



CHALMERS



Livscykelanalys av komponent tillhörande flygmotorn RM12

Identifiering av produktsystemets hotspots genom en förenklad livscykelanalys

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Design och Produktutveckling

Emilia Larsson

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

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

Livscykelanalys av komponent tillhörande flygmotorn RM12

Identifiering av produktsystemets hotspots genom en förenklad livscykelanalys

Emilia Larsson



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Institutionen för industri- och materialvetenskap

Chalmers Tekniska Högskola

Göteborg, Sverige 2023

Förord

Följande rapport är ett examensarbete vid Chalmers Tekniska Högskola inom programmet design och produktutveckling. Arbetet motsvarar 15 HP och har genomförts under våren 2023 på uppdrag av företaget GKN Aerospace AB.

Arbetet har främst bedrivits på företagets huvudkontor i Trollhättan, vilket har varit passande då den komponent som undersökt tillverkas på samma plats. Studien som utförts är en livscykelanalys som har krävt stor kontakt med företaget för att få tag i så relevant data som möjligt. Detta har medfört att jag har behövt ha kontakt med många olika anställda som har besittit på stor kunskap inom sina arbetsområden. Jag vill tacka alla dessa välvilliga människor som har hjälpt mig med insamling av nödvändig data. Utan er vore detta arbetet inte möjligt.

Jag vill rikta ett särskilt tack till mina handledare på GKN Johanna Nylander och Pauline Léonard, som funnits tillgängliga under hela arbetet och bistått med deras breda kompetens inom hållbarhet och livscykelanalyser. Det har varit ett nöje att få utföra detta examensarbete hos er. Jag vill även tacka min handledare vid Chalmers Peter Hammersberg som har funnits där vid behov av extra vägledning.

Sammanfattning

Följande rapport redovisar resultatet av en livscykelanalys ur ett ”vagga till grind” perspektiv för en komponent av flygmotorn RM12 på uppdrag av GKN Aerospace AB. Studien är ett examensarbete vid Chalmers Tekniska Högskola inom programmet design och produktutveckling som motsvarar 15 HP. Vid genomförandet av livscykelanalysen har den process som satts upp i ISO-standarden 14040 efterföljts.

Det första steget i standarden är definition av mål och omfattning där den funktionella enheten ”spole 1 & 2” har bestämts. Vidare har målet och syftet med arbetet beskrivits och de systemgränser som studien bör hålla sig inom. En del avgränsningar har gjorts på grund av tidsspannet för arbetet men även vid brist på tillräcklig data. Inventeringsanalysen är det nästkommande steget där nödvändig in- och output samlas in för de olika processerna. Denna data har sedan använts i miljöpåverkanbedömningen som är det tredje steget. Vid genomförandet användes programvaran Gabi som tagits fram för att utföra beräkningar av livscykelanalyser. Resultatet tolkades sedan i det fjärde och sista steget.

Det visade sig att materialframställningen stod för absolut högst miljöpåverkan sett ur GWP. Därefter kom flygtransporten av smidet mellan USA och Sverige. Tredje störst var konverteringen och värmebehandlingen som sker vid produktionen i USA. Då materialframställningen stod för högst påverkan togs tre direktiv fram, för att potentiellt kunna minska dessa värden. Vid närmare analys av GKN:s egen produktion stod argonförbrukningen vid plasmasputningen för överlägset störst påverkan. Resultatet visar även att klimatpåverkan inte alltid behöver korrelera med energiåtgång, då GKN hade större elförbrukning än deras leverantörer, men ändå hade lägre GWP. Detta visar på vikten av vilken energikälla som används.

Nyckelord: Livscykelanalys, Hållbarhet, RM12, LCA, GKN, Hotspots

Abstract

The following report presents the results of a life cycle assessment from a “cradle to gate” perspective for a component of the RM12 aircraft engine commissioned by GKN aerospace AB. The study is a thesis project at Chalmers University of Technology within the design and product development program and corresponds to 15HP. The life cycle assessment has followed the process described in the ISO-standard 14040.

The first step in the standard is definition of goals and scope, where the functional unit “spole 1 & 2” has been defined. Then the goal and purpose of the work has been described and the boundaries of the system that the study should stay within. Some delimitations have been made due to the lack of time for the work but also due to insufficient data. The inventory analysis is the next step where necessary inputs and outputs are collected from the processes. This data has then been used in the environmental impact assessment, which is the third step. For this, the Gabi software was used, which was developed to calculate life cycle assessments. The result was then interpreted in the fourth and final stage.

This showed that material production accounted for the absolute highest environmental impact in terms of GWP. Second came the air transport of the forge between the USA and Sweden. Third largest was the conversion and heat treatment produced in the USA. Since the material production accounted for the highest impact, three directives were drawn up, in order to potentially reduce these numbers. In a closer analysis of GKN’s own production, the argon consumption during the plasma spraying had by far the biggest impact. The result also shows that climate impact not always have to correlate with energy consumption, as GKN had bigger electricity consumption than their suppliers, but still had lower GWP. This shows the importance of which energy source is used. The report is written in Swedish.

Innehåll

1.	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	GKN aerospace.....	2
1.3	Syfte.....	3
1.4	Mål.....	3
1.5	Avgränsningar	3
2.	Teori	4
2.1	Livscykelanalys	4
2.2	För- och nackdelar med LCA	5
2.3	Programvara.....	6
3.	Omfattning	6
3.1	Produktsystemet.....	6
3.1.1	Numerisk styrd svarvning	7
3.1.2	Dragdriftning	8
3.1.3	Manuell gradning	8
3.1.4	Betning	9
3.1.5	Blästring	10
3.1.6	Plasmasprutning	11
3.1.7	Eletsning.....	11
3.1.8	Övriga processer.....	12
3.2	Spole 1 och 2	13
3.3	Funktionell enhet (FU)	13
3.4	Systemgränser.....	14
3.5	Datakvalitetskrav	15
3.6	Antaganden.....	16
4.	Inventeringsanalys.....	16
4.1	Beräkningar	16
4.1.1	Framställning av material Ti17 legering	16
4.1.2	Värmebehandling	17
4.1.3	Konvertering.....	18
4.1.4	Grovsvarvning.....	18
4.1.5	Numerisk styrd svarvning	18
4.1.6	Dragdriftning.....	19

4.1.7	Manuell Gradning	19
4.1.8	Betning	20
4.1.9	Eletsning	20
4.1.10	Plasmasprutning	21
4.1.11	Våtblåstring	21
4.1.12	Transport	21
4.1.13	Återvinning.....	22
4.2	In- och utgående data.....	22
5.	Resultat.....	26
5.1	Miljöpåverkansbedömning	26
5.1.1	GWP (100år)	27
5.1.2	GWP – Produktion vid GKN	31
5.1.3	GWP/h.....	31
5.1.4	PED	32
5.1.5	PED – Produktion vid GKN.....	36
5.2	Analys av kemikalier	37
6.	Diskussion	40
6.1	Potentiella förändringar	40
6.1.1	Byte av argons aggregationstillstånd.....	40
6.1.2	Byte av argon	41
6.1.3	Byte av färdmedel	41
6.1.4	Byte från naturgas till grön elektricitet	42
6.1.5	Grön elektricitet sett ur PED	43
6.1.6	Minska påverkan ifrån materialframställningen.....	43
6.2	Slutsats.....	44
6.3	Fortsatt arbete	46

Beteckningar

LCA	Livscykelanalys
Hotspot	De delar i livscykeln som har relativt hög klimatpåverkan
FU	Functional Unit (Funktionell Enhet)
Klassificering	Olika typer av miljöpåverkan delas in i olika "klassificeringar" som exempelvis växthuseffekt.
Karaktärisering	Beskriver den relativa påverkan för vald klassificering
Dissocierats	Sönderdelats till atomer
Joniserats	Sönderdelats i joner och elektroner
GWP	Global Warming Potential
PED	Primary energy demand
LPT	Low pressure turbine
HPT	High pressure turbine
Rekombinerar	Återgår till gas

1. Inledning

I följande kapitel introduceras arbetet genom en beskrivning av bakgrund och företaget. Detta leder i sin tur fram till en större förståelse för vad syftet och målet med arbetet är, som sedan klargörs med vilka avgränsningar som har utförts.

1.1 Bakgrund

Bristen på hållbarhet är ett växande problem inom flygindustrin, liksom i hela världen. Företaget GKN Aerospace vill därmed utvärdera alla deras produkter utefter ett hållbarhetsperspektiv. Företaget har lång erfarenhet av att utveckla RM12 flygmotorn och ser nu behov av att identifiera dess bristande hållbarhet, för att se till att framtida motorer blir så hållbara som möjligt. Före det pågående kriget i Ukraina ansågs flera försvarsverksamheter som ohållbara, vilket nu har börjat ifrågasättas. Idag anser fler och fler att dessa verksamheter bör ta mer hänsyn till hållbarhet. I och med detta har företaget börjat analysera flera av deras produkter med hjälp av livscykelanalyser, där resultatet visar på hur stor miljöpåverkan var del av livscykeln kräver.

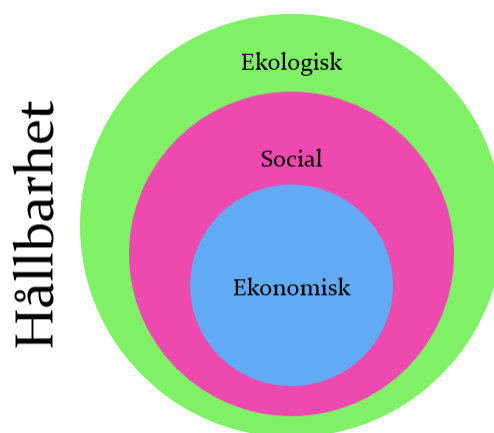
Hållbarhet brukar delas in i tre dimensioner ekologiskt, socialt och ekonomiskt (Östlund, 2020). Den ekologiska dimensionen är troligtvis den som i allmänhet förknippas mest med hållbarhet och handlar om jordens ekosystem och dess bärformåga. Det vill säga hur väl naturen återhämtar sig från påverkan av människan som exempelvis handlar om klimatförändringar, föroreningar, grundvattennivåer och biologisk mångfald. Det finns dock många delade meningar kring hur omfattande problemen är och konsekvenserna (Östlund, 2020). 2009 publicerades planetens hållbara gränser, som beskrev de allvarligaste problemen inom den ekologiska dimensionen och som styr jordens stabilitet (Stockholms Universitet [SU], 2015). Dessa gränser var totalt nio stycken och identifierade vilka prioriterade miljöförändringar som drevs på av oss människor. Om dessa gränser överskrids riskerar det att påverka dagens och framtidens samhälle. Idag överskrids redan fyra av nio planetära gränser (SU, 2015). De gränser som överskrids är: klimatförändringar, förlust av biologisk mångfald, förändrad markanvändning, förändrade biogeokemiska flöden av kväve och fosfor. Två av dessa överskridna gränser "klimatförändringar" samt "förlust av biologisk mångfald" kallas även "core boundaries", eftersom forskarna befäradar att överskridande av dessa kan driva jordsystemet in i ett nytt tillstånd.

Den sociala dimensionen kan beskrivas med hjälp av två aspekter, välfärd som handlar om individens välbefinnande, exempelvis boende, utbildning, arbete, vård och omsorg. Medan den andra aspekten tar upp samhällets problemlösningskapacitet, vilket beskriver i vilken grad samhället kan möta problem och påfrestningar utan att kollapsa (Östlund, 2020). För att mäta social hållbarhet har olika index tagits fram. Ett av de mest kända indexen är FN:s "human development index" (HDI). Detta index mäter olika länder utifrån tre faktorer: förväntad livslängd, utbildning och inkomst (FN:s utvecklingsprogram [UNDP], u.å.). Den tredje och sista ekonomiska dimensionen anses i många fall vara den mest komplicerade och kontroversiella (Östlund, 2020). Detta beror på att den handlar mer om politik och ideologi där meningsskiljaktigheter kan orsaka konflikter. En stor fråga inom ämnet är hur ekonomisk tillväxt kan fortsätta ske utan att tära på jordens resurser. Två nyckelbegrepp för hållbar ekonomi är "grön tillväxt" och "grön ekonomi" (Lunds Universitet [LU], 2020). Den gröna

tillväxten handlar om satsning på miljöteknik även sett ur ett ekonomiskt perspektiv. Begreppet grön ekonomi innefattar ett ekonomiskt system som förbättrar människors livsbetingelser samtidigt som de ekologiska belastningarna minskar. En väl fungerande grön ekonomi har därmed ett lågt koldioxidutsläpp, utnyttjar resurser effektivt och är socialt inkluderande. Den ekologiska dimensionen är den som sätter ramarna för de ekonomiska och sociala faktorerna (LU, 2020). Detta beror på att naturresurserna lägger förutsättningarna för både ekonomi och välfärd genom mat tillgångar, energitillgång och vattentillgång etc. För att ekonomisk hållbarhet ska vara möjlig krävs det att den sociala hållbarheten ligger till grund för det. Hur de olika dimensionerna samspelar demonstreras i figur 1 nedan.

Figur 1

Samspel mellan dimensioner



Kommentar. Demonstrerar samspel mellan de ekologiska, sociala och ekonomiska dimensionerna i hållbarhet.

1.2 GKN Aerospace

GKN Engines är ett väletablerat företag med kontors- eller produktionslokaler i Norge, Mexico, USA, Indien och Sverige. I Trollhättan ligger huvudkontoret med cirka 2000 medarbetare (GKN Aerospace Sweden AB, u.å.a). I de svenska städerna tillverkas exempelvis motorkomponenter, flygplansstrukturer och kablage. På huvudkontoret i Trollhättan utvecklas och tillverkas delar till motorer för flygplan och rymdraketer, samt arbete med motorunderhåll. Företaget har tagit stor hänsyn till FN:s globala hållbarhetsmål och arbetar på flera sätt för att uppnå dem (GKN Aerospace Sweden AB, u.å.b). Ett mål som de beskriver som särskilt viktigt för dem är mål nummer 13 ”bekämpa klimatförändringarna”, som bl.a. innebär att minska utsläppen av farliga växthusgaser (Förenta Nationerna [FN], u.å.). För att nå detta mål har de infört att livscykelanalyser skall implementeras i deras arbete.

I början av 1980-talet fick GKN Aerospace eller Volvo Aero som de då hette, uppdraget att vidareutveckla den tidigare motorn av General Electrics F404, till de nya stridsflygplanen som kom att kallas JAS 39 Gripen (GKN Aerospace Sweden AB, 2020). Resultatet blev RM12 (reaktionsmotor 12), som är tillverkad för enmotoriga flygplan tillskillnad från tidigare då de

istället var tvåmotoriga. Motorn blev en stor framgång och har exporterats till länderna Ungern, Tjeckien, Thailand och Sydafrika. Idag med över 300 000 flygtimmar har motorn fortfarande inte haft ett enda haveri. Motorn består utav ett modulsystem, men trots detta väljer de flesta länder att skicka motorn för service till huvudkontoret i Trollhättan.

1.3 Syfte

Syftet med arbetet att utföra en livscykelanalys av en komponent till RM12-motorn för att jobba mot GKN Aerospace AB:s hållbarhetsmål. Den data som tas fram genom analysen kommer användas inom verksamheten till att utveckla metoden av livscykelanalyser och för att få en bild över den bristande hållbarhet hos komponenten. Att utföra en livscykelanalys ingår i företagets mål kring att analysera alla sina produkter ur ett hållbarhetsperspektiv med hjälp av LCA. Resultatet av analysen skall tillföra ny data kring processer som tidigare inte analyserats på företaget, och därmed bidra till arbetet mot att kunna göra livscykelanalyser på alla produkter. Då en mängd kemikalier används som kan ha stor påverkan ur ett socialt hållbarhetsperspektiv, skall dessa analyseras med avseende på social hållbarhet. Detta för att komplettera bilden kring hur stor påverkan komponenten har, baserat på hela hållbarhetsperspektivet.

1.4 Mål

Målet är att identifiera bristande hållbarhet hos flygmotorn RM12 med hjälp av en förkortad livscykelanalys. Detta ska utföras på motorkomponenten ”spole 1 och 2” från fasen vagga till fabriksgrind. Utöver detta ska även en analys av de kemikalier som använts för de olika processerna utföras. Med hjälp av dessa analyser ska ”hotspots” hos komponenten identifieras, för att sedan kunna använda resultatet till att bestämma vilka aktiviteter inom systemet som potentiellt skulle kunna effektiviseras ur ett hållbarhetsperspektiv. Studien är på uppdrag av GKN Aerospace vars resultat kommer användas internt inom verksamheten.

1.5 Avgränsningar

I detta arbete utförs en något förenklad livscykelanalys då den utgår ifrån ISO-standarderna men inte efterföljer den helt. Vid livscykelanalysen kommer användningen och avfallshanteringen exkluderas, vilket innebär att arbetet sker ur ett ”vagga till grind” perspektiv. Detta på grund av att arbetet annars hade blivit för stort och att informationen som skulle behövas kan vara konfidentiell. Utöver detta kommer även arbetet endast utföras på en komponent hos RM12 motorn, då arbetet skulle bli för omfattande vid en analys av hela.

Flera av processerna som utförs på komponenten kommer att exkluderas då de i samråd med GKN inte anses vara relevanta för LCA, då miljöbelastningen förväntas vara relativt låg. Några processer kommer också behöva uteslutas ur analysen på grund av dålig eller svår tillgång till data. De processer som går under detta, och därmed har varit tvungna att avgränsas är:

kulbombning, blästring, penetrant fluorescerande, rengöring, mätning, kontroll, märkning och maskering. För mer information kring dessa processer se kapitel 3.1.8 ”Övriga processer”. Då

alla rengöringsprocesser avgränsas ifrån arbetet tas inte heller de kemikalier som används för dessa moment i beaktning, vid den senare analysen av kemikalier och dess påverkan. Några processer använder sig utav lufttryck, vilket också har uteslutits ur arbetet. Detta eftersom lufttryckstillförseln går genom ett centralsystem på företaget, som innebär att beräkningarna kring förbrukningen skulle blivit allt för stora och komplicerade för att hinna med i detta arbete. Även vattenförbrukningen har avgränsats för att smälta av arbetet och då det i jämförelse inte ansågs lika relevant för företaget. Den slutliga monteringen av motorn har heller inte tagits i beaktning.

Då flera olika komponenter tillverkas i samma fabrik kan det vara tvunget att göra allokering, för att exempelvis kunna kalkylera resursflöden. Allokering är ett begrepp som innefattar hur olika flöden bör hanteras om det exempelvis ingår flera olika produktsystem i en och samma process. I detta fall har allokering utförts då flera komponenter varit involverade genom att den totala energin har dividerats med antalet enheter, för att få fram energiåtgången för endast en. Vid transport har allokering inte utförts i någon större grad än i det som redan finns för programmet i Gabi.

2. Teori

I följande kapitel redovisas den teori som använts för att kunna utföra arbetet. LCA som verktyg har först analyserats samt dess för- och nackdelar, för att få en bredare bild av metoden. Slutligen har även en kortare analys av den programvara som använts utförts.

2.1 Livscykelanalys

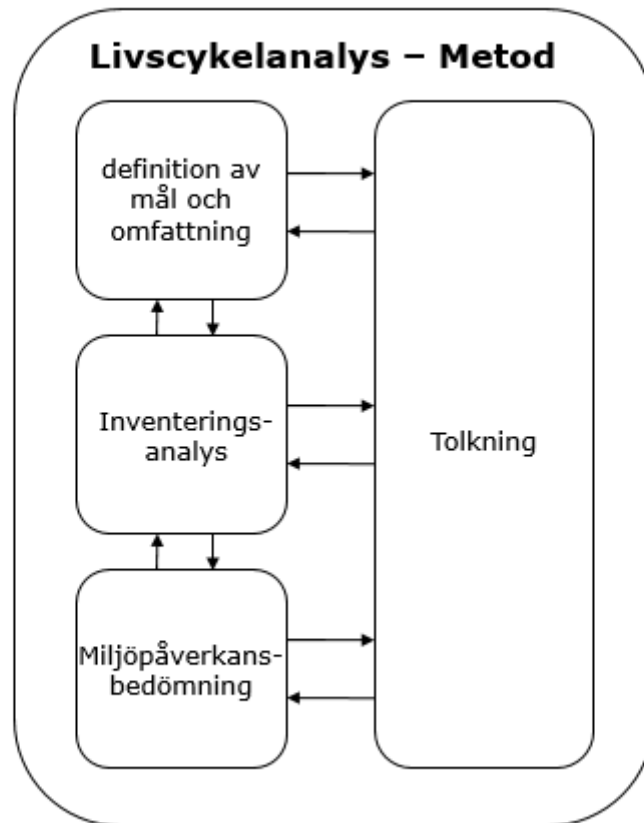
Livscykelanalys (LCA) är ett verktyg som räknar på hur stor klimatpåverkan som produktsystem har genom hela sin livscykel (Finnveden et al., 2009). För en livscykel beräknas den totala påverkan från materialutvinning, tillverkning, transport, användning och avfallshantering. LCA är inte entydigt eftersom metoden vid genomförandet inte alltid är densamma, vilket leder till olika resultat (Erlandsson et al., 2014). Detta kan bero på olika antaganden eller syften till varför LCA:n utförs. För att skapa en generell definition av verktyget skapades ISO-standarden ISO 14040 som beskriver metodiken och dess tillämpning. Trots att standarden har tagits fram, finns det fortfarande metoddelar som kan tolkas på flera sätt, vilket även det bidrar till LCA:s tvetydighet. Enligt standarden består LCA-metoden av fyra olika faser (Swedish Standards Institute [SIS], 2006):

- definition av mål och omfattning,
- inventeringsanalys,
- miljöpåverkansbedömning, och
- tolkning av resultat.

Hur dessa faser samverkar illustreras i figur 2.

Figur 2

Samverkan mellan de fyra faserna för LCA



Kommentar. Demonstrerar den metodologi som beskriv i ISO-standarden och dess arbetsprocess

Det hela börjar med att definiera produkten som skall analyseras för att sedan fastställa målet och omfattningen av arbetet (Baumann & Tillman, 2014). Efter detta kommer inventeringsanalysen som handlar om att upprätta en livscykel modell och att sedan beräkna på orsakade utsläpp samt använda resurser. Under miljöpåverkansbedömningen relateras utsläppen och de använda resurserna till olika miljömässiga problem genom att klassificeras och karaktäriseras. Då LCA är en iterativ metod kan det bli nödvändigt att hoppa fram och tillbaka mellan de olika stegen, vilket demonstreras i figur 2. Tolkning av resultat är en konstant pågående process som hela tiden sker vid sidan av de andra stegen.

2.2 För- och nackdelar med LCA

För att minska på klimatavtrycket är det viktigt att utsläppen av farliga växthusgaser sänks, vilket är ett uppdrag som inte alltid är så lätt för företagare att ta sig an. LCA kan därför vara ett bra verktyg som går att tillämpa själv, då det finns en allmän ISO-standard. Det innebär att alla producenter kan utvärdera sina produkter utifrån hur stort fotavtryck som de ger. Verktuget är även bra på så vis att de olika faserna i livscykeln är lätta att överskåda och därmed få en klar bild över vad som kan förbättras. Tidigare dolda in- samt utflöden kan med

hjälp utav detta bli kända. Att få en överblick kring påverkan ifrån systemet kan även generera riktlinjer att som företag kunna förhålla sig till. Standardisering som har skett av analysen innebär en uppmuntran för ökad användning av LCA, detta är positivt i arbetet mot de globala utsläppen.

Trots att ISO-standarden har satts upp är den fortfarande öppen för tolkning, vilket innebär att resultatet av analysen blir olika beroende på vem som har utfört den. Detta skapar en stor ovisshet kring vilka LCA:s som är relevanta eller inte. En annan nackdel med LCA är att den utförs efter att produkter har producerats, vilket innebär att utsläppen av farliga växthusgaser redan har skett. Det är viktigt att i ett tidigt skede vid produktutveckling, att ta hänsyn till produktens utsläpp genom hela livscykeln, då det beräknas att ca 80 % av en produkts miljöutsläpp bestäms redan i design fasen (European Union [EU], u.å.). Det är därmed centralt att inte se på livscykel som en lösning, utan som ett verktyg till förbättring. LCA är dessutom tidskrävande och kräver en stor mängd data som kan vara svårt att ha tillgång till som företag. Detta kan därmed leda till en hel del estimeringar som i sin tur leder till osäkerhet kring resultatet.

2.3 Programvara

Programmet Gabi är en mjukvara av Sphera som är en stor leverantör av mjukvara kring hållbarhet. Det används främst till att utföra LCA beräkningar på och har över 10 000 globala användare (Sphera, u.å.). Till dessa beräkningar använder sig programmet av 5000 årligen uppdaterade datamängder som utgår ifrån ett 20-tal databaser. Utförandet av livscykelanalysen kommer främst ske genom detta program. Både vid utformning av modell och vid den slutliga redovisningen av resultat, då Gabi är väl anpassat för detta genom att tillhanda ha flera olika karaktäriseringar. Utöver detta har programvaran Granta Edupack använts för att kontrollera olika datas relevans och för att hitta information kring olika processer. Detta program är skapat utav Ansys och används främst inom undervisning av material och olika processer. Totalt i programmet finns data för över 4000 material och möjlighet till att utföra miljöpåverkans analyser (Ansys, 2023).

3. Omfattning

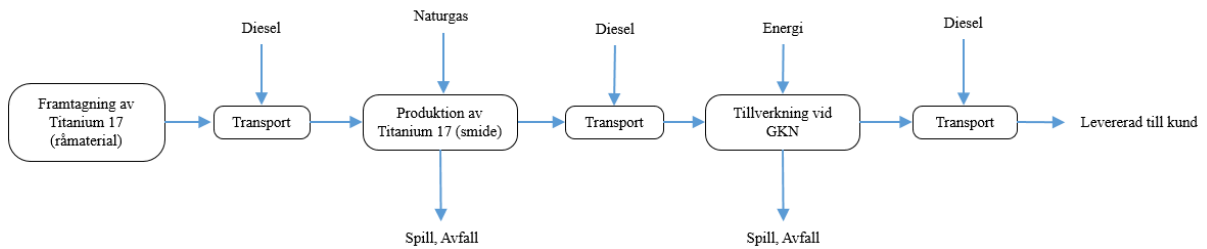
I detta kapitel definieras arbetet som utförts genom att fastställa produktsystemet, den tilltänkta komponenten ”spole 1 & 2” genom att definiera funktionell enhet, systemgränser, datakvalitetskrav och slutligen vilka antaganden som har gjorts.

3.1 Produktsystemet

Produktsystemet definieras enligt figur 3 nedan. Då analysen kommer ske utifrån ett vagga till grind perspektiv kommer systemet bestå utav allt ifrån framställningen av material till att komponenten levererats till kund. Detta innebär att alla transporter och processer som sker där emellan tas i beaktning med undantag för de avgränsningar som har satts.

Figur 3

Flödesschema



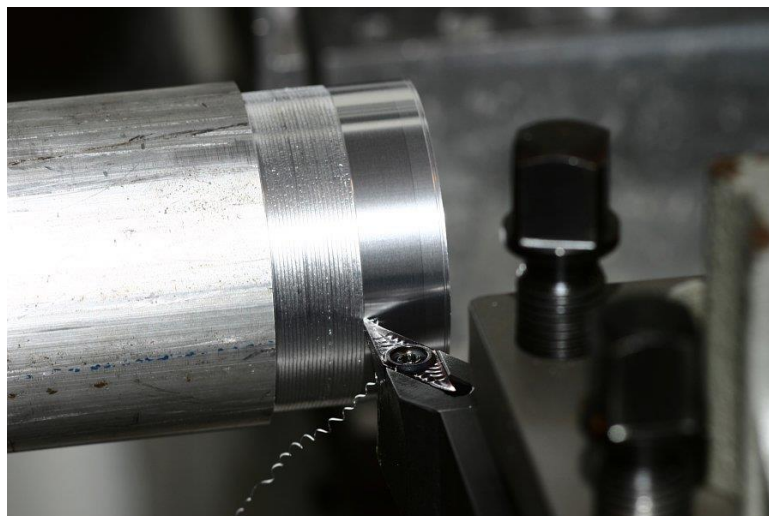
I nedanstående kapitel redogörs de olika processerna som utförs på komponenten vid GKN:s fabriker och som ingår i detta arbete mer ingående. I sista kapitlet ”3.1.8 Övriga processer” gås även de processer som har avgränsats igenom.

3.1.1 Numerisk styrd svarvning

När numerisk styrd svarvning (se figur 4) kom till metallfabrikerna ledde det till en typ av revolution som öppnade upp för nya möjligheter (Smid, 2003). Denna framgångsrika process definieras genom maskinstyrda verktyg som har kodade instruktioner. Svarvning brukar i många sammanhang delas upp i grovt och fint, vilket även är fallet hos GKN. Den stora skillnaden är mängden spill och ytfinhet, där grov svarvning har mer spill än den fina svarvningen med bättre ytfinhet. Komponenten genomgår totalt fyra svarvningsprocesser varav en utförs av Wyman-Gordon som är återförsäljare till GKN.

Figur 4

Numeriskt styrd svarvning



Kommentar. Från *Category:Turning (machining process)* [Fotografi] av Florian Schott, 2008, Wikimedia Commons, ([https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Turning_\(machining_process\)\)](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Turning_(machining_process)))

3.1.2 Dragdriftning

Vid dragdriftning eller dragbrotschning (se figur 5) som det också kallas, används ett långt verktyg med flera uppsättningar av skärepp. Verktuget skär bort precist material på ett konstant sätt, antingen ifrån materialets mitt eller utsida (Industrial Quick Search [IQS], u.å.). Processen utförs för att få en utvald form att bli gengående längs med hela komponenten, vilket är unikt för processen. De två olika typerna av maskiner för processen är vertikal och horisontal, där de två olika metoderna kallas ”push” eller ”pull”. Detta innebär att verktuget antingen pressas mot komponenten eller dras igenom det.

Figur 5

Hål ifrån dragdriftning



Kommentar. Från *File:Geräumte-Kerbverzahnung2.JPG* [Fotografi] av Dirk Gräfe, 2008, Wikimedia Commons, (<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ger%C3%A4umte-Kerbverzahnung2.JPG>)

3.1.3 Manuell gradning

Manuell gradning är ett hantverk vilket innebär att komponenten som behandlas gör det manuellt (se figur 6), detta med hjälp av handverktyg och andra analoga verktyg som sandpapper. Processens genomförande är olika beroende på faktorer som skick, typ av komponent och vad den senare skall genomgå. Detta utförs av utbildad personal som utgår ifrån en operationslista i kombination med erfarenhet kring hur mycket eller lite som behöver bearbetas, då alla komponenter är olika. På GKN används ofta ett handtag där olika verktygshuvuden kan bytas ut beroende på uppgift. Några processer som kan ske är slipning,

borrning och filning. För varje process finns det dessutom flera verktygshuvuden att välja på beroende på hur stor bearbetningen är och hur fint det ska vara.

Figur 6

Slipning vid manuell gradning



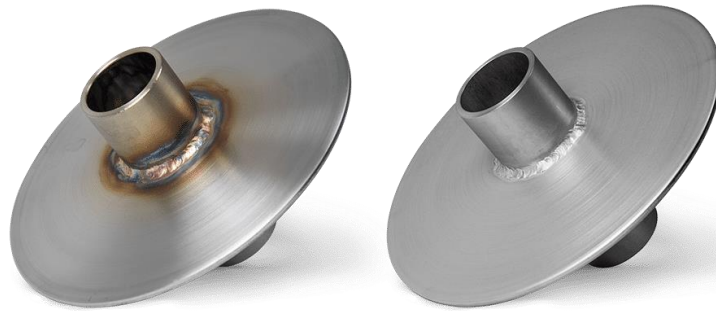
Kommentar. Från *Free Worker grinding metal Image* [Fotografi] u.å., Pix4free, (<https://pix4free.org/photo/211/Worker-grinding-metal.html>)

3.1.4 Betning

Vid varmbearbetning av metall kan ett oxidskikt bildas (Metallkompetens, u.å.a). För att få bort skiktet utförs betning (se figur 7), vilket innebär att komponenten sänks ner i ett bad av syra som löser upp oxiden. Syrabadet kan bestå av olika blandningar beroende på vilket material som komponenten består av, samt vilket resultat som efterfrågas. När komponenten har sänkts ner i badet beror reaktionshastigheten på faktorer som temperatur och koncentration. Efter att komponenten tagits ur badet krävs sedan att syrarester spolas av, för att sedan torkas och anoljas för att förhindra rost. Ur miljösynpunkt är det bäst om bettsyror cirkulerar i ett slutet kretslopp (Metallkompetens, u.å.).

Figur 7

Betning före och efter



Kommentar. Från *Betning av rostfritt stål* [Fotografi] av Calamo AB, u.å., calamo (<https://www.calamo.se/ytbehandling/betning/>) Återgiven med tillstånd.

3.1.5 Blästring

Blästring är en ytbehandling där små kantiga partiklar som genom ett snabbt flöde skickas mot komponenten som befinner sig på en roterande platta. Sand- och våtblästring är de två olika metoderna som finns för processen, där det första innebär att flödet består av tryckluft (se figur 8) och det andra utav vatten enligt Granta EduPack. Blästring utförs för att komponenten skall skuras, rensas, få bort rost och andra föroreningar så att den blir redo för målning eller annan beläggning. Men processen utförs även för att den skall se mer estetiskt tilltalande ut, genom att ge en matt och dekorativ yta på metallen. Partiklarna som används kan bestå utav nötter, ris, glas, men det vanligaste är metallpartiklar enligt Granta EduPack, vilket även används hos GKN.

Figur 8

Pågående manuell torrblästring



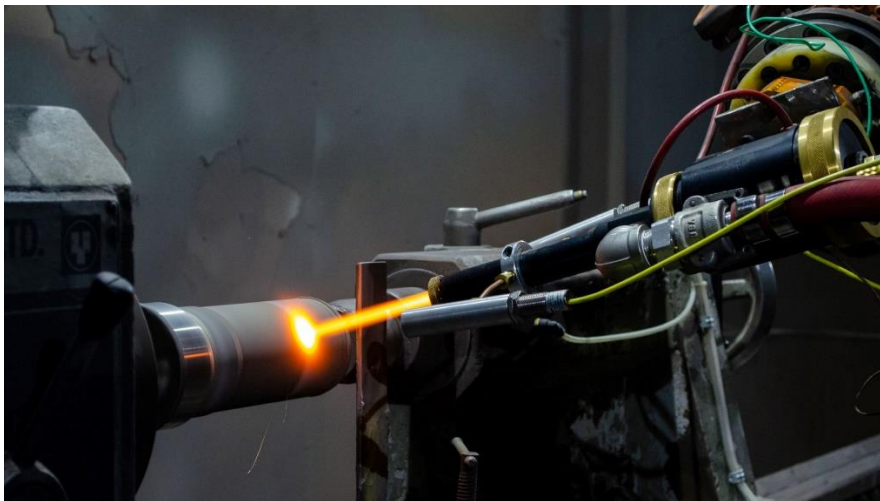
Kommentar. Från *allblästring* [Fotografi] av Allblästring AB, u.å., allblästring (<https://allblasting.se/>)

3.1.6 Plasmasprutning

Processen plasmasprutning innebär att en elektisk ljusbåge används för att värma upp gas tills molekylerna dissocieras och sedan joniserats (Di Gleria, 2019). I detta tillstånd har gasen övergått till plasma, som sedan rekombinerar och därmed överför frigjord energi till pulvret som smälter (se figur 9). De främsta gaserna som används till plasmagas är argon, nitrogen, helium, hydrogen eller olika blandningar av dessa (Di Gleria, 2019). Plasmats temperatur kan variera mellan 12 000-20 000°C, med en partikelhastighet på upp till 200-300m/sek. Detta ger ett mycket tätt skikt med lågt oxidinnehåll och en kapacitet på 3,5–11 kg/h. Vid GKN används gasen argon och plasmats ligger på en temperatur på 15 000°C (Principal Engineer-Materials & Processes (2), personlig kommunikation, 20 mars, 2023). I detta fall är plasmasprutningens syfte att skapa en beläggning som skyddar mot yttre nötning. Inför processen rengörs och maskeras komponenten innan den blåstras för att sedan genomgå plasmasprutning.

Figur 9

Pågående plasmasprutning



Kommentar. Från *File:HVAF Thermal Spray.jpg* [Fotografi] av Lreames, 2020, Wikimedia Commons, (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HVAF_Thermal_Spray.jpg)

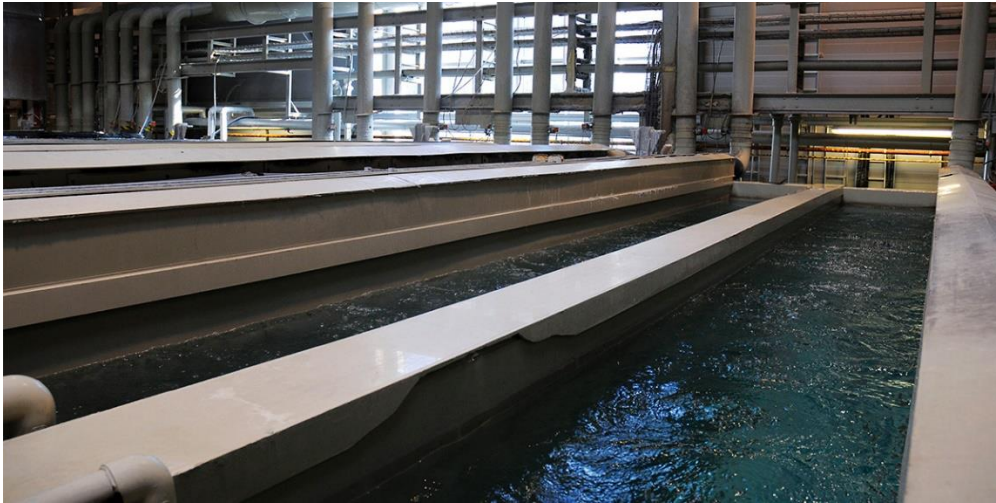
3.1.7 Eletsning

Eletsning eller makroetsning som det också kallas är ett begrepp som innefattar flera olika processer som sker i följd. Detta är ingen generell process utan ser olika ut beroende på vart den utförs och på vad. Processen utförs främst för att hitta små defekter under det yttersta toppskiktet på komponenten (Senior Manufacturing Engineer-Mtrls&Proc, Personlig kommunikation, 13 Mars, 2023). Nästan alla de olika momenten består utav olika former av bad som komponenten hissas ned i. Vissa av dessa bad består utav flera olika kemikalier som blandats för att få fram önskad effekt, och ibland bör en viss temperatur bibehållas. Utöver de olika rengöringsmomenten och allokeringbaden, består processen i detta fall utav ett aktiveringsbad som komponenten sänks ned i. Detta bad ”aktiverar” komponenten inför den efterföljande anodiseringen som sker i anodiseringsbadet (se figur 10). Här utförs själva kontrollen där ström skickas genom komponenten och där sedan de uppmätta värdena visar

huruvida den är godkänd eller inte. Därefter sker ett etsbad som förbättrar ytan innan den kontrolleras manuellt (Senior Manufacturing Engineer-Mtrls&Proc, Personlig kommunikation, 13 Mars, 2023).

Figur 10

Anodiseringsbad



Kommentar. Från *Anodisering* [Fotografi] av Mäkelä Alu AB, u.å., makelaalu (<https://makelaalu.fi/sv/ytbehandlingar/anodisering/>) Återgiven med tillstånd.

3.1.8 Övriga processer

För komponenten som undersöks i denna rapport ingår det en del processer som inte har tagits med inom ramarna för detta arbete, men som fortfarande utförs på GKN. Att de inte tagits hänsyn till beror på tidsbrist och att då andra processer har prioriterats då de har ansetts ha större miljöpåverkan, och att det därmed finns ett större intresse hos GKN för att analysera dessa. Men i vissa fall har det även berott på att data har varit otillräcklig för att kunna analysera miljöpåverkan och därmed har processen uteslutits.

Processerna mätning och kontroll är två processer som avgränsats då dessa antingen består utav analogt arbete eller med hjälp av mätverktyg, vilket har ansetts ha låg miljöpåverkan. Detsamma gäller märkning och maskering då även dem är analoga processer, där det krävs relativt ofarliga material (sett ur ett miljöperspektiv) som exempelvis tejp och penna. Utöver detta har penetrant fluorescerande uteslutits då även den har ansetts ha låg påverkan. Denna process används vid ytfelddetektering genom att penetreringsvätska tränger sig in i eventuella defekter (Metallkompetens, u.å.b). Komponentens kontrolleras sedan med en viss belysning som lyser upp eventuella fel. Rengöring har också uteslutits då det främst består av vattenförbrukning, vilket sedan tidigare har avgränsats från arbetet. Slutligen har kulbombning och sandblåstring exkluderats då det inte har funnits tillgång till den data som krävts. Vid kulbombning skickas många små kulor mot komponentens yta. Detta bygger upp komponentens tryckspänning vilket förbättrar materialets utmattningsegenskaper enligt Granta EduPack. Sandblåstringsoperationen förklaras närmare under kapitel 3.1.5 "Blåstring".

3.2 Spole 1 och 2

Spole 1 & 2 är en del av kompressorn som sitter i motorn RM12 (se figur 11). Motorn består utav de sex delarna fläkt, kompressor, förbränning, LPT (low pressure turbine), HPT (high pressure turbine) och efterbränningskammaren. Den fungerar genom att fläktarna drar in luft som sedan komprimeras genom kompressorn, för att sedan antändas i förbränningsmotorn och generera rörelseenergi. Kompressorn består av ett kompressorhus som omsluter spole 1 & 2, skiva 3 och spole 4-7. De olika numreringarna står för vilken ordning som komponenterna sitter i (Senior Engineer - Product Support, Personlig kommunikation, 22 februari, 2023).

Figur 11

De olika komponenterna för RM12

RM12 - Komponenter



Kommentar. Kompressor som omsluter spole 1 & 2 är inringad i rött.

3.3 Funktionell enhet (FU)

Komponenten ”Spole 1 och 2” (se figur 12) är en komponent med massan 9,5 kilo och sitter i kompressorn som verkar i flygmotorn RM12. Den uppskattade livstiden är inte definierad då användningsfasen är exkluderad ur analysen.

Figur 12

Spole 1 & 2



Höjd = 122mm

Ytterdiameter = 380mm

Innerdiameter = 220mm

Materialet är en titan legering som kallas Ti17 (Ti-5Al-2Sn-4Mo-2Zn-4Cr), vilket är en nära β -legering som består utav ca 62 % återvunnet material och ca 38 % jungfruligt material från gruva. Datan är hämtad ifrån materialdatabasen Granta Selector, där det även går att utläsa energiåtgång för olika tillverkningsprocesser av materialet, vilket kommer användas i senare kalkyler.

3.4 Systemgränser

Då livscykelanalysen huvudsakligen fokuserar på framtagningen av komponenten Spole 1 & 2 kommer exempelvis framtagningen av transportmedel och verktyg att exkluderas. Även åtgången av material vid de olika tillverkningsprocesserna som bl.a. skäregg kommer inte heller att tas i beaktning.

Vattenåtgången kommer exkluderas på grund av tidsbrist och då andra resursåtgångar ansågs mer relevanta, detsamma gäller lufttryck då det består utav ett centralsystem, vilket skulle göra beräkningarna för komplicerade.

Livscykelanalysen kommer ske ur ett vagga- till grindsperspektiv, vilket innebär att användnings- och gravperspektivet kommer att exkluderas. Huvudfokus blir därmed att samla data kring processerna vid framtagningen av material och transport till GKN:s produktion. För att sedan analysera tillverkningsprocesserna och transporter på företaget fram till den slutliga leveransen till kunden. Se tabell 1 nedan för specificerad systemgräns.

Tabell 1*Systemgränser sammanställd i tabell*

Process, input, output	Inkluderad i denna LCA?	Kommentarer
Materialutvinning	Ja	
Framställning av tillverkningsmaterial	Ja	
Framställning av verktyg	Nej	
Övrig materialåtgång	Delvis	Förbrukningen och framtagningen av argon inkluderas
Input & output genom den huvudsakliga tillverkningsprocessen	Ja	
Återvinning av biprodukter (Inkluderar: återanvändning, återvinning och energiåtervinning).	Delvis	Kommer inkludera viss återanvändning av kemikaliebad genom allokering
Distribution/Transport	Ja	.
Bränsle och elektricitet	Ja	
Användning och underhåll	Nej	
Hantering av avfall ifrån huvudsaklig tillverkning	Ja	
Hantering av farligt avfall ifrån huvudsaklig tillverkning	Delvis	Inkluderas inte vid in- & outputdata. Separat analys av kemikalier genomförs i kapitel 5.2 ”Analys av kemikalier”
Avveckling av spole 1 & 2 efter användning	Nej	
Tillverkning, underhåll och avveckling av utrustning/verktyg	Nej	
Övriga operationer, ex. ljus, uppvärmning av lokaler	Nej	

3.5 Datakvalitetskrav

Den data som har använts i analysen är hämtad direkt ifrån företaget, litteratur eller programvaran Gabi, i vissa fall har även jämförelser gjorts i programmet Granta Edupack för att kolla relevansen hos datan. I så lång utsträckning som möjligt har data främst hämtats ifrån företaget, då den är trovärdigast och är tagen ifrån deras egen produktion. För att få fram rätt data för rätt process har intervjuer med personer på avdelningen för specifik process utförts.

Då det har krävts data som inte går att ta fram i produktionen har istället programmen GaBi, Granta Edupack tillsammans med antaganden och litteratur används som komplettering.

3.6 Antaganden

Det har gjorts flera antaganden kring de processen som sker innan komponenten skickas till GKN, då det är svårt att få tillgång till data ifrån deras leverantörer. Dessa antaganden är baserade på estimeringar ifrån experter på GKN. Det har även utförts antaganden kring transportsträckor, då det är svårt att få tillgång till data för de exakta vägsträckorna. De olika transportsträckorna är därmed antaganden baserat på vart de olika processerna är stationerade. Detsamma gäller för transport vid/från GKN där vägsträckorna uppskattats baserat på vart komponenten transporteras. För framställning av material har Granta Selector använts, vilket innebär att datan är baserad på en generell materialframställning av Ti17. Det antas därmed att processen vid materialtillverkningen är lik den generella framställningen.

Vissa beräkningar har antagligen blivit förenklade, då det troligtvis bör tas hänsyn till fler parametrar än vad som gjorts, därmed kan dessa kalkyler ses mer som en estimering än faktiskt riktiga värden. Det har även antagits att spillet för hela produktsystemet återvinns, detta innebär att det antas att även spillet ifrån produktionen innan GKN återvinns. Det har även gjorts antaganden kring operationslistans processtider. Efter att ha fått en större förståelse för hur produktionen funkar, var det tydligt att operationslistan fungerade mer som en ungefärlig optimering. I verkligheten varierar processtiderna och det olika mycket.

4. Inventeringsanalys

Vid inventeringsanalysen tas den data som behövs för de olika processerna upp. De processer som tagits med i inventeringsanalysen är utförda på GKN enligt deras operationslista. De processer som sker innan GKN är baserade på information ifrån företagets leverantörer. Utöver detta ingår även transport, återvinning av spill och framställning av material. Ett fullständigt flödesschema redovisas i bilaga 1 under bilagor.

4.1 Beräkningar

I följande kapitel redovisas de beräkningar som utförts kring energiåtgång för olika processer, samt annan nödvändig data som tas hänsyn till inför den senare miljöpåverkansbedömningen.

4.1.1 Framställning av material Ti17 legering

För att ta fram material har data ifrån Granta Selector använts för materialets förkroppsligade energi, vilket innebär att energiåtgången ifrån hela framtagningen. Detta inkluderar åtgången vid gruvan, transport och framställning etc. Datat har använts som komplement då det inte har gått att ta fram egna värden ifrån den egentliga produktionen. Den massa som har använts är massan för en biljet och är tagen ifrån GKN:s egna ”smidesexperter” antaganden. Dessa är baserade på kostnader som företaget betalar, vilket inkluderar mängden spill vid grovsvarvningen (Principal Engineer-Materials & Processes, Personlig kommunikation, 6

april, 2023). I verkligheten tillverkas inte materialet för endast en billets i taget, men då ingen annan data finns tillgänglig används därmed denna massa vid beräkning.

$$257,5 \frac{MJ}{kg} \times 53,5kg = 13\,776,25 MJ$$

Då kvalitén av datan kan anses som relativt svag gjordes en jämförelse av energiåtgången med hjälp av ytterligare en databas i programmet Granta Edupack. Med hjälp av programmets Eco audit funktion som kan utföra livscykelanalyser, beräknades energiåtgången ligga på 13 803MJ. Resultatet har endast en differens på 26,75MJ, vilket stärker datans relevans.

4.1.2 Värmebehandling

För denna komponent sker två värmebehandlingar i ugn som följs av snabb luftkylning för den första behandlingen och vattenkylning för den andra (Allegheny Technologies Incorporated [ATI], 2011). Allt detta sker hos ATI (Principal Engineer-Materials & Processes, Personlig kommunikation, 6 april, 2023). Då data saknas för ugnen har en enklare marknadsundersökning utförts för att kunna göra ett ungefärligt antagande av vilken vikt och storlek som bör vara rimlig, detta sattes till 646,4kg (1425lb) och 8m³. Den första värmebehandlingen är satt att vara 838°C (1540,4°F) och pågår i fyra timmar (ATI, 2011).

För att beräkna energiåtgången för att värma en tank används formeln nedan (Tempco Electric Heater Corp, 2006), den specifika värmekapaciteten för luft är 0,24 BTU/lb °F.

$$W = \frac{\text{vikt för tank (lb)} \times \text{Specifik värmekapacitet (BTU/lb}^\circ\text{F)} \times \Delta T (^\circ\text{F)}}{3,412 \text{ (BTU/Watt hr)} \times \text{Tid (h)}}$$

Antal watt som krävs under den första värmebehandlingen blir därmed:

$$W = \frac{1425lb \times 0,24 \text{ BTU/lb}^\circ\text{F} \times (1540,4^\circ\text{F} - 69,8^\circ\text{F})}{3,412 \text{ BTU/Watt hr} \times 4h} = 36,85kW \times 4h = 147,4kWh$$

= 530,64MJ

För den andra värmebehandlingen ligger temperaturen på 800°C (1472°F) i fyra timmar (ATI, 2011), vilket ger följande beräkning:

$$W = \frac{1425lb \times 0,24 \frac{BTU}{lb^{\circ}F} \times (1472^{\circ}F - 69,8^{\circ}F)}{3,412 \frac{BTU}{Watt \text{ hr}} \times 4h} = 35,14kW \times 4h = 140,55kWh$$

= 505,98MJ

4.1.3 Konvertering

Tillverkning av billets sker genom konvertering hos Allegheny Technologies Incorporated (ATI), vilket innebär att den energi som används kommer ifrån naturgas (Principal Engineer-Materials & Processes, Personlig kommunikation, 6 april, 2023). Då även denna process inte sker inom GKN finns det inte någon data kring energiförbrukningen, därmed har Granta Selector även vid dessa beräkningar använts som källa. Dessvärre kunde inte datan jämföras med Granta Edupack då processen inte fanns i programmet.

$$16,1 \frac{MJ}{kg} \times 53,5kg = 861,35MJ$$

4.1.4 Grovsvarvning

Innan komponenten anländer till GKN grovsvarvas den till en ultraljusform. Denna process sker hos Wyman-Gordon och som energikälla används naturgas (Global Commodity Buyer, Personlig kommunikation, 17 mars, 2023). Eftersom GKN själva inte står för produktionen har det inte varit möjligt att få fram data om energiförbrukningen och därmed har ”smidesexperter” hos GKN fått uttala sig kring det hela. Efter diskussion med kollegor uppskattades det att avverkningen bör ligga runt 11,5kg (Principal Engineer-Materials & Processes, Personlig kommunikation, 6 april, 2023). Dessa antaganden är baserat på de kostnader som GKN betalar för arbetet, vilket inkluderar mängden spill. Energiåtgången är baserad på data ifrån Granta Selector.

$$2,865 \frac{MJ}{kg} \times 11,5kg = 32,9MJ$$

4.1.5 Numerisk styrd svarvning

För numerisk styrd svarvning har det funnits tillgång till data ifrån GKN själva som utfört mätningar på maskinen. Dock är dessa mätningar utförda på materialet Ti-64 vilket är en annan form av titan-legering. De beräknade energiförbrukningsvärdena jämfördes med Granta Selectors data, vilket visade sig stämma ganska bra överens med GKN:s egna värden för samma material. Därmed verkade det vid en första anblick som rimligt att istället använda Granta Selectors data för Ti17. Det är dock viktigt att pointera att Granta Selector endast tar hänsyn till mängden spill och inte operationstiden. På grund av detta visade det sig att beräkningarna blev mycket lägre än de egna mätningarna, eftersom spillet var av så pass liten mängd. Därmed valdes istället GKN:s egna mätningar som input, då det genererade en relevantare energiåtgång. Då det utfördes både fin- samt grovbearbetning har det varit nödvändigt att ta hänsyn till de båda processerna, eftersom det har visat sig vara skillnad kring energiförbrukningen. Därför delas beräkningarna för detta upp nedan.

Finbearbetning

Den fina bearbetningen sker i två omgångar vid GKN, varav den första pågår i 8,5 timmar och den andra i 1 timme. Enligt företagets egna uppmätta värden drar maskinen runt 17,247kW. Dessa värden ger följande beräkningar:

1:a gången.

$$8,5h \times 17,247kW = 146,6kWh = 527,76MJ$$

2:a gången.

$$1h \times 17,247kW = 17,247kWh = 62,089MJ$$

Grovbearbetning

Den grova bearbetningen sker endast en gång och pågår i 11,5 timmar enligt operationslistan och enligt företagets egna uppmätta värden, bör maskinen dra runt 16,917kW. Denna information ger beräkningen:

$$11,5h \times 16,917kW = 194,55kWh = 700,38MJ$$

4.1.6 Dragdriftning

Vid dragdriftning har egna mätningar gjorts på GKN:s egna maskiner, vilket uppskattades till 11kW (Maintenance Engineer, Personlig kommunikation, 4 april, 2023). Enligt operationslistan för komponenten utförs arbetet i 0,6h och ger följande beräkning:

$$11kW \times 0,6h = 6,6kWh = 23,76MJ$$

4.1.7 Manuell Gradning

Vid den manuella gradningen används i störst del sandpapper och analoga verktyg som inte kräver någon energi vid användning. Utöver detta används två verktyg som kräver tryckluft för just denna komponent. Denna process ser olika ut för varje enskild komponent och därmed bör alla verktyg som används för manuell gradning tas i beaktning på nytt, vid utförande av nya livscykelanalyser.

Det första energikonsumerande verktyget används för att vaxa verktyget och är av märket Bimax som drar 260W med 45 000r/min i ca 1h (Certified Operator, Personlig kommunikation, 5 april, 2023). Dess energikonsumtion räknades ut genom följande:

$$260W \times 1h = 260Wh = 0,26kWh = 0,94MJ$$

Den andra faktorn som kräver energi är ett fint slipningsverktyg som också är av märket Biax, och drar 80W med 100 000r/min i ca 30min (Certified Operator, Personlig kommunikation, 5 april, 2023). Energikonsumtionen räknades ut till följande:

$$80W \times 0,5h = 40Wh = 0,04kWh = 0,14MJ$$

4.1.8 Betning

Vid insamlandet av data för betningsprocessen framkom det att den inte har någon energiförbrukning, då komponenterna sänks ned i syrabad med rumstemperatur. Däremot krävs en hel del kemikalier för processen som senare kommer att analyseras i kapitel 5.2 ”Analys av kemikalier”

4.1.9 Eletsning

Eletsning är en process som innehåller flera moment som radas upp nedan ordnat efter utförande:

- Allokering rengöring (77 grader, lock)
- Rengöring (rumstemp)
- Aktiveringsbad (rumstemp)
- Rengöring
- Högtryckstvätt
- Anodiseringsbad (25 grader)
- Etsbad (rumstemp)
- Rengöring
- Hett joniserat vatten (77 grader, lock)

För anodiseringsbadet används elektricitet vid två tillfällen. Under det första försöket används 4000 ampere och 30 volt i cirka 13 sekunder. För den andra omgången används 50 ampere och 30 volt under 13 sekunder.

Detta ger en effekt enligt följande ekvation:

$$\text{Försök 1} = 4000A \times 30V \times 0,0036h = 432Wh = 0,432kWh = 1,56MJ$$

$$\text{Försök 2} = 50A \times 30V \times 0,0036h = 5,4Wh = 0,0054kWh = 0,02MJ$$

Många av de olika baden har rumstemp och behöver därmed inte värmas upp, men för några av baden behöver en viss temperatur bibehållas, vilket innebär att det krävs energi för att hålla temperaturen stabil. För att få fram energiåtgången gjordes följande förenklade beräkningar, baserat på att värmeöverföringskoefficient för luft är 2,5–25 W/m²/K (Balmer m.fl., 2020), att den ursprungliga temperaturen är 18 grader och att kontaktytan är 4m². Badet är igång dygnet runt, drivs av el och det går totalt igenom 70 produkter på en månad (Senior Manufacturing Engineer-Mtrls&Proc, Personlig kommunikation, 13 mars, 2023).

Enligt Newtons avsvlningslag är:

$$Q = h \times A \times (T - T_0)$$

De 77 gradiga baden har lock vilket leder till antagandet att värmeöverföringskoefficient är relativt lågt och därmed satts till 5 W/m²/K. Den Totala energiåtgången räknas därmed ut genom:

$$Q = 5W/m^2/K \times 4m^2 \times (77^\circ C - 18^\circ C) = 1180W = 4,248MJ/h$$

$$\rightarrow E = \frac{4,248MJ}{h} \times 24h \times \frac{30}{70} = 44MJ/komponent$$

Det 25 gradiga badet har inget lock vilket innebär att värmeöverföringskoefficient bör vara högre och har satts till 10 W/m²/K. Därefter räknades den totala energiåtgången ut på samma sätt enligt följande:

$$Q = 10W/m^2/K \times 4m^2 \times (25^\circ C - 18^\circ C) = 280W = 1,008MJ/h$$

$$\rightarrow E = \frac{1,008MJ}{h} \times 24h \times \frac{30}{70} = 10MJ/komponent$$

4.1.10 Plasmasprutning

Vid plasmasprutningen krävs det ström för att värma upp materialet med parametrarna 550 ampere, 75 volt och med en verkningstid på 15 min (Principal Engineer-Materials & Processes (2), Personlig kommunikation, 20 mars, 2023), vilket leder till följande beräkningar:

$$E = 550A \times 75V \times 0,25h = 10\,313Wh = 10,313kWh = 37,13MJ$$

Utöver elektricitet krävs det också en hel del argon. Vid plasmasprutningen används 38,1 liter per minut (Principal Engineer-Materials & Processes (2), Personlig kommunikation, 20 mars, 2023) och gasen används under hela processen som ger följande mängd:

$$\text{Mängd Argon} = 38,1l/\text{min} \times 15\text{min} = 571,5\text{liter} = 796,4kg$$

Då programmet Gabi endast har data tillgänglig för framställningen av argon i Tyskland har en optimering utförts genom att framställningen går igenom en kalkyl som omvandlar energiåtgången för tysk el till svensk. Datan som har använts är hämtat ifrån Gabi där tysk elektricitets mix har ett utsläpp på 0,144kg CO₂/MJ i jämförelse med svensk elektricitets mix som är 0,003kg CO₂/MJ. Den mängd tysk argon som motsvarar 796,4kg svenskt argon, räknas därmed ut genom:

$$0,144kg\ CO_2/MJ \times \alpha = 796,4kg \rightarrow \alpha = 5531$$

$$\rightarrow 0,003kg\ CO_2/MJ \times 5531 = 16,6kg$$

Argonet transporteras också med lastbil ifrån Surahammar till GKN, vilket också tas med som indata.

4.1.11 Våtblästring

Då det inte fanns någon data kring våtblästring tillgänglig på företaget, behövde den genereras på annat vis. Efter att en marknadsundersökning hade utförts hittades en produktspecifikation för den maskin som används på GKN. Enligt specifikationen drar maskinen 5,5kW (Riley Industries LTD, u.å.) och enligt GKN:s egna operationslista pågår processen i 0,4h, vilket ger följande beräkning:

$$E = 5,5kW \times 0,4h = 2,2kWh = 7,92MJ$$

4.1.12 Transport

De transportsträckor som har använts som input är kartlagda utifrån vart de olika processerna är stationerade (Global Commodity Buyer, Personlig kommunikation, 2023, 17 mars).

Sträckorna har sedan tagit fram med hjälp av programmet distance (<https://www.distance.to/>) som räknar ut avstånd mellan olika adresser. För lastbilstransport har bilvägssträckan använts då det är troligast att den sträckan körs, medan fågelvägen har använts som antagande för flygsträckor och båt, då det är svårare att anta dessa vägsträckor. Vid bränsleförbrukningen för transport har det antagits att bränslet kommer ifrån samma område som där transporten har utförts. Förbrukningen är kalkylerad av programmet Gabi och är baserad på de vägsträckor som använts som input.

Då kunden inte alltid är detsamma varierar transportsträckan vid leverans till kund. De olika länderna som köper in motorn är: Sydafrika (Makhado), Thailand (Surat Thani), Ungern (Kecskemét), Tjeckien (Caslav) och Sverige (Såtenäs, Luleå, Kallinge, Linköping). För att få perspektiv kring hur olika miljöpåverkan kan variera beroende på kund, har två livscykelanalyser utfört för den kunden med längst respektive minst transportsträcka. I detta fall visade det sig vara Sydafrika till staden Makhado samt Såtenäs.

Inom GKN fraktas de olika delarna med hjälp av dragtruck, enligt den tekniska specifikationen för trucken som tagits del av för detta arbete, dras den med hjälp av två elektriska motorer som drar 10kWh/h vardera. Enligt samma specifikation är maxhastigheten 25km/h för denna truck, vilket har lett till antagandet att medelhastigheten ligger på 12,5km/h. Den totala körsträckan beräknas vara 2,9km och är baserad på positionerna för de olika verkstäderna som utför processerna på komponenten. Datan som tagits fram ovan ger följande beräkning:

$$\frac{2,9\text{km}}{12,5\text{km/h}} = 0,232\text{h}$$

$$\rightarrow 20\text{kWh/h} \times 0,232\text{h} = 4,64\text{kWh} = 16,7\text{MJ}$$

4.1.13 Återvinning

Vid återvinning av spill så användes energiförbrukning för jungfruligt material enligt Granta Selector då en viss andel av det behövs vid framställning av nytt material. Denna energiåtgång låg på 558,5MJ/kg enligt Granta Selector och återvinningsgraden är ca 60 procent.

Energiförbrukningen för återvinning av titan 17 är 71,55MJ/kg enligt Granta Selector. För denna komponent så återvinns allt spill för den egna produktionen vid GKN (Senior Manufacturing Engineer-Prod.&Plan, Personlig kommunikation, 22 februari, 2023).

Bräkningarna för återvinning av spill har utförts av programmet Gabi med hjälp av datan som presenterats.

4.2 In- och utgående data

I den sammanfattande tabell 2 nedan redovisas den data som har tagits fram under inventeringsanalysen. Datan är tagen ifrån beräkningarna ovan tillsammans med programmets egna kalkyler.

Tabell 2

Sammanställning av inventeringsanalys

Aktivitet	Livscykel-stadie	Källa	Input	Output
Transport båt malm, Gruva (Kina) → Port of Charleston (USA)	Transport	Antaganden	12 460km Massa av komponent (varierar beroende på livscykel-stadie) (Övrig input beräknad av Gabi)	Titan råmaterial 53,5kg (övrigt kalkylerat av Gabi)
Transport Lastbil malm, Port of Charleston (South Carolina) → ATI fabrik (North Carolina) Alloy Way, Monroe, NC 28110, USA	Transport	Antaganden	259,24km Massa av komponent (varierar beroende på livscykel-stadie) (