



CHALMERS

Metod för livscykelanalys för produkter tillverkade av Swedish Electro Magnets, SEM

En undersökning av XPI statorinjektor till
dieselmotorer

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

Jim Johansson
Emil Pettersson

INSTITUTIONEN FÖR Industri- och materialvetenskap

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2023
www.chalmers.se

Metod för livscykelanalys för produkter tillverkade av Swedish Electro Magnets, SEM

En undersökning av XPI statorinjektor till
dieselmotorer

Jim Johansson
Emil Pettersson



CHALMERS

INSTITUTIONEN FÖR Industri- och materialvetenskap

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2023

www.chalmers.se

Metod för livscykelanalys för produkter tillverkade av Swedish Electro Magnets, SEM

En undersökning av XPI statorinjektor till dieselmotorer

Jim Johansson

Emil Pettersson

Examinator och Chalmers handledare: Peter Hammersberg

Handledare: Miriam Björklund, SEM

© Jim Johansson, 2023

© Emil Pettersson, 2023

Examensarbete 2022 inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

Institutionen för Industri- och materialvetenskap

Chalmers Tekniska Högskola

SE-412 96 Göteborg

Telefon +46 31 772 1000

Förord

Denna rapport är resultatet av examensarbetet "Metod för livscykelanalys för produkter tillverkade av "Swedish Electro Magnets, SEM. En undersökning av XPI statorinjektor till dieselmotorer" på 15 högskolepoäng. Arbetet har utförts av Jim Johansson och Emil Pettersson från Chalmers inom utbildningen Högskoleingenjör i Maskinteknik, 180 högskolepoäng.

Vi vill ge ett stort tack till SEM som initierade detta arbete och vi vill särskilt tacka Miriam Björklund som har varit vår externa handledare vid SEM. Hon har möjliggjort våra besök i deras fabrik samt bidragit med information/data om tillverkningen. Vi vill även tacka Andreas Johansson som har givit detaljer kring produkten och tillverkningsprocesser.

Till sist ger vi ett tack till vår examinator och handledare på Chalmers Peter Hammersberg. Han har bidragit med hjälp kring planering och gett mycket användbar feedback under rapportskrivandet.

Göteborg

27 februari 2023

Jim Johansson

Emil Pettersson

Abstract

This report is about the development and function testing of a simplified life cycle analysis (LCA) methodology and a corresponding tool for SEM (Swedish Electro Magnets), developed using commonly available software in the Microsoft office suite. This work is done using a real case of the XPI (extreme pressure injector) stator-injector as reference, reporting on the conclusions from the test analysis.

Since the main goal of the study was to develop a calculation tool, this study includes much information about how the tool was developed from the steps of Lifecycle analysis (LCA). While the results from example use of the tool have not been verified against real measured data, the tool follows the standard methodology for LCA and provides results deemed as reasonable.

The stator-injector is manufactured in Åmål by SEM and is an important component of the fuel injection system for Scania truck engines. The commercial automotive industry is constantly working to reduce their environmental impact and this study is intended to help SEM identify which part of the product lifecycle is the most damaging to the environment. It is also meant to provide tools for further development of SEM products from an environmental perspective.

The results from this study show that almost all emissions come from the usage of the stator-injector during its service life and that improvements in this area should be prioritised for further development. Some of the most important observations include that there is room for reduction of emissions on a per piece basis in the production, but that in the development phase the most important goal should be to increase efficiency as the absolute majority of emissions are generated during use. However, there are still possibilities for improvements in the areas of packaging and transport.

The accuracy of the developed tool is highly dependent on the quality of the input data and should be considered carefully before use. The tool does however produce results roughly in line with expectations and does identify a problem area which should be prioritised for further development.

This study was conducted at the department of Industrial and Material Science at Chalmers University of Technology.

Keywords: Life cycle analysis, LCA, XPI, stator-injector, fuel system, diesel engine, methodology

Innehållsförteckning

Syfte	8
Inledning.....	9
Teori	11
Beskrivning av LCA.....	11
Bakomliggande metod	11
Steg i LCA enligt standard	12
Acceptabel nivå av försummande i analys	12
Allokering i användningsfasen	12
Anledning till att undersöka miljöpåverkan	13
Metod	14
Önskemål för mallen	14
Arbetsprocess vid mallens framtagande.....	14
Mallens uppbyggnad	14
Systemavgränsningar i mallen	15
Material utsläppsdata	15
Karaktärisering av mallen.....	16
Validering av mallen	16
Resultat	17
Tillverkning hos underleverantörer.....	17
Intern bearbetning	17
Transportberäkningar	18
Förpackningsmaterial.....	19
Produktens påverkan under användning	19
Skrotande av produkten	20
Tolkning av beräkningar	20
Svårigheter i omfattande analys	22
Rekommendationer till ändringar	24
Slutsats.....	25
Figurer och tabeller	27
Litteraturförteckning	29

Syfte

SEM önskar förbättra sin förståelse för hur deras produkter påverkar miljön då miljötank och miljöpåverkan är viktiga frågor i den moderna tillverkningsindustrin. Som en del av detta arbete har de tagit initiativ till ett samarbete med Chalmers i form av ett examensarbete.

Syftet med detta examensarbete var att ta fram ett verktyg för livscykelanalyser (LCA) i samarbete med företaget SEM för att de skall kunna utföra livscykelanalyser på sina produkter på ett förenklat och standardiserat sätt. Verktöget underlättar utförandet av LCA i en undersökt produkt och för att visa detta har en exempelanalys skapats. Produkten som analyserats i exemplet är XPI statorinjektorn producerad av SEM. Inom studien skapades ett verktyg för att undersöka den totala miljöpåverkan från produkten under dess liv. Denna livscykelanalys (LCA) skall kunna användas av SEM för att förbättra förståelsen kring hur deras produkter påverkar miljön och kunna minska negativ miljöpåverkan i nuvarande och framtida produkter. Syftet är att SEM skall kunna använda resultatet från detta arbete och verktyg i sin framtida verksamhet. För att kunna bestämma om verktöget uppfyller detta syfte så har ett exempel med XPI statorinjektorn skapats för att undersöka om de producerade resultaten är rimliga.

Verktöget skall även enkelt kunna expanderas för att undersöka andra produkter och rådata skall kunna ändras för att anpassa verktöget efter annorlunda material, tillverkningsmetoder och produkter. Till sist skall verktöget kunna användas för att jämföra olika metoder i en produkts liv och utifrån givna data skall användaren kunna identifiera problemområden och områden med förbättringspotential.

Inledning

SEM önskar förbättra sin förståelse för hur deras produkter påverkar miljön då miljötank och miljöpåverkan är viktiga frågor i den moderna tillverkningsindustrin. Många företag försöker minska sin miljöpåverkan och förväntar sig att deras underleverantörer också gör motsvarande förbättringar.

SEM har tagit initiativ till detta examensarbete för att få tillgång till data och information om LCA-metoder tillsammans med ett verktyg för att kunna förbättra sina produkter. För att säkerställa att mallen fungerar har en exempelanalys genomförts där en komponent till en förbränningsmotor valts ut. Denna produkt kan ha en stor påverkan på miljöutsläpp från både koldioxid och andra biprodukter såsom kväveoxid och svaveloxid från inkomplett förbränning. Därför är det viktigt att ha information och verktyg att arbeta ifrån för att kunna förbättra existerande och framtida produkter ur dessa aspekter. All form av tillverkning har en påverkan på miljön på något sätt, och det är ett erkänt faktum att denna påverkan kan orsaka skada både lokalt och globalt.

SEM önskar förbättra sin förståelse för hur deras produkter påverkar miljön då miljötank och miljöpåverkan är viktiga frågor i den moderna tillverkningsindustrin. Detta eftersom många företag försöker att minska sin miljöpåverkan och förväntar sig att deras underleverantörer också gör motsvarande förbättringar. Hittills har fokus inom industrin mycket legat på att minimera utsläpp av föroreningar och tungmetaller i produkter vilket har lett till ett internationellt system för att dela information om produkters materialinnehåll. Däremot har SEM sedan tidigare inget etablerat system för att mäta miljöpåverkan under produktens livscykel.

Att genomföra förändringar för att bli bättre på något, oavsett vad, är svårt att motivera om man inte kan mäta en förväntad förbättring. Och kan i vissa fall vara kontraproduktivt om korrekta verktyg för beräkning saknas. Det är även viktigt att kunna mäta förbättringen i uppföljning av förändringar för att konstatera att förändringar fått önskad effekt.

Livscykelanalyser är fortfarande ett område under utveckling, även om det finns standarder för hur de skall utföras så är det väldigt mycket tolkningar att göra och situationer som saknar etablerade tillvägagångssätt, något (Klopffer & Grahl, 2014) beskriver återkommande.

Det långsiktiga målet är att SEM skall kunna producera produkter med lägre miljöpåverkan under deras totala livscykel. Studien syftade till att ta fram ett verktyg för att kunna utvärdera produkter där tillverkning, material, interna transporter, användning och återvinning inkluderas i miljöpåverkan. SEM har tidigare inte tagit fram användbara data rörande LCA utan har istället fokuserat på prestanda. För att utveckla sin kompetens inom LCA har de tagit initiativ till denna studie genom ett examensarbete där ett verktyg för LCA är huvudsyftet med studien.

En viktig frågeställning för denna studie var: Hur behöver verktyget vara uppbyggt och vad behöver verktyget innehålla för att skapa användbara resultat som är korrekta?

