkning.

4.1 Inventering

Två recept på gummimaterial hade tillhandahållits från företaget med ingredienser och mängd i enhet PHR (*Per hundred rubber*). Det listas nedan i tabell 1.

Tabell 1. Recept 1 och 2

Recept 1				Recept 2			
Namn	Typ	Syfte	PHR	Namn	Typ	Syfte	PHR
CV-50	Naturgummi	Polymer	100	CV-50	Naturgummi	Polymer	100
N772	Kimrök	Fyllmedel	20	Enviro RCB	Återvunnen Kimrök	Fyllmedel	20
Ultrasil VN3 GR	Kiseldioxid	Fyllmedel	10	Oryzasil	Biokiseldioxid	Fyllmedel	10
RP110	Mineralolja	Mjukgörare	20	Pure NOVA	Bioolja	Mjukgörare	20
Silox C2	Zinkoxid	Aktivator	3	Silox C2	Zinkoxid	Aktivator	3
Pristerene 4932	Stearin	Aktivator	1	Pristerene 4932	Stearin	Aktivator	1
Vulkanox 4020	Antioxidant	Stabilisator	1	Vulkanox 4020	Antioxidant	Stabilisator	1
TMQ Pastilles	Antioxidant	Stabilisator	1	TMQ Pastilles	Antioxidant	Stabilisator	1
Svavel	Svavel	Vulkmedel	2,5	Svavel	Svavel	Vulkmedel	2,5
Delta gran CBS 80 GE F 140	Sulfenamid	Accelerator	1	Delta gran CBS 80 GE F 140	Sulfenamid	Accelerator	1
Alchem TETD	TETD	Accelerator	0,3	Alchem TETD	TETD	Accelerator	0,3

Enligt arbetets syfte avgränsas den förenklade livscykelanalysen till fyllmedel samt stabilisatorer. I tabell 2 redovisas samtliga ämnen från recepten och dess miljöpåverkan i form av koldioxidutsläpp samt miljögifter.

Tabell 2. Inventering för samtliga ämnen

Inventering för samtliga ämnen								
Namn	CAS-nr. / EC-nr.	Typ	CO2-utsläpp för transport		CO2-utsläpp för råvaruproduktion		Miljögifter	
			Värde	Enhet	Värde	Enhet	Värde	Enhet
CV-50	9006-04-06 / -	Polymer	-	-	-	-	-	-
N772	1333-86-4 / -	Fyllmedel	992,13	kg CO2 / kg köp	224,83	kg CO2 ekv. / kg kimrök	- / 4,22×10 ⁻⁰⁵	CTUe / CTUh
Ultrasil VN3 GR	7631-86-9 / -	Fyllmedel	56,85	kg CO2 / kg köp	3,80	kg CO2 ekv. / ton kiseldioxid	1,89×10 ⁻⁰² / 1,77×10 ⁻¹⁰	CTUe / CTUh
RP110	101316-72-7 / -	Mjukgörare	212,54	kg CO2 / kg köp	200	kg CO2 ekv. / ton mineralolja	1,31×10 ⁻⁴ / 2,60×10 ⁻⁰⁹	CTUe / CTUh
Silox C2	1314-13-2 / -	Aktivator	-	-	-	-	4,15 / 1×10 ⁻⁰⁹	CTUe / CTUh
Pristerene 4932	- / 266-928-5	Aktivator	-	-	-	-	0,32 / 7,30×10 ⁻⁰⁸	CTUe / CTUh
Vulkanox 4020	- / 212-344-0	Stabilisator	31,32	kg CO2 / kg köp	0	kg CO2 ekv. / ton antioxidant	0,60 / 1,47×10 ⁻⁰⁹	CTUe / CTUh
TMQ Pastilles	26780-96-1 / 500-051-3	Stabilisator	84,99	kg CO2 / kg köp	0	kg CO2 ekv. / ton antioxidant	- / 2,36×10 ⁻⁴	CTUe / CTUh
Svavel	7704-34-9 /	Vulkmedel	-	-	-	-	20911 / 8,20×10 ⁻¹⁰	CTUe / CTUh
Deltagran CBS 80 GE F 140	95-33-0 / 202-411-2	Accelerator	-	-	-	-	0 / 0	CTUe / CTUh
Alchem TETD	97-77-8 / -	Accelerator	-	-	-	-	33,61 / -	CTUe / CTUh
Enviro RCB	- / -	Fyllmedel	37,31	kg CO2 / kg köp	177,62	kg CO2 ekv. / ton återvunnen kimrök	- / -	CTUe / CTUh
Oryzasil	- / -	Fyllmedel	1092,6	kg CO2 / kg köp	628,10	kg CO2 ekv. / ton kiseldioxid	- / -	CTUe / CTUh
Pure NOVA	- / -	Mjukgörare	1323,45	kg CO2 / kg köp	-0,86	kg CO2 ekv. / kg bioolja	2,06 / 4,91×10 ⁻⁷	CTUe / CTUh

4.1.1 Koldioxidutsläpp

Inventeringen för CO2-datan krävde olika källor. Enligt avgränsningarna är fokusområdena fyllmedel och stabilisatorer, men efter önskemål från företaget har värden för de båda mjukgörarna inkluderats i utsläppsinventeringen. För råvaruproduktionen har värden tillhandahållits från leverantörers egna livscykelanalyser samt webbsökningar. Från företaget Enviro redovisades siffror på deras koldioxidutsläpp från utvinning av produkt fram till utkörning till kund (personlig kommunikation, 3 maj 2022). De delade även inventeringsdata för produktion av godtycklig kimrök enligt ett medelvärde från databasernaecoinvent 3.4 samt thinkstep. Biooljan och biokiseldioxiden har även dem data framtagna genom egna livscykelanalyser som tillhandahölls av företaget (personlig kommunikation, 17 februari 2022). De båda antioxidanterna, mineraloljan och kiseldioxiden har krävt omfattande webbsökningar för att hitta inventeringsvärden.

I säkerhetsdatabladet för antioxidanten Vulkanox 4020, vilket tillhandahölls av företaget, framkommer att den största beståndsdel 6PPD är den bekymmersamma komponenten (personlig kommunikation, 26 januari 2022). Enligt California Department of Toxic Substances Control (2021) är utsläppen från däck innehållande 6PPD så små att de antas bli noll. Därmed görs i detta arbete samma antagande med ytterligare motivering att däck förmodligen har större risk för utsläpp än en upphängningskomponent vilket recepten är

menade för. Antagandet är möjligen missvisande då data för framställning av produkten inte hittats efter extensiva webbsökningar, men då det endast används en liten del i recepten anses det rimligt. Antagandet görs även för antioxidanten TMQ Pastilles.

För mineraloljan hittades ett grovt värde från Concawe - Environmental Science for European Refining (2011) som framför de att europeiska raffinaderier släpper ut strax över 200 kg CO₂ per ton bearbetad råolja, vilket används som ett antaget mätvärde. Datan för kiseldioxiden har funnits som ett medelvärde för i en forskningsrapport från Journal of Nanoparticle Research (2010).

Slutligen för utsläppsinventeringen gjordes en transportinventering genom att fastställa leverantörernas geografiska plats med hjälp av säkerhetsdatablad, inköpare på AnVa Polytech AB och webbsökningar. Fraktvikten angavs i den vikt som företaget köper per gång. Därefter användes DHL:s Carbon Calculator (2022) för att ta fram ett värde på hur mycket CO₂ som släpps ut för varje sträcka. I kalkylatorn anges fraktvikt, startort, mellanstopp, slutort och transporttyp. Funktionen LTL/LCL (Truck/container shared with other components) användes för alla utom kimrök där FTL/FCL (Dedicated truck/container) användes

4.1.2 Miljögifter

Inventeringsvärdena har hittats hos Europeiska kommissionen. Några ingredienser i recepten finns inte registrerade men då avgränsningar gjorts till fokus på fyllmedel och stabilisatorer redovisas resterande värden som tidigare nämnt för intressenters skull. De som saknar data är återvunnen kimrök (Enviro RCB), biokiseldioxid (Oryszil) samt naturgummi (CV-50). Då en förenklad LCA kräver en gemensam funktionell enhet och CTU-värdet inte hittats för dessa ingredienser behöver vidare åtgärder tas för en komplett förenklad livscykelanalys för recepten. Åtgärder tas likt avsaknad av index enligt avsnitt 2.2.4 i denna rapport. I detta fall finns en tidsram som begränsar arbetets vidare åtgärder och datan kommer överlämnas till AnVa Polytech AB för fortsatt arbete.

Efter förfrågan till Enviro framkom att de inte hade värden i enhet CTU. Däremot kunde de redovisa miljötoxiska värden i EPA-PAH inkl LOQ för materialet. Ett värde på 320 µg/kg torrsbstans angavs men kan inte användas i jämförelsebart syfte utan utlåtande från erfaren person, till exempel en ekolog eller forskare. Efter flertalet förfrågningar mottogs en kommentar från S. Molander, Professor i Miljösystem och risk på Chalmers Tekniska Högskola (personlig kommunikation, 12 maj 2022). Molander menade på att det är en mycket relevant men komplicerad vetenskaplig diskussion om toxicitetsbedömningar av kemiska ämnen inom LCA. USEtox-modellen rekommenderades (d.v.s. användning av CTU) för enklaste resultat, men han ville också påpeka att om det inte finns tillgängliga CTU-värden borde frågan släppas då det kommer leda arbetet in i ett sannolikt omfattande arbete. Modellen har här använts på grund av att flertalet värden hittades.

4.2 Datainsamling

Samtliga index har hämtats från Ministry of Housings manual för designers och redovisas i tabeller i varje delkapitel nedan (Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, 2000). Det värde som angavs i inventeringen för varje ingrediens har räknats om och redovisas i per mängd använt i recepten, dvs PHR. Indexvärdet har multiplicerats med inventeringsvärdet från tabell 2 vilket ger det jämförbara resultatvärdet.

4.2.1 Summering av koldioxidutsläpp

Resultatet från transportberäkningarna och produktionsberäkningarna adderades och redovisade ett slutgiltigt resultat. Se tabell 3 nedan. Det totala resultatet visar på att kimirök och kiseldioxid bidrar till de absolut största koldioxidutsläppen för materialet. Den största påverkan kommer från produktionen men kimiröken och kiseldioxiden har också störst påverkan från transport.

Tabell 3. Datainsamling för CO₂-utsläpp

CO ₂ -utsläpp								Totalt resultat
Namn	Transport		Index (fraktfartyg / lastbil)	Resultat	Produktion		Resultat	
	Värde / PHR (kg CO ₂ ekv. / PHR)				Värde / PHR (kg CO ₂ ekv. / PHR)	Index (millipoints / kg)		
	Fraktfartyg	Lastbil						
CV-50	-	-	- / -	-	-	-	-	-
N772	Transport enbart via lastbil	0,99	- / 22	21,83	16,92	180	3044,87	3066,70
Ultrasil VN3 GR	Transport enbart via lastbil	0,57	- / 22	12,51	38	60	2280	2292,51
RP110	Transport enbart via lastbil	0,35	- / 22	7,79	4	53	212	219,79
Silox C2	-	-	- / -	-	-	-	-	-
Pristere 4932	-	-	- / -	-	-	-	-	-
Vulkanox 4020	Transport enbart via lastbil	0,06	- / 22	1,38	0	99	0	1,34
TMQ Pastilles	0,15	0,02	1,1 / 22	0,67	0	99	0	0,67
Svavel	-	-	- / -	-	-	-	-	-
Deltagran CBS 80 GE F 140	-	-	- / -	-	-	-	-	-
Alchem TETD	-	-	- / -	-	-	-	-	-
Enviro RCB	Transport enbart via lastbil	0,15	- / 22	3,28	3,55	180	639,42	641,70
Oryzasil	1,24	0,13	1,1 / 22	4,22	6,28	60	370,92	375,14
Pure NOVA	2,49	0,15	1,1 / 22	6,14	-17,2	53	-927,50	-921,36

4.2.2 Summering av miljögifter

Miljögifterna redovisas i tabellerna i enhet CTU/kg emitterad. I detta fall är det mycket svårt att uppskatta hur stor del av varje ingrediens som blir utsläppt i miljön. För att kunna redovisa värdena i en så jämförbar form som möjligt görs ett antagande att 100 % av varje ingrediens släpps ut. Antagandet är ej realistiskt men används för visuellt syfte. Resultatet redovisas i tabell 4 nedan och visar att svavlet har avsevärt störst miljöpåverkan på ekotoxiciteten. Även zinkoxiden har en betydande påverkan för samma kategori. Totalt är resultatet av den mänskliga toxiciteten liten relativt ekotoxiciteten.

Tabell 4. Datainsamling för miljögifter

Miljögifter					
Namn	Värde / PHR (CTU / PHR)		Index	Resultat	
	Ekotoxicitet (CTUe)	Mänsklig toxicitet (CTUh)		Resultat Ekotoxicitet (CTUe)	Resultat Mänsklig toxicitet (CTUh)
CV-50	-	-	-	-	-
N772	-	$8,4 \times 10^{-06}$	180	-	$1,512 \times 10^{-03}$
Ultrasil VN3 GR	0,0018854	$1,7742 \times 10^{-11}$	60	0,113	$1,065 \times 10^{-09}$
RP110	$2,612 \times 10^{-05}$	$5,1922 \times 10^{-10}$	53	0,001384	$2,752 \times 10^{-08}$
Silox C2	41,472	$1,24 \times 10^{-08}$	53	2198,020	$6,577 \times 10^{-07}$
Pristerene 4932	0,003178	$7,2982 \times 10^{-10}$	99	0,315	$7,225 \times 10^{-08}$
Vulkanox 4020	0,006022	$1,4657 \times 10^{-11}$	99	0,596	$1,451 \times 10^{-09}$
TMQ Pastilles	-	$2,364 \times 10^{-06}$	99		$2,340 \times 10^{-04}$
Svavel	522,775	$2,049225 \times 10^{-11}$	53	27 707,075	$1,086 \times 10^{-09}$
Deltagran CBS 80 GE F 140	0	0	99	0	0
Alchem TETD	0,1008	-	99	9,980	-
Enviro RCB	-	-	180	-	-
Oryzasil	-	-	60	-	-
Pure NOVA	0,412	$9,82 \times 10^{-08}$	53	21,836	$5,200 \times 10^{-06}$

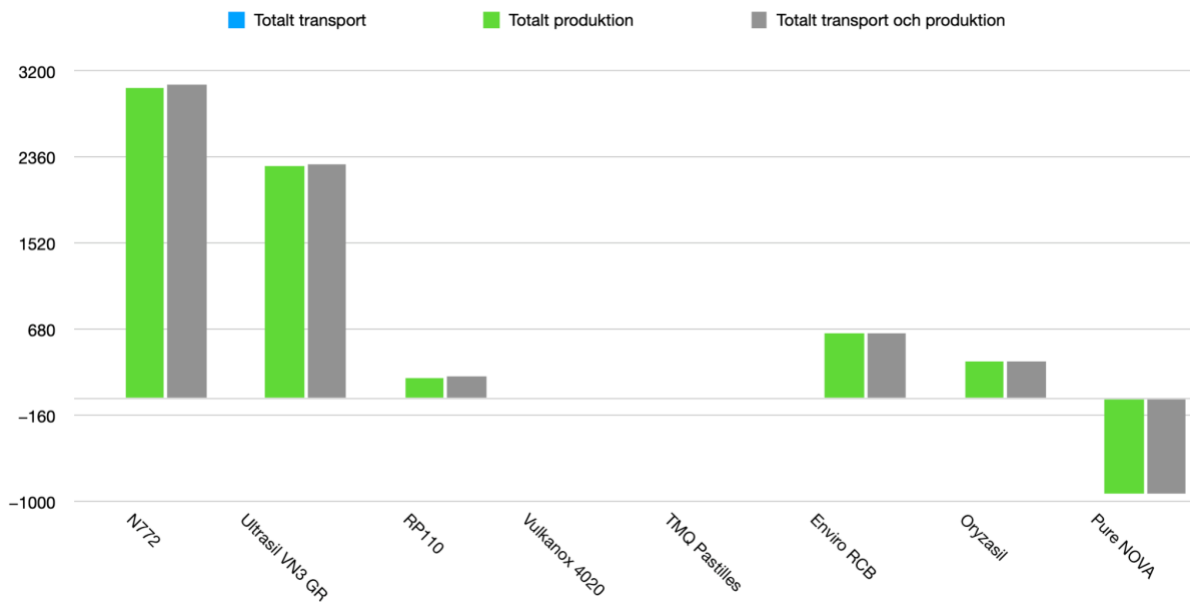
4.3 Tolkning

I följande delkapitel gjordes en tolkning på de resultat som nåtts under datainsamlingen. Antaganden, osäkerheter, slutsatser och kontroll av syftet kommer behandlas enligt avsnitt 2.2.5.

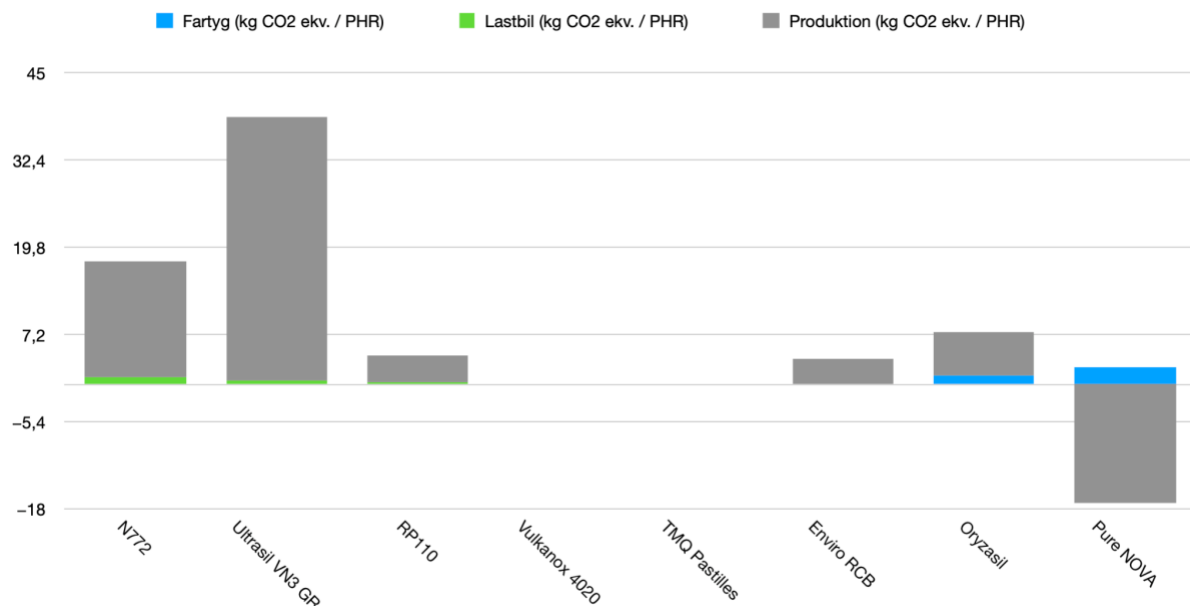
4.3.1 Tolkning koldioxidutsläpp

I detta resultat finns två tydliga ingredienser som släpper ut mer koldioxid än resterande, Kimrök N772 följt av kiseldioxiden Ultrasil VN3 GR. Nedan visas stapeldiagram av CO₂-utsläppen i syfte att visualisera resultatet tydligare, se figur 2 och 3. Figur 2 visar det totala resultatet av varje relevant ingrediens för transport, produktion och sammanlagt resultat. Figur 3, redovisar samma ingredienser men de totala utsläppen för fartyg, lastbil och produktion innan indexmultiplikering.

En intressant aspekt kring diagrammen är resultatet av kimröken N772 och kiseldioxiden Ultrasil VN3 GR då jämförelsen mellan dem varierar innan och efter indexmultiplikering. Indikatorerna är som tidigare nämnt framtagen som en faktor för total miljöpåverkan för en process, vilket här visar en tydlig påverkan på resultatet.



Figur 2. Totalt resultat av CO₂-utsläpp enligt Eco-indicator 99



Figur 3. kg CO₂ ekv. / PHR för relevanta ingredienser

4.3.2 Tolkning miljögifter

Resultatet av den förenklade livscykelanalysen indikerade tydligt att Svavlet följt av zinkoxiden Silox C2 gör den största påverkan på miljön avseende ekotoxicitet. Dessa ingredienser kan tolkas som prioritering för framtida substitution, men frågan om hur mycket av dessa ämnen som faktiskt når till vatten kan diskuteras. Enligt företaget förekommer inget vattenspill i deras blandningsprocess utan det vatten som används och kommer i kontakt med

materialet tas om hand av Stena Recycling. Därmed kan här krävas mer undersökning av framställningen av råvarorna för eventuell framtida substitution för att förbättra materialets miljöpåverkan. Det finns även en betydande felmarginal då värden saknas för hela receptet, inklusive värden för koldioxidutsläpp, därmed skall resultatet tolkas med försiktighet och utrymme för fortsatt arbete finns.

5. DISKUSSION

I detta kapitel framförs reflektioner och tankar kring arbetet. Reflektion och diskussion förs främst kring metodval, funktionell enhet samt utmaningar och avgränsningar.

5.1 Metodval

Av de två välkända metoderna som beskrivs i kapitel två (EPS och Eco-indicator 99) finns flertalet skillnader. EPS är en monetärisk metod, vilket innebär att metoden bygger på en bedömning av externa kostnader för miljöpåverkan samt resursutvinning. Metodens fokusområden är omfattande då den fokuserar på människors hälsa, produktionskapacitet av ekosystem, naturliga resurslager, biodiversitet och kulturella- samt rekreationsvärden.

Eco-indicator 99 begränsas däremot till människors hälsa, ekosystem och resurser. Metoden bygger inte heller på ett kostnadsperspektiv vilket förenklar tillämpningen av metoden sett till uppdraget. Därför gjordes bedömningen att denna metod, sett till dess begränsningar och perspektiv, vara bäst lämpad att använda som analysmetod.

5.2 Funktionell enhet

En annan fråga som diskuterades tidigt var den funktionella enheten. Frågan om en bättre funktionell enhet kan diskuteras, men då arbetet ser till nuvarande material och inte jämför kritiska värden eller potentiella andra ingredienser ses ingen mer fördelaktig enhet.

5.3 Utmaningar och avgränsningar

Examensarbetet har begränsats till stor del av två faktorer, tid och tillgång till programvaror. I dagsläget finns flertalet programvaror som en produktutvecklare kan använda sig av vid framtagning av livscykelanalyser. Däremot är dessa programvaror både dyra och tidskrävande att lära sig. Inventering såväl som datainsamling försvårades av problem med att hitta användbara data. Det hade varit önskvärt att hitta mer användbara data, speciellt för PAH och CO₂ eftersom dessa är vanligt förekommande i många livscykelanalyser och därmed hade förenklats både tolkningen och jämförelser.

6. FORTSATT ARBETE

I detta avslutande kapitel presenteras förslag för vidareutveckling av den förenklade livscykelanalysen, bortom vår begränsade tidsram. I och med att flertalet gjorda antaganden har föreslagen substitution inte hunnit behandlas i detalj, dessutom har vissa ingredienser avgränsats eller fått lägre prioritering. Dessa begränsningar kan behandlas vidare i fortsatt arbete.

6.1 Antaganden

Ett antal antaganden har gjorts då pålitliga data varit svårtillgängligt. För ett eventuellt fortsatt arbete med livscykelanalys om dessa substanser rekommenderas tillgång till välsorterade databaser såsom ecoinvent's senast uppdaterade version.

6.2 Substitution

I projektets syfte nämns att arbetet i mån av tid skall behandla substitution av ingredienser. På grund av tidsbegränsning har detta inte gjorts och det finns utrymme för fortsatt utveckling på detta område. Undersökning av alternativa ingredienser är intressant i sammanhanget och rekommenderas enligt kapitel 2.5 i detta arbete, vilket också följer kemikalieinspektionens vägledning. Källor för substitutionen kan bland annat göras via webbsökningar samt intervjuer med leverantörer och övriga representanter från näringslivet.

Referenser

Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment. (2000). *Eco-indicator 99. Manual for designers*. https://pre-sustainability.com/legacy/download/EI99_Manual.pdf

Kubát, J., Klason, C., Boldizar, A., & Rigdahl, M. (2008). *Plaster - Materialval och materialdata* (6 uppl). Liber.

Mannan, S. (2012). *Lees' Loss Prevention in the Process Industries* (4 uppl.). Butterworth-Heinemann. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2009-0-24104-3>

Swedish Environmental Research Institute. (13 november 2020). *Environmental Priority Strategies*. <https://www.ivl.se/english/ivl/our-offer/our-focus-areas/consumption-and-production/environmental-priority-strategies-eps.html>

Steen, B. (1999). *A Systematic Approach to Environmental Priority Strategies in Product Development (EPS). Version 2000 - General System Characteristics* (CPM 1999:4). Centre for Environmental Assessment of Products and Material Systems, & Chalmers University of Technology, Department of Technical Environmental Planning. https://www.lifecyclecenter.se/wp-content/uploads/1999_4.pdf

Steen, B. (2015). *The EPS 2015d impact assessment method - an overview* (Swedish life cycle center, Report number 2015:5). Chalmers University of Technology, Division of Environmental Systems Analysis, Department of Energy and Environment. https://www.ivl.se/download/18.7342a03f17582337c2836f6/1605275148446/The%20EPS%202015%20impact%20assessment%20method_An%20overview_SLC%20Report%202015_5.pdf

USEtox. (2022). *Frequently Asked Questions - How to use USEtox and characterization factors*. <https://www.usetox.org/faq-page/23-0#t23n78>

European Committee for Standardization. (2016). *European Platform on Life Cycle Assessment, EN 15804 reference package* (EN 15804). European Commission. https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/EN15804.xhtml?fbclid=IwAR3dYKFP92ew80-rkn9WlEu4cLypPSi8DGcAwyLK6NIc_syq5MNqzJcAQ1M

Division of Toxicology and Human Health Sciences/Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (1996). *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) - ToxFAQs*. United States Department of Health and Human Services. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tfacts69.pdf>

Kemikalieinspektionen. (30 juni 2021). *Substituera*.

<https://www.kemi.se/prioguiden/substituera>

California Department of Toxic Substances Control. (2021). *Product - Chemical Profile for Motor Vehicle Tires Containing N-(1,3-Dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylenediamine (6PPD)*. https://dtsc.ca.gov/wp-content/uploads/sites/31/2021/06/2021-Product-Chemical-Profile-for-Motor-Vehicle-Tires-Containing-6PPD-Discussion-Draft_ADA.pdf

Concawe - Environmental Science for European Refining. (2011). *The potential for application of CO2 capture and storage in EU oil refineries*. https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/2017/01/rpt_11-7-2011-03321-01-e.pdf

Roes, A. L., Tabak, L. B., Shen, L., Nieuwlaar, E., & Kumar Patel, M. (Aug 2010). Influence of using nanoobjects as filler on functionality-based energy use on nanocomposites. *Journal of Nanoparticle Research*, 12:2011–2028.

https://www.researchgate.net/publication/226858123_Influence_of_using_nanoobjects_as_filler_on_functionality-based_energy_use_of_nanocomposites. DOI 10.1007/s11051-009-9819-

3

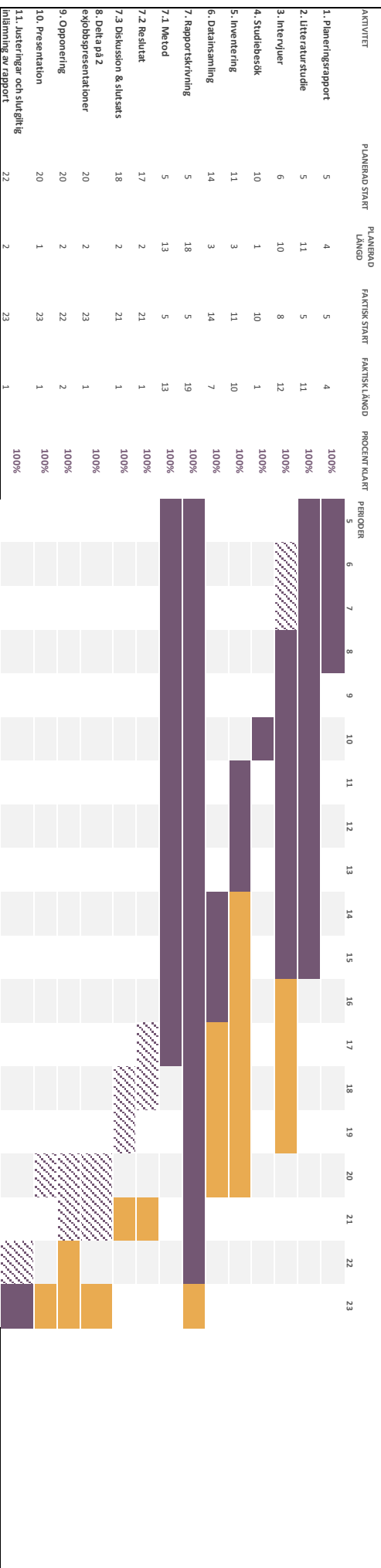
DHL. (2022). *Carbon Calculator* (Version 2.0.1) [Onlineverktyg]. Deutsche Post AG.

<https://dhl-carboncalculator.com/#/home>

Gantt-schema examensarbete 2022

Ida Adlerci Alexandra Lund

Marknad period: 1



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



CHALMERS