Nästa steg efter studien för SEM blir att anpassa framtida och nuvarande produkter för att minska miljöbelastningen från dem.

Studien visar att det skapade verktyget innehåller de steg för LCI-analys som definieras i ISO 14040 och behandlar data på ett sätt som överensstämmer med denna standard. Resultatet från exempelundersökningen visar att mallen ger rimliga värden i förhållande till inmatade data. Om dessa mätningar lyckas implementeras och leda framtida utveckling finns möjlighet att minska miljöpåverkan av kommande produkter. Då det enligt personal på SEM har börjat komma signaler på att kunder i framtiden väntas ställa hårdare krav på att minimera miljöpåverkan kan ett försprång på denna front väntas ge en fördel vid framtida upphandlingar. Om SEM genom verktyget kan undersöka miljöpåverkan från sina produkter kan denna information ges vidare till kunderna så att även de får bättre förståelse för miljöpåverkan från de produkter de köper från SEM.

Om verktyget lyckas hjälpa SEM att förbättra sina produkter så ger detta ett övertag på marknaden, vilket i sin tur leder till att kunder kan dra nytta av bättre miljödata för sina egna produkter också. En massadoption av LCA-tänk och verktyg för att göra LCA har möjligheten att markant minska miljöpåverkan från varje steg i produktionskedjan vilket är en fördel för hela samhället. Att skapa en fullständig LCA är tidkrävande om alla detaljer skall vara med och verktyget skapat i denna studie skall förhoppningsvis förenkla denna process. Då SEM inte arbetar med LCA i någon större utsträckning i dagsläget skall verktyget kunna användas av deras ingenjörer i framtiden för skapandet av nya produkter. En integration av verktyget i arbetsflödet har möjligheten att introducera LCA tidigt i processen för produktutveckling vilket gör det enklare att bygga en produkt med miljöperspektivet i åtanke. SEM placerar redan värde i miljöaspekten genom deras investering i alternativa bränslekällor såsom vätgas men lättare tillgång till miljödata kan även öka miljötänkandet i delarna av verksamheten som är mer riktade åt fossilbränslen.

Att göra en fullständig verifiering av hur väl mallen fungerar skulle inte vara möjligt av både tids- och resursskäl då detta bland annat skulle innefatta en formell kritisk granskning för att säkerställa att standarden följs. Därför har fokus för kontroll legat på funktionskontroller så att verktyget följer teorin som ligger till grund för arbetet och de antaganden som gjorts under arbetets gång.

Validering av hur väl mallen fungerar hos SEM lämnas för framtida arbete tillsammans med att åtgärda eventuella brister som upptäcks under användning. För att förbättra verktyget för framtida bruk är det önskvärt att utöka antalet produkter som mallen kan undersöka. För att göra detta kan det behövas mer rådata om olika sorters material och tillverkningsmetoder. På längre sikt väntas en lyckad implementering leda till att SEM orsakar mindre mängd utsläpp.

Verktyget underlättar utförandet av LCA i en undersökt produkt och för att visa detta har en exempelanalys skapats. Resultatet för exempelstudien visar att ett visst stadi i livscykeln dominerat det totala utsläppet vilket visar att verktyget har lyckats identifiera ett problemområde. Exempelstudien visar även att förmågan att ändra material eller tillverkningsmetoder gör det enkelt att skapa jämförelser mellan olika processer.

Teori

Beskrivning av LCA

En utförlig livscykelanalys undersöker livscykeln för en produkt och en bedömning görs i detalj av relaterade processer under hela produktens liv. Från att råmaterial hämtas från naturen, tills att produkten återvinns, bränns eller ligger i deponi.

Att göra detta är väldigt arbetsintensivt och kräver information som inte finns förrän livscykeln är klar, därför är LCA främst ett sätt att utvärdera existerande produkter. Inom området pågår arbete med att ta fram mer lättanvända, men mindre noggranna verktyg som kan användas för att vägleda beslut under utvecklingen. (Ashby, Shercliff, & Cebon, 2019) vanligaste förenklingarna är en högre grad av aggregerade data och uppskattningar av vissa steg i livscykeln. När man vill använda LCA metoder som ett beslutsunderlag i utvecklingsfasen är det möjligt att hoppa över miljöpåverkansbedömningen (LCIA), något som även beskrivs i ISO 14040. Ett vanligt sätt att räkna när man gör förenklade analyser är att antingen räkna på energi för att tillverka resurser, alternativt att räkna på koldioxidekvivalenter för att approximera. (Ashby, Shercliff, & Cebon, 2019)

Livscykelanalys har rötter tillbaka till 1880 talet, men då bara som ett sätt att mäta energiåtgång. De första analyserna som liknar en modern LCI (Livscykelinventeringsanalys) utfördes runt 1970 för att undersöka förpackningsmaterial, men utvecklingen gick långsamt fram till 1990 som kan ses som starten för den moderna utvecklingen, vilken ledde till ett antal försök att standardisera metodiken medan den fortfarande utvecklades. Dessa försök har slagits ihop och reviderats till ISO 14040 och ISO 14044 som idag är den enda internationellt godkända standarden. (Klöppfer & Grahl, 2014)

En livscykelanalys definieras enligt ISO 14040. Därmed skall den identifiera de olika stegen i en produkts liv och skall kunna beräkna den totala miljöpåverkan från de olika stegen. Dessa steg är för tillverkning av fysiska produkter: utvinning och förfining av råmaterial, transporter av material, tillverkning av produkten, användning av produkten och deponi vid slutet på produktens liv.

För att kunna bestämma de olika stegen måste en systemavgränsning göras där det definieras exakt vad som inkluderas i de olika stegen. Denna systemavgränsning begränsar de delar som bearbetas i analysen vilket därmed påverkar resultaten och hur resultaten skall tolkas.

Bakomliggande metod

Detta arbete har utgått från processerna beskrivna i ISO 14040 och ISO 14044. Dessa standarder beskriver innehållet, struktur och metoder för hur en LCA skall utföras.

På SEM har det hittills inte utförts några studier med syfte att undersöka påverkan under hela produktens livscykel. För att öka chanserna att framgångsrikt implementera mätningar i produktutveckling och tillverkning är det därför viktigt att det är enkelt att göra jämförelser mellan olika alternativ. För att uppnå denna enkelhet behöver dock vissa kompromisser göras i precision för varje enskild mätning vilket gör att resultatet minskar i noggrannhet.

I detta arbete ligger fokus på att ta fram en grundmodell för att analysera produkter på SEM för att ge en bild av deras koldioxidavtryck. Att få fram exakta siffror för detta kräver att tillverkningen analyseras från gruvan till dess att motorerna är skrotade. Arbetsinsatsen och kostnaden för att genomföra en fullständig analys från grunden är opraktiskt stor. Av denna anledning har vi i detta arbete, baserat på ISO standard, tagit fram en förenklad metodik som utgår från en inventering av in- och utflöden hos SEMs produktionsanläggning, med förenklad modellering av steg utanför detta med hjälp av aggregerade data.

Denna metodik är inte perfekt då den har stor risk att missa betydande processteg eller transporter hos underleverantörer, något (Finnveden, 2009) menar är en bristande förenkling, och att en bättre

metodik är att använda data för de processteg som används i det aktuella produktionsfallet, men påpekar även att aggregerade data är det som oftast finns tillgängligt.

Steg i LCA enligt standard

Enligt ISO 14040 innehåller en LCA analys fyra faser med ett antal understeg var:

- a) Definition av mål och omfattning
- b) Livscykelinventeringsanalys, LCI
- c) Miljöpåverkansbedömning, LCIA
- d) Tolkning

Dessa kan sammanfattas enligt följande:

- a) Definition av mål och omfattning

Skall besvara frågor som varför studien utförs, vad som studeras, var gränsen för studien går, vilken noggrannhet studiens olika delar har, hur man får in data och hur brister hanteras. Det är alltså här man bestämmer metoden för studien, dock så är LCA en iterativ process så denna behöver uppdateras under analysens gång.

- b) Livscykelinventeringsanalys (LCI)

Här samlas data in från hela processen. Det är viktigt att dokumentera var data kommer ifrån, och vad den omfattar för att minska risken att räkna dubbelt. Här undersöker man datakällor för att se att de är enhetliga, alternativt vidtar åtgärder för att uppnå detta. Det är även här man definierar hur förbrukning skall allokeras.

- c) Miljöpåverkansbedömning (LCIA)

I detta steg kopplas resultatet från (LCI) till dess påverkan på miljön, baserat på en klassificering till valda miljöpåverkanskategorier.

- d) Tolkning

Här tolkas resultaten från LCI och/eller LCIA, vilket innefattar en utvärdering om metoder är pålitliga och kan ge betydande bidrag till resultatet. Ett viktigt steg är att dra slutsatser och identifiera begränsningar i studien samt ge rekommendationer till berörda läsare.

Acceptabel nivå av försummande i analys

I idealfallet skall en livscykelanalys innehålla alla in- och utflöden över systemgränsen, men i många fall är detta opraktiskt. Därför införs det ofta (Klopffer & Grahl, 2014) en begränsning för faktorer som är mindre än 1% av produktionsstegets massa/energi/miljöpåverkan, förutsatt att totala mängden man bortser ifrån är mindre än 5%.

Allokering i användningsfasen

När man gör livscykelanalyser på hela fordon är det relativt lätt att allokera miljöpåverkan till fordonet genom att räkna samman utsläpp, bränsle och konsumtionsartiklar som beräknas gå åt

under fordonets livslängd. Men när det gäller delsystem blir det omedelbart svårare att allokera miljöpåverkan. Etablerade metoder (R., Le Borgne & P., Feillard, 1999) är att antingen använda pro rata mass allocation, vilken tillskriver miljöpåverkan baserat på massa. Och " Δ mass/ Δ consumption" vilken tillskriver utsläpp baserat på massa med en korrigeringsfaktor för att ta hänsyn till flera faktorer. Denna faktor beror dock på fordonet, och kräver praktiska försök för att få fram.

Bristen med dessa metodiker är att hänsyn bara tas till massan och att all annan påverkan är jämnt fördelad på massan. Detta är dock inte alltid fallet då vissa komponenter påverkar utsläpp via andra faktorer än enbart vikt.

I slutet av produktens livscykel är det viktigt att räkna in utsläpp för tex återvinning eller förbränning. I fall med återvinning är det enligt (Klöppfer & Grahl, 2014) vanligt att dra bort motsvarande mängd utsläpp som återvunnen massa skulle innebära vid nyproduktion.

Anledning till att undersöka miljöpåverkan

En modern livsstil konsumerar oundvikligen naturresurser och är beroende av ett kontinuerligt inflöde av naturresurser, och med en ökande population samt en höjning av levnadsstandard är det nödvändigt att effektivisera vår resursutveckling (Ashby, Shercliff, & Cebon, 2019).

Dessutom är det vanligt inom fordonsindustrin att konstant söka efter förbättringsmöjligheter i termen av miljöutsläpp och för att göra detta måste först problemområden identifieras. Så fort ett beslut skall tas för att ändra sin miljöpåverkan brukar även detta önskemål skickas vidare i produktionskedjan till underleverantörer. Underleverantörer implementerar de ändringar som önskas och skickar vidare önskemålet till sina underleverantörer så att det når starten av produktionskedjan.

Metod

Önskemål för mallen

I intervjuer med SEM framkom att då liknande undersökningar inte gjorts tidigare var det viktigt att mallen går att implementera i utveckling av framtida produkter. I litteraturstudien blev det tydligt att en fullständig livscykelanalys kräver större arbetsinsats än vad som kan omfattas i denna studie. För att ändå möjliggöra ett bra verktyg valdes en förenklad metodik som skippar miljöpåverkansbedömning och förenklar miljöpåverkan till koldioxidekvivalenter. Detta är fördelaktigt då det är lätt att få fram en siffra för att jämföra resultat. Bristen med denna metodik är att miljöpåverkansbedömningen är betydligt mer nyanserad, och att förenkla till koldioxidekvivalenter ibland kan missa viktiga detaljer så som exempelvis att vissa resurser är förnybara.

Arbetsprocess vid mallens framtagande

För att ta fram en lättanvänd metod för att utföra livscykelanalyser valdes en av SEMs produkter, XPI, som omfattar ett flertal processer och material som återfinns även i flera andra produkter de producerar. Genom att utföra en analys av denna produkt parallellt med arbetet att ta fram metodiken kunde vi testa modellen medan den togs fram, och även ha ett äkta exempel att basera beslut i modellen på. Detta är speciellt viktigt för att kunna utesluta minimalt påverkande faktorer.

På grund av existerande kundkrav finns det sedan tidigare en förteckning av slutprodukternas materialinnehåll i form av International Material Data System (IMDS). Detta gör det enkelt att få fram materialåtgången i de flesta av produktens ingående komponenter. Dock krävs det att denna data går igenom för att lägga till information för delar som inte är med i slutprodukten, så som förpacknings- och processpill. För produkter under utveckling kan motsvarande värden fås av CAD och liknande verktyg som används i design.

Datainsamling för konsumtion skedde främst genom besök vid tillverkningsanläggningen hos SEM i Åmål med givna siffror direkt från företaget. Vissa av dessa givna värden var uppskattningar istället för direkt uppmätta värden och är därför mer osäkra. Beräkningar av miljöutsläpp bröts ner till en funktionell enhet på en produkt. Därefter beräknades det totala utsläppet per produkt och utsläppet per gram av de olika komponenterna i produkten.

Mallens uppbyggnad

För att ta fram ett verktyg som är lätt att implementera och använda så valdes vanliga produkter i Officepaketet; Excel och Word. I Excel var målet att ta fram en mall som är väldigt lätt att använda oavsett vilka produkter som analyserades. Ett antal viktiga kategorier identifierades som mallen byggdes upp ifrån:

- Material i slutprodukten, där samtliga material och tillverkningsprocesser som används för en enhet av slutprodukten läggs in. Detta inkluderar material som exempelvis svarvas bort hos underleverantörer. Här anges även vilka bearbetningsprocesser som används från rullgardinsmenyer.
- Transporter. Här matas data om transportsträckor in, transportsätt väljs och mängd gods anges. Detta används för både transport till och från anläggningen av komponenter och färdiga produkter.
- Konsumtionsvaror i tillverkningen, där det inkluderas konsumtionsartiklar som inte hamnar i slutprodukten, exempelvis packmaterial och el, detta omfattar även antagen hantering av avfall.
- Användningen, där det beräknas utsläpp under en genomsnittlig användning. Detta baseras på tidigare undersökningar, och har två metoder för allokering som är lämpliga baserat på vad som undersöks.

- “End of life” scenario, där produkten antingen återanvänds, återvinns eller deponeras. Detta beräknar utsläpp i samband med förväntad metod för återvinning. Separat redovisas vilka utsläpp som skulle uppstå vid nyproduktion av motsvarande mängd nytt material. Detta sker på samma blad som val av ingående komponenter för att minska risken att blanda ihop data.

Under tester med mallen upptäcktes att vissa liknande data ofta upprepades, vilket ledde till att ett system med rullgardinsmenyer implementerades för att göra de vanligaste valen. Till exempel material, bearbetningsprocesser och transportsätt. Dessa refererar till ett centralt ark där all materialdata samlas för att minimera risken att blanda ihop siffror eller mata in samma data på flera ställen.

Beräkningarna i sig är relativt enkla och består i att addera ihop kvoter för koldioxidpåverkan med varandra och sedan multiplicera dessa med hur mycket material som används per del. För att underlätta användning har ett fokus legat på att formler funkar oavsett antal inmatade data, och att det är enkelt att lägga till nya kategorier.

Systemavgränsningar i mallen

För denna rapport har avgränsningar satts vid framställning av råmaterialet och att inget återvunnet eller återanvänt ingående material används i produktionen. Det scenariot är den som ger det beräkningsmässigt största utsläppsvärdet från råmaterial. För transporter inkluderas endast transporter av komponenter direkt från underleverantör till SEM samt frakt av statorinjektorn till kundens leveransadress. Däremot har transport av de minsta beståndsdelarna bortsetts från då de sammanlagt utgör mindre än 3% av produktens totala massa fördelat på olika leverantörer och all transportinformation om dessa material var inte känd men bedöms vara tillräckligt liten för att kunna exkluderas enligt etablerade LCA standarder.

Transporter till och inom underleverantörer har ej inkluderats då kartläggande av dessa transporter är utanför avgränsningsområdet och är bättre lämpade för en specifik undersökning av produktionskedjan. I detta arbete försummas även transporter efter leverans till kundens leveransadress då dessa styrs av fordonstillverkaren och inte kan påverkas av SEM. Dessa förutsätts dock vara korta då produkten levereras till fabriken, samt lämnar fabriken som del av färdigt system.

Produkten är en viktig del av en förbränningsmotor och därför har beräkningar utförts på bränsleförbränning under produktens liv. Dessa värden måste dock beaktas med försiktighet för de inkluderar hela fordonets totala bränsleförbränning vilket är ett mycket större system än den enskilda produkten som undersöks i denna rapport. Dessutom är det inte den undersökta produkten som är enskilt ansvarig för dessa utsläpp utan den är endast en del bland hundratals i en större motor, men dessa andra delar är utanför systemgränsen. Det är dock viktigt att inte förminska eventuella förbättringar i bränsleförbrukning till följd av produkten då den är specifikt designad för att ha maximal förbränningseffektivitet och därmed minska miljöutsläpp (SEM, 2023). I detta arbete anses de etablerade metoderna av dessa skäl vara olämpliga för många av de produkter SEM tillverkar, alternativt för opraktiska för att utföra i detta arbete. I studien redovisas totala siffror dividerat med antal enheter per motor.

SEM fattar även beslut som inte påverkar motorns effektivitet, till exempel skyddshöljen och liknande. För dessa togs en funktion för att använda mass allocation fram då denna är väl lämpad i dessa användningsområden.

Material utsläppsdata

När man skall jämföra olika material ur en miljösynpunkt är det viktigt att all indata är framtagna på jämförbara sätt, därför är det fördelaktigt att arbeta i databaser med jämförbara data.

Det finns ett antal olika sådana databaser som är specialiserade för LCA analyser men baserat på tidigare erfarenhet och tillgänglighet valdes det att använda Ansys Granta EduPack software där typiska utsläpp för framställning, bearbetning, och förbränning/återvinning är listade för många använda material. Detta är aggregerad data från litteratur och specialiserade databaser.

Flera material i produkten har ej sin exakta information givna i dessa materialdatabaser och vid dessa material har data från närmast möjliga liknande material använts, alternativt som en sista lösning överdrivna uppskattningar. När detta är gjort har det alltid angivits i modellen för att vara lätt att ta hänsyn till vid analys.

Värden för de bearbetningsmetoder som materialen behandlas med före leverans har också tagits från materialdatabasen.

Karaktärisering av mallen

Mallen skall kunna användas i framtida produktutveckling för att förenkla miljöanalyser och tydliggöra källor till olika utsläpp. I nuläget innehåller mallen till stor del teoretiska data från databaser och andra rapporter snarare än direktuppmätta värden. Detta görs genom en livscykelanalys vars struktur är beskriven i ISO 14044 för att isolera vilka olika stadier i produktens liv orsakar utsläppen. Mallen är även byggd att beräkna det totala koldioxidutsläppet från alla stadier av produktens liv och är ej anpassad för undersökning av många olika sorters utsläpp. Eftersom koldioxidutsläpp är den enda faktor som behandlas i större utsträckning blir det den avgörande karaktäriseringsfaktorn. Andra former av utsläpp som inte går att översätta till koldioxidutsläpp är endast givna som enkla siffror utan djupare beräkningar utförda på deras resultat.

Mallen har även använt information från materialdatabaser då den exakta data om alla material inte är känd, denna begränsning kan vara önskvärd att åtgärda för framtida produkter där det är stor skillnad i miljöpåverkan mellan valda materialet och ett standardmaterial.

Validering av mallen

Mallens funktionalitet har validerats genom att använda XPI statorinjektorn som ett räkneexempel och en rimlighetsbedömning av de resultat som producerats från detta räkneexempel. En komplett verifiering är inte möjlig med det exemplet då det skulle kräva att följa en statorinjektor genom hela sitt liv vilket kommer ta många år. Dessutom skulle det kräva datainsamling i verklig drift i mycket lång tid vilket är utanför den tidsram och resurser som fanns tillgängliga för projektet.

Då målet med mallen är att den skall vara ett praktiskt och användbart verktyg för vidare produktutveckling så kommer den bedömas ur denna aspekt av dess framtida användare. Därmed är mallen byggd på ett sätt som skall göra den enkel att använda och expandera för att kunna användas på många olika sorters framtida produkter.

Eftersom mallen är uppdelad i olika steg för att undersöka de olika stegen i livscykeln så kan dessa olika steg isoleras varpå utsläppen från de olika stegen behandlas separat. Detta underlättar identifiering av problemområden

Resultat

Tillverkning hos underleverantörer

Råmaterialen för statorinjektorn kostar sammanlagt 1054,5 g koldioxid att framställa och sedan tillverka till rätt form. De värden som använts för att beräkna detta är en sammanställning av information från Granta Edupack, produktens IMDS information samt uppmätningar av spill och obearbetade arbetsstycken. I detta värde har det gjorts vissa antaganden om vilka tillverkningsprocesser som används i underleverantörernas produktion då direkt undersökning av underleverantörernas produktion är utanför systemgränsen. En majoritet av de komponenter som köps in från underleverantörer är standardkomponenter vars tillverkningsprocess troligtvis är densamma som industristandarden för den komponenten.

Den främsta komponenten som orsakar utsläpp i detta steg är stålhylsan, eftersom den behöver relativt mycket material under tillverkning.

Intern bearbetning

Under tillverkningsprocessen så används också en viss andel förbrukningsvaror för att omvandla komponenter till färdig produkt. Dessa förbrukningsprodukter behövs för att gå igenom vissa tillverkningssteg eller att behandla biprodukter från produktionstegen. Dessa produkter motsvarar 49 g koldioxid per enhet totalt.

Av de undersökta konsumtionsvarorna så har filterdukar behandlats som en engångsvara då de fylls upp av materialet de ska filtrera ut, därmed antas det att duken förbränns då den inte längre kan användas samt är en blandning av material som gör det svårt att återvinna.

Detta steg av livscykeln består även av att omhänderta förpackningsmaterial som inkommande komponenter anländer i och förpackningsmaterial för utgående färdig produkt. Inkommande förpackningsmaterial av plast kommer återanvändas ett antal gånger och sedan återvinns medan kartongerna används en gång och sedan återvinns. Utgående plast används endast en gång och antas sedan återvinnas. Detta steg inkluderar även olika oljor som används vid tillverkningsprocesser och dessa gör sitt bästa att fånga upp spill och filtrera men små mängder förluster är oundvikliga. I detta fall räknas bara på förlusten.

Elförbrukningen för hela anläggningen var given av företaget som 2 881 984 kWh för hela anläggningen under år 2021. Denna el levererades av Vattenfall fossilfri mix, som Vattenfall själva påstår är ca 4 g koldioxid och 0,0013 g kärnbränsle per kWh enligt (Vattenfall, 2023)

Tillverkningen av undersökt produkt uppskattas av SEM att konsumera en tredjedel av den totala elförbrukningen.

$$2\,881\,984 / 3 = 960\,661,333... \text{ kWh}$$

$$960\,661,333 * 0,004 = 3842,645333.... \text{ kg CO}_2$$

Med 1 miljon enheter producerade per år leder detta till

$$3842,645333 / 1\,000\,000 = 0,003842... \text{ kg CO}_2 \text{ per tillverkad enhet.}$$

$$960\,661,333 * 0,0013 = 1248,859 \text{ g av kärnbränsle per år.}$$

Med en miljon enheter producerade årligen leder detta till 1,249 milligram kärnbränsle per producerad enhet.

Då den givna konsumtionen av elektricitet endast är en uppskattning så kommer det verkliga resultatet avvika från detta värde, men utsläpp från elektricitetsförbrukning utgör fortfarande en mycket liten del av det totala utsläppet. På grund av detta skulle även en mycket stor felmarginal i detta område ha liten påverkan på totala resultatet.

Transportberäkningar

Enligt (Ashby, Shercliff, & Cebon, 2019) så orsakar ett ton last som fraktas ett avstånd av en kilometer följande utsläpp i koldioxid: lastbil 120 g, fartyg 14 g och långdistansflyg 540 g.

De komponenter som transporträkningar har utförts på är stålhylsan som produceras av 2 olika företag i Småland och Spanien samt järnkärnan som produceras i USA och en färdig statorinjektor som skickas till kunder i Södertälje och Mexiko.

1536 hylsor till XPI på en pall från Småland. 300 kg via lastbil. Källan ger 120 g CO₂e per ton per kilometer. Småland -> Åmål = 397 km och står för 33% av produktionen.

$0.3 * 397 * 120 = 14\,292$ g koldioxid, dela på 1536 ger = 9,3 g koldioxid per tom hylsa transporterad till Åmål.

Spanien -> Åmål = 2900 km och står för 67% av produktionen.

Spanien låda 3600 styck på 420 kg

$2900 * 0,420 * 120 = 146\,160$ g koldioxid, dela på 3600 ger 40,6 g koldioxid per hylsa transporterad till Åmål.

Järnkärna transport USA -> Åmål = 1500 km lastbil, 6500 km båt, 178 km lastbil

10 000 enheter per låda på 210 kg.

$0,210 (1500*120 + 6500*14+178*120) = 61\,395,6$ g koldioxid för frakt av 1 ton. Dela på 10 000 ger 6,13956 g koldioxid per kärna transporterad till Åmål.

Uttransport av färdig produkt ger

Färdig XPI. 2304 styck på en pall och 450 kg. Skickas till 343 km till Södertälje med lastbil och utgör 33% av produkterna.

$0.45 * 343 * 120 = 18\,522$ g koldioxid, dela på 2304 ger = 8.04 g koldioxid per XPI transporterad till Södertälje.

Transport till Mexiko-fabriken ger 178 km lastbil. Båt från Göteborg till Texas = 5440 nautical miles = 10 074 km. Källa ger transport via som båt 14 g CO₂ per km ton. Detta utgör 67% av transporterarna.

Houston Texas till El Paso = 1199 km

$178+1199 = 1377$ km lastbil

$1377 * 120 + 10\,074 * 14 = 306\,276$ g koldioxid för att frakta 1 ton till El Paso.

$306\,276 * 0.45 = 137\,824,2$ g koldioxid för att frakta 1 låda. Dela på 2304 ger 59,82 g koldioxid per statorinjektor transporterad till Mexiko.

Totala transportutsläpp per enhet ges av att ta utsläppen per enhet transporterad och dividera per hur stor andel den utgör av totalen och sen addera summorna.

Småland -> Åmål är $9,3 \text{ g} \cdot 0,33 = 3,069 \text{ g CO}_2$

Spanien -> Åmål är $40,6 \text{ g} \cdot 0,67 = 27,202 \text{ g CO}_2$

30,271 g koldioxid per hylsa transporterad in.

Addera järnkärna ger då $30,271 + 6,139 = 36,41 \text{ g CO}_2$ genomsnitt för alla större råmaterial-transporter.

Uttransport ger då

$8,04 \text{ g} \cdot 0,33 = 2,653 \text{ g CO}_2$ för transporter till Södertälje.

$59,82 \text{ g} \cdot 0,67 = 40,079 \text{ g CO}_2$ för transporter till Mexiko.

$2,653 + 40,079 = 42,732 \text{ g CO}_2$ genomsnitt för uttransport av en färdig produkt.

I dessa transportberäkningar har endast de största och tyngsta komponenterna räknats in. Produkten består även av ett flertal andra delar med liten massa men transport för dessa har inte beräknats då de utgör en mycket liten andel av produktens massa. Detta är viktigt att notera att på grund av denna låga andel extra material så är den verkliga siffran från transport större än beräknad. Men då endast dessa 2 komponenter utger precis under 95% av produktens massa anses detta som en acceptabel förenkling. De sista 5% av massan består av små lätta komponenter från ett flertal blandade leverantörer vilka ligger inom ett avstånd på ca 1200 km, dessa är försumbara då en överslagsräkning visade att dess utsläpp motsvarar mindre än 1% av alla transporter.

Förpackningsmaterial

SEM har ett system med återanvändbara tråg för leverans av hylsor från leverantörer. Dessa går i retur till leverantören och återanvänds till dess att de blir skadade. Det uppskattades att dessa håller ca 20 användningar, vilket leder till ett utsläpp på ca $2,73 \text{ g CO}_2$ ekvivalenter (CO_2e) per enhet inklusive transport i retur.

Om man jämför med förpackningsmaterialet för utleverans, vilket inte har ett system för återanvändning leder trågen till utsläpp på ca $24,96 \text{ g CO}_2\text{e}$ per enhet antaget att de återvinns på en snittnivå av marknaden så kan man se en förbättringspotential.

Vid utleverans packas trågen i förpackningar av wellpapp vilka leder till utsläpp motsvarande $16,63 \text{ g CO}_2\text{e}$ per enhet.

För att undvika korrosion behandlas statorn med en oljefilm, i brist på bättre data för denna så använder denna rapport värden för en syntetisk olja, men vid uträkning per enhet så blir utsläppen på skalan mindre än tusendels gram, vilket är varför det bedöms som försumbart.

Produktens påverkan under användning

Produkten är monterad inuti en lastbilsmotor och förväntas hålla hela motorns livslängd. En liten andel av dessa förväntas gå sönder under vanligt bruk och ersättas av reservdelar. Då produkten

är designad att vara hela motorns livslängd så antas denna mängd av produkter producerade som går till reservdelar vara försumbar i jämförelse med den totala produktionen.

Logiken till detta är att om en produkt går sönder under bruk och behövs bytas ut så kommer den söndriga produkten ha producerat mindre utsläpp än en produkt som höll hela motorns liv. Men detta måste samtidigt kompenseras för, med att en extra produkt behövs för att ersätta den söndriga. När en sådan reparation sker så ger det ett utbyte där en produkts utsläpp från bruk fördelats över 2 produkter men till kostnad av att en extra produkt används. Detta utbyte har i studien bortsetts ifrån då det verkliga utsläppet från förbränningsmotorn förblir detsamma och att justera data skulle ej vara representativt för det verkliga förhållanden som produkten skapar.

Då koldioxidutsläpp från förbränning utgör en stor majoritet av det totala utsläppet kommer slutresultatet påverkas mycket av alla uppskattningar och felmarginaler kring det området. Exempelvis så påverkas resultat mycket stort om den uppskattade livslängden av produkten ändras då en längre livslängd betyder att produkten används mycket mer.

Livslängden för produkten har satts till 500 000 km då det är värdet som används av Scania för livscykelanalys av hela deras fordon (Scania, 2023). Detta är den siffra som har mest påverkan på det totala koldioxidutsläppet från produktens liv. Samma rapport påstår också att fordonet i undersökningen släpper ut 354,3 ton koldioxid i endast förbränning från motorn under dessa 500 000 km. Detta ger $354\,300\text{ kg} / 500\,000\text{ km} = 0,7086\text{ kg koldioxid per km}$. Då motorn testad i den rapporten är en 5-cylindrig motor så används 5 XPI vilket leder till att varje enskild XPI ansvarar för $354\,300\text{ kg} / 5 = 70\,860\text{ kg CO}_2$. Viktigt att notera här är att källan har även räknat om andra biprodukter såsom kväveoxider och har konverterat dessa till koldioxidekvivalenter, av den anledningen så följs detta antagande även i denna rapport.

Då livslängden är den faktor som påverkar totala utsläppet mest bör även andra fall i livslängd undersökas. Då livslängd kan variera stort i ett fordon används exempelsiffran 1 000 000 km från (MUNIR, 2023). I det fallet kan utsläppet enkelt dubblas från 70 860 kg CO₂ till 141 360 kg CO₂. Detta är effektivt en dubbling av det totala utsläppet då användningen redan utgör en stor majoritet av produktens utsläpp. I denna rapport har siffran 500 000 km använts då den är från en primärkälla och undersöker ett specifikt fordon som använder den undersökta stator-injektorn.

Skrotande av produkten

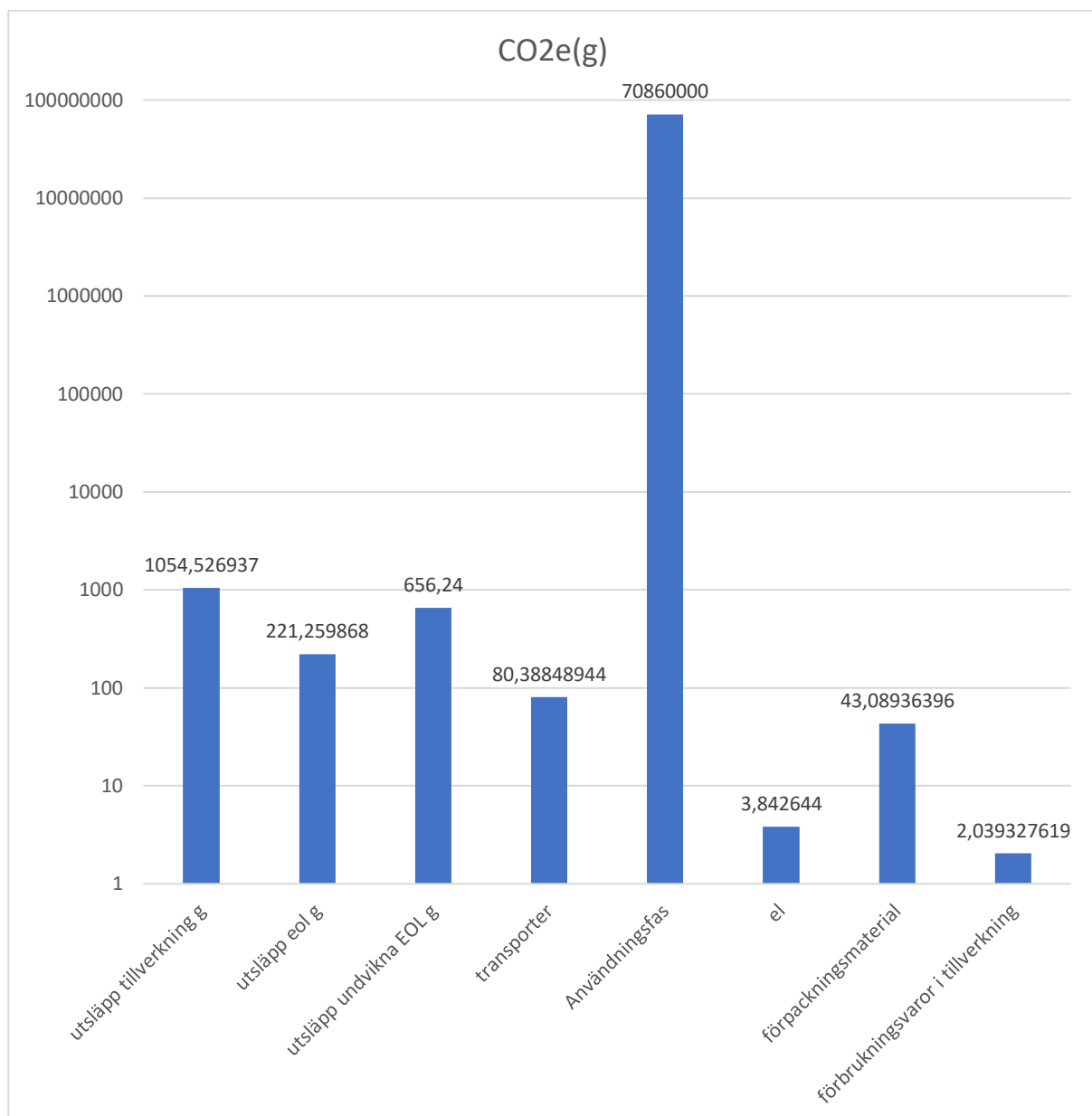
Vid slutet av produktens liv så har det antagits att produkten smälts ner för metall och att plast/epoxi förbränns utan energiåtervinning. Detta resulterar i utsläpp på 221,26 g koldioxid per enhet och detta returnerar material som vid nyproduktion skulle orsaka 661,55 g koldioxid. Det returnerade materialet kan användas för att tillverka andra produkter i framtiden varför vi väljer att dra bort det från produktens totala miljöpåverkan i enlighet med (Klopffer & Grahl, 2014).

Tolkning av beräkningar

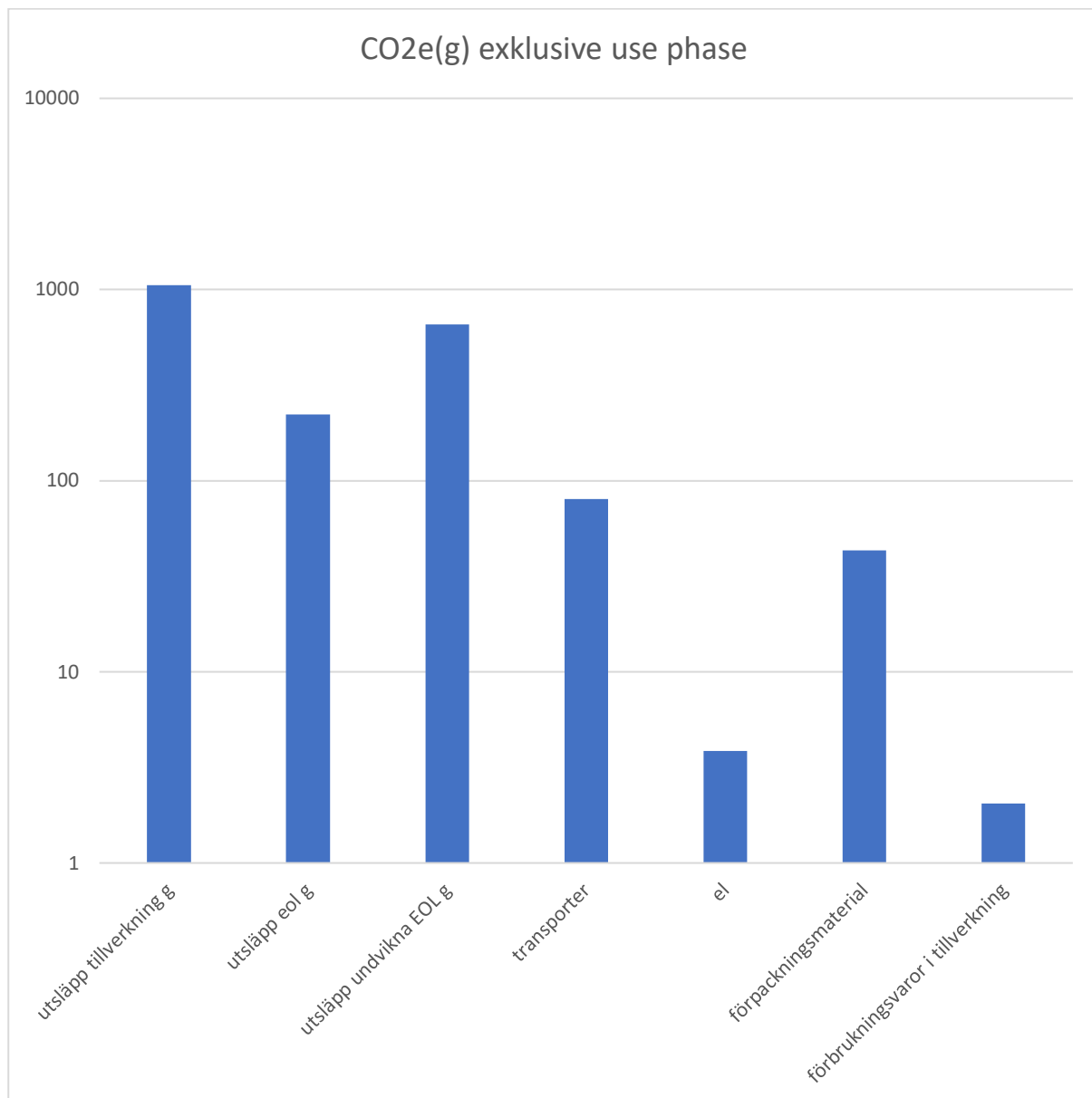
Siffran från användningen är mycket större än alla andra delar av produktens liv sammanlagt, vilket syns tydligt i figur 1, men bör behandlas med försiktighet då det inte alltid är representativt att applicera hela fordonets användningsutsläpp på endast en av alla de tusentals olika komponenter som gör användningen möjlig. Det har gjorts i denna rapport då endast en enskild produkt utvärderas och andra tillhörande komponenter tillverkade av andra företag anses vara utanför systemgränsen. Eftersom denna del utgör så stor andel av produktens livstidsutsläpp så kommer små ändringar i instoppade värden ge stora ändringar i slutgiltigt resultat. Detta betyder att en mycket liten förbättring i bränsleeffektivitet eller förbränningsrenhet kommer ge mycket större resultat i verkligheten i jämförelse med en liknande förbättring i alla andra steg av produktens livscykel. Därmed borde detta område prioriteras och förbättringar i detta område är värda att göra även på bekostnad av andra områden.

Som ett exempel är bränslesystemet som stator-injektorn inkluderas inuti upp till 5% mer effektiv än konkurrerande produkter enligt (Cummins Inc, u.d.). I det fallet skulle en konkurrerande produkt under samma omständigheter släppa ut $70\,680 / 0.95 = 74\,400$ kg koldioxid under sin "use cycle" istället vilket är en ökning på 3720 kg koldioxid. Denna siffra bör dock behandlas med försiktighet då det inte alltid är lämpligt att dra slutsatser från denna sorts jämförelser. Denna siffra bör inte heller betraktas som en direkt besparing utan endast som ett räkneexempel.

Eftersom produkten förväntas hålla lika länge som resten av motorn den är placerad i, så antas det att den används fram tills att fordonet inte längre är kommersiellt gångbart, varpå det antas att fordonet antingen skrotas för metall eller lämnas i deponi. Det är inte sannolikt att en motor eller individuell produkt tas ut ur denna process för att bearbetas separat eller undergår separat demontering, men sett till utsläpp är besparingen av att slippa utvinna nytt material värt det jämfört med utsläppen av förbränning som syns i figur 2.



Figur 1: Utsläpp i användningsfasen, jämfört med utsläpp resten av livscykeln, notera logaritmisk skala



Figur 2: Utsläpp under produktens livscykel, uppdelat i kategorier baserat på när och var utsläpp sker, notera logaritmisk skala

Svårigheter i omfattande analys

2500 stycken enheter per år förväntas produceras som reservdelar efter att statorinjektorn officiellt går ur produktion, men det är inte känt i nuläget exakt hur detta kommer påverka utsläppen från livscykeln. Vid dessa lägre antal producerade produkter så antas det att tillverkningen inte kommer ske med lika stor automation då vissa tillverkningsmaskiner kan blivit använda för andra syften eller tagits ur produktion. Dessutom så är antalet förväntade enheter som skall produceras på detta sätt mycket färre i antal än de som kommer produceras under vanlig produktion. Utsläppen per enhet för dessa senare enheter är svårare att förutspå då detaljer kring tillverkningen är sannolika att ändras och kombinerat med det mycket färre producerade antalet gör att dessa bortses från i denna rapport.

Produkten är också konstruerad på ett specifikt sätt för att motstå de påfrestningar som skapas under användning, men denna metod gör produkten svårare att demontera, kombinerat med att några material inte är lämpliga för någon slags återvinning. Dessutom är produkten en del av ett mycket större motorfordon med många andra delar som är viktigare att omhänderta. Med dessa begränsningar är det ej rimligt att separera produkten helt från sitt motorfordon och omhändertas

separat del för del. De enda rimliga antagandena är att produkten ej behandlas separat utan att hela den större motorn som produkten finns inuti antingen smälts ner för metallåtervinning eller återanvänds som en reservdel.

När fordonet som en helhet smälts ner för metallåtervinning så har det antagits att inget annat material såsom plaster kan extraheras och förbrännas separat för att återhämta energi utan de antas förbrännas utan energiåterhämtning. I fallet av nersmältning så kommer endast de metalliska komponenterna kunna tas tillvara på grund av att de temperaturer som krävs för att smälta ner och separera metaller kommer att förbränna alla andra material som produkten består av.

En viss andel av motorer kommer att kunna återanvändas från fordon som har nått "end of life", men denna andel är inte någon som finns goda data för. Dessutom är detta egentligen inte ett "end of life scenario" utan snarare endast förlänger livslängden på produkten. Detta betyder även att det finns en möjlighet att en produkt kan ha blivit återanvänd många gånger mellan olika fordon som reservdel men detta anses osannolikt nog att vara försumbart.

Analys av utsläpp behandlas endast ytligt då den främsta enheten som undersökts är koldioxidutsläpp vars totala miljöpåverkan är bättre analyserad i litteratur dedikerad till det ämnet. Kärnbränslet som uppstår från elproduktion har endast publicerats ett antal milligram och ingen mer detaljerad information om nivå av radioaktivitet eller disponeringssätt finns. Detta leder till att det inte finns någon offentlig information att basera en analys på om detta utsläpp, kombinerat med att detta är något skapat av elleverantören och inte något som kan direkt påverkas av SEM utöver att byta elavtal.

Till sist är det inte definitivt känt hur produkten kommer behandlas vid "end of life". Detta leder till osäkerhet i hur stor andel som antas återanvändas, nersmältas eller deponeras. Deponering är dessutom inte omfattande utrett i sin miljöpåverkan då en stor andel av produkten består av stål och järn som ej bryts ner i naturen. Även plastkomponenterna kommer ta mycket lång tid att brytas ner av naturen då de är av en hårdare plast designad för att klara påfrestningar från en förbränningsmotor och kommer vara relativt isolerade från omringande miljö p.g.a. motorn och fordonet de är placerade inuti.

Enligt (MUNIR, 2023) så demonteras 72% av tyngre fordon i EU. En andel av delar på ett demonterat fordon kan återanvändas som reservdelar men ingen pålitlig information finns om detta för exakt den komponent som denna studie undersöker. Anledningen till att ingen information samlas är att "end of life" stadiet för tyngre fordon utgör en mycket liten del av det totala utsläppet tillsammans med att det redan finns en demonteringsindustri som hanterar fordonen.

Samtidigt så, enligt (Al-Nuami & Widegren, 2020), brukar injektorer utanför sitt 1år-garantifönster skrotas och återvinnas och därmed inte återanvändas.

Därmed kan det antas att injektorer som nått sitt "end of life" även är utanför 1års-garantifönstret då de förväntas hålla hela fordonets liv. De komponenter som går igenom denna process och som fortfarande är i garantifönstret förväntas repareras och skickas vidare till slutmontering i motor eller säljas som reservdel och därmed leva ett helt fordonsliv.

Vid fallet av nedsmältning så antas det att produkten smälts ner i smältugn för metaller och därmed utvinns ej energi från nersmälta plastdelar och epoxi men deras koldioxidutsläpp från förbränning och metallnersmältning kommer fortfarande ske. Denna summa är beräknad till 221,26 g koldioxidutsläpp per funktionell enhet.

Vid fallet av nersmältning så kommer metallen kunna användas igen för valfri applikation för icke-återvunnet material. Miljökostnaden för motsvarande nytt material utan något återvunnet innehåll motsvarar 600 g koldioxid för stålet/järnet. För att framställa den mängden koppar motsvarar 5,3 g koldioxid för nytt material. Beroende på nersmältning och separeringsprocess är det inte garanterat

att kopparen separeras ut, utan den kommer gå vidare som en förorening i stålet. Om denna separering av koppar och stål ej sker så är dock kopparhalten hög nog att påverka stålets egenskaper vilket kommer begränsa vilka användningsområden detta återvunna stål kan användas till.

Oavsett så är miljökostnaden av nersmältning och återvinning fortfarande mindre än miljökostnaden för framställning av nytt material och eftersom det är främst stål kan det teoretiskt sett återvinnas för nya produkter på ett ekonomiskt sätt.

Till sist finns möjligheten att produkten ej bearbetas alls vid slutet av livet utan istället lämnas i deponi. I det fallet kan de metalliska komponenterna räknas som järnskrot motsvarande 133 g och 10 g övriga. Miljöpåverkan från att dessa material lämnas i deponi är svåra att kvantifiera och bör bäst göras i en separat studie inriktad på det ämnet.

Scenariot där produkten lämnas i deponi är dock relativt osannolik då det kan vara ekonomiskt lönsamt, enligt (Al-Nuami & Widegren, 2020), att antingen återvinna eller återanvända en använd produkt så storskalig deponi av produkten är osannolik utan stora yttre faktorer utanför tillverkarens kontroll. Tidigare i denna studie framgår att miljöpåverkan från transporter utgör en liten del av miljöpåverkan relativt till påverkan från andra livsstadier vilket gör att det troligtvis är miljömässigt lönsamt att transportera utslitna produkter till anläggningar som bearbetar produkten.

Det råder en del osäkerhet om exakt behandling av produkten i dess olika livssteg och informationen från materialdatabasen kan avvika från det riktiga värdet. Dessutom är en riktig validering av resultatet ej möjlig att genomföra inom den tidsram och resursram som omfattar projektet. Därför rekommenderas uppdatering av den rådata som är relevant när mallen skall användas för undersökning av andra produkter.

Rekommendationer till ändringar

Baserat på undersökningen bedömer vi att det allra viktigaste är att förbättra förbränningseffektiviteten, då uträkningarna visar att utsläppen när produkten används är 10 000 till 100 000 gånger så stora som resten av utsläppen kopplade till produkten (se figur 1).

En minimal förbättring av utsläppet från användning skulle väga upp väldigt stora ökningar i utsläpp under tillverkningen. Det är dock viktigt att minnas att utsläpp från förbränning är beroende på fler komponenter och faktorer än den undersökta statorinjektorn.

Rekommenderade förbättringar utöver ovanstående skulle vara att minimera utsläpp i produktion. Baserat på undersökningen skulle det vara en bra idé att se över möjligheten till återanvändbara förpackningar för leverans till kund då detta är en enkel ändring med stor möjlighet till besparing. Ett räkneexempel inom studien gjordes där det antogs att mängden kartong halverades per leverans utan att återanvändas, och trågvikten fyrdubblades i massa för att uppskatta vikten av att göra en återanvändbar innerkonstruktion av plast, som sedan fraktas i retur från kunden med samma färdssätt. I detta fall uppstod en ökning av drygt 5,5 g CO₂e för transporten på grund av ökad vikt och returfrakt, men efter 4 återanvändningar är de genomsnittliga utsläppen för förpackningarna drygt 4 g lägre per enhet än den existerande lösningen, och fortsätter att bli bättre för varje användning.

En ytterligare metod som kan undersökas är möjligheten att ändra leveranssätt för komponenter som färdas långa sträckor. Utan att ta hänsyn till andra faktorer som kan göra det olämpligt så undersöktes en alternativ transport av hylsorna från Spanien där en optimal rutt med båt skulle kunna innebära en minskning med ca 35 g CO₂e per hylsa jämfört med lastbilstransport, dvs en minskning till ca en femtedel av nuvarande transport.

Att införa dessa förändringar bör dock inte beslutas om förhastat, då felaktiga beslut kan kräva nödlösningar som i många fall har betydligt mer påverkan, så som att flyga delar till USA vilket innebär en ökning med över 1500% i transportutsläpp för den sträckan.

Slutsats

Verktyget har använts för att undersöka statorinjektorn och har producerat resultat enligt följande:

För råmaterialen i statorinjektorn utgörs den största andelen miljöpåverkan av stålhylsan, näst största andel utgörs av järnkärnan, tredje största är hårdplastdetaljer och fjärde största är koppar. Resterande material utgör en mindre andel med totalt ca 5,9 % av tillverkningens utsläpp och har behandlats endast ytligt i denna rapport.

Transport av material till SEM och transport av material från SEM till fordonsmontering utgör en relativt liten del av det totala utsläppet. Eftersom vissa transporter såsom råmaterial till underleverantör och transporter av smådelar till SEM har bortsetts från är detta resultat lägre än den verkliga siffran. Resultatet av transportsiffror är också känsliga för vilka siffror som används i beräkning av utsläpp per ton-kilometer.

Förbränning av bränsle under produktens användningsliv utgör en mycket stor majoritet av det totala utsläppet från produkten, speciellt i termen av koldioxidutsläpp. Detta bör dock behandlas med försiktighet då det inte alltid är helt representativt att applicera hela påverkan av en motors förbränning på en enskild komponent i motorn. Dessutom så har transportindustri ett behov att kunna transportera varor och detta kommer försöka uppnås även om den undersökta komponenten försvinner. Detta resultat varierar också stort beroende på vilka antaganden man gör i termen av livslängd då en produkt med längre livslängd kommer ha förbränt mycket mer bränsle. Samtidigt så måste det poängteras att den totala påverkan i verkligheten kommer domineras av användningsfasen och även extremt små förbättringar här kommer totalt överskugga förbättringar i andra delar av livscykeln.

Området med störst osäkerhet i resultatet är hur produkten behandlas vid "end of life". Mest sannolikt är att produkten antingen återanvänds som en del av en hel motor eller smälts ner som stålskrot. Denna återanvändning eller nersmältning är sannolikt både ekonomiskt och miljömässigt lönsam jämfört med att använda helt nytt material.

Resultaten från exempelanalysen (se figur 1) visar att en kategori av utsläpp utgör en dominant andel av de totala utsläppen och därför är det viktigt att dela upp utsläppen i olika kategorier för att identifiera problemområden. Mallen har även visats vara anpassningsbar till de olika faktorer som behandlats under exempelanalysen och kan utökas för faktorer gällande andra produkter. Ett problem som uppstod under utveckling av mallen var att vissa data dubbelräknades och hade därför större påverkan än vad som var rimligt. Problemet med dubbelräkning har åtgärdats i exempelanalysen men detta visar att ändringar av existerande kategorier och tillägg av nya kategorier i mallen måste behandlas med försiktighet.

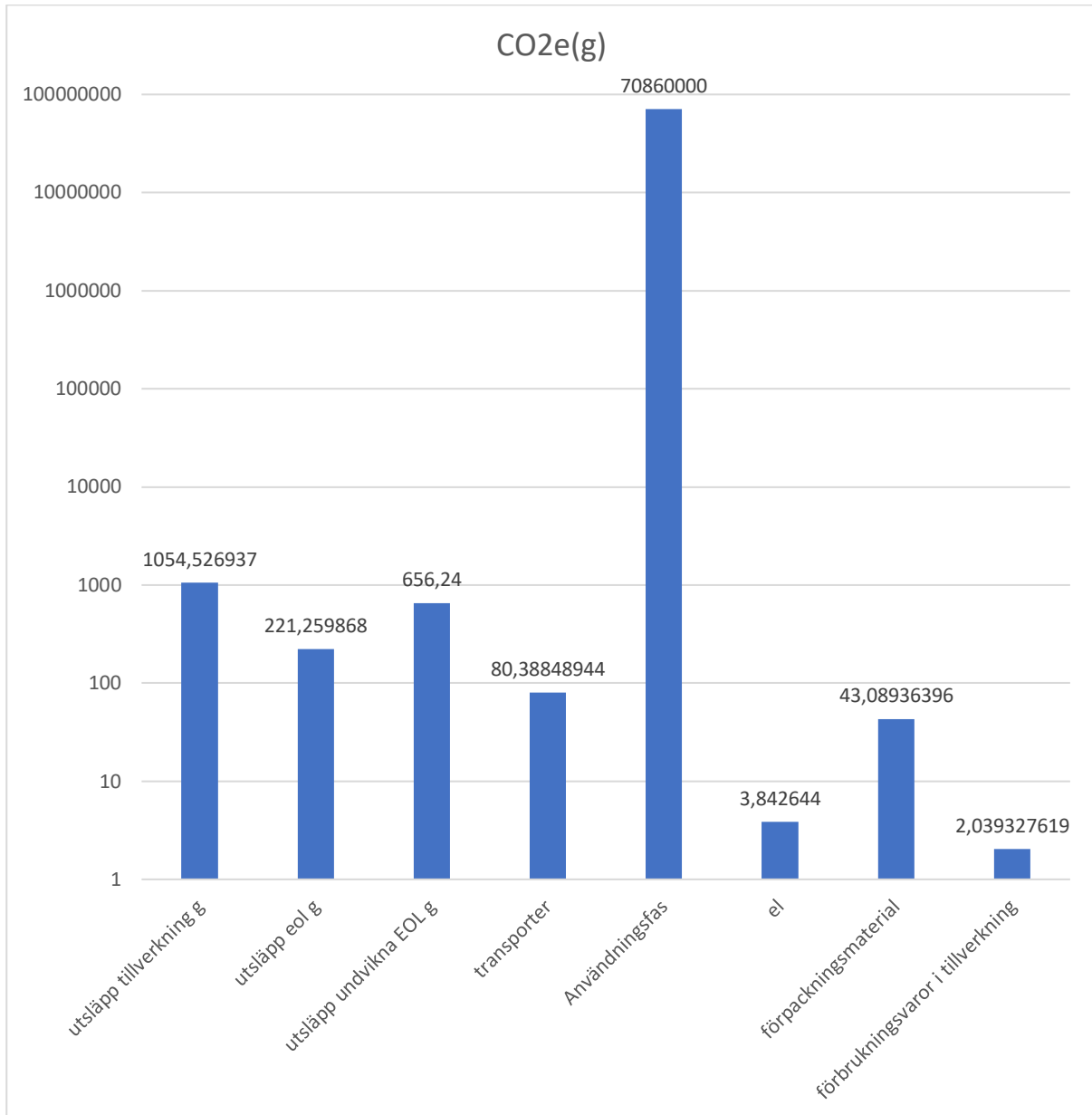
Utmaningarna med att göra utförliga livcykelundersökningar har blivit tydliga under utvecklingen av verktyget men verktyget ger möjligheten att på ett praktiskt sätt undersöka miljöpåverkan för produkten. Verktygets struktur gör det även enkelt att jämföra olika versioner av en produkt så att informationen från verktyget kan användas för att ta beslut om hur produkten skall byggas. Men som alla teoretiska verktyg finns begränsningen att resultaten är beroende på hur bra indata stämmer med verkligheten och de antaganden som görs under verktygets användning.

Vi tror att denna mall lätt går att använda för mindre system likt de vi identifierade hos SEM, men för större system eller kommunikation med allmänheten är mallen inte avsedd att användas då detta kräver mer försiktighet än vad som verktyget kan ge i nuläget.

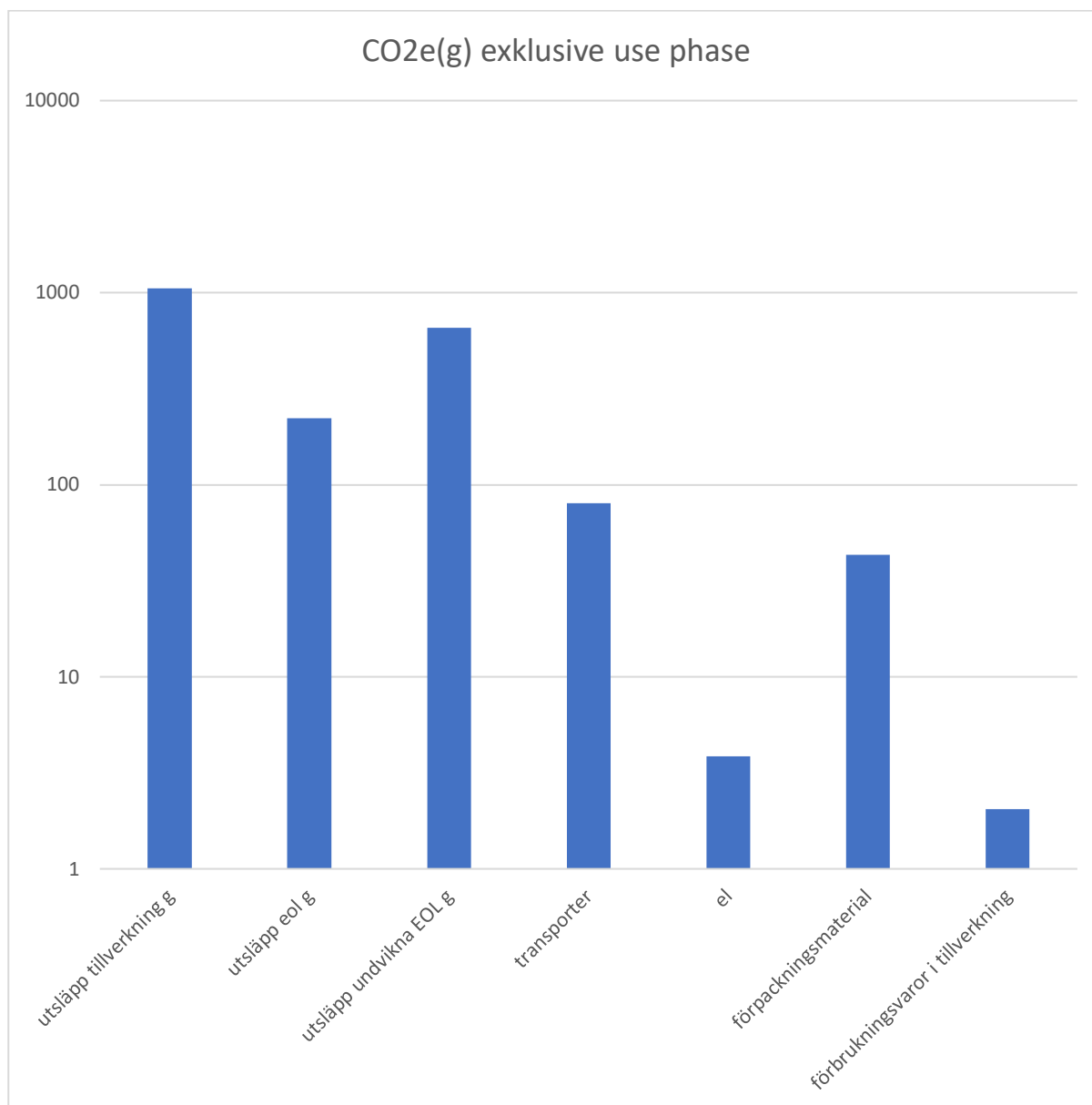
Då validering av resultaten är utanför studiens tidsram och skulle kräva data som inte är känd så kan inga direkta slutsatser dras om siffrorna i resultatet är korrekta men resultaten är en direkt följd av uppskattade data. Om verktyget är användbart för framtida produktutveckling kan endast bedömas när de försöken väl görs i produktutvecklingssteget för framtida produkter. Mallen har dock tydligt identifierat ett problemområde som bör undersökas för bättringsmöjligheter i det givna exemplet av en statorinjektor.

I bedömning så dras slutsatsen att osäkerheten i resultatet är mer p.g.a. osäkerheten i indata och den verkliga behandlingen av produkten än några brister i mallen.

Figurer och tabeller



Figur 1: Utsläpp i användningsfasen, jämfört med utsläpp resten av livscykeln, notera log skala



Figur 2: Utsläpp under produktens livscykel, uppdelat i kategorier baserat på när och var utsläpp sker, notera logaritmisk skala

Litteraturförteckning

- Al-Nuami, M., & Widegren, L. (den 20 Januari 2020). *Component remanufacturing for improved lifecycle utilization*. Hämtat från Diva: <https://mdh.diva-portal.org/smash/get/diva2:1510631/FULLTEXT01.pdf>
- Ashby, M., Shercliff, H., & Cebon, D. (2019). *Materials: Engineering, Science, Processing and Design* (Fourth Edition ed.). Oxford, united kingdom: Butterworth-Heinemann.
- Ashby, S. &. (2019). Ansys Granta EduPack software. ANSYS, 2022. ANSYS, Inc. Hämtat från www.ansys.com/materials
- Cummins Inc. (u.d.). Hämtat från <https://www.cummins.com/components/electronics-fuel-systems/fuel-systems/common-rail-systems>
- Finnveden, G. H. (2009). Recent developments in Life Cycle Assessment. . Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D., & Suh, *SJournal of Environmental Management*, 1-21. doi:10.1016/j.jenvman.2009.06.018
- Klöpffer, W., & Grahl, B. (2014). *Life cycle assessment(lca): A guide to best practice*. John Wiley & Sons, Incorporated.
- MUNIR, A. Y. (den 20 Januari 2023). *End-of-Life of Heavy Duty Vehicles*. Hämtat från Diva: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1610541/FULLTEXT01.pdf>
- R., Le Borgne, & P., Feillard. (1999). *Specific Allocation Rules for Automotive LCAs*. 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, United States: SAE International, 1999. doi:10.4271/1999-01-0010
- Scania. (den 20 Januari 2023). *Scania*. Hämtat från <https://www.scania.com/content/dam/group/press-and-media/press-releases/documents/Scania-Life-cycle-assessment-of-distribution-vehicles.pdf>
- SEM. (den 20 Januari 2023). *Electro-Magnet Applications*. Hämtat från SEM: <https://www.sem.se/en/products/other-products/>
- Vattenfall. (den 20 januari 2023). *Elens ursprung*. Hämtat från Vattenfall: <https://www.vattenfall.se/elavtal/energikallor/elens-ursprung/>



CHALMERS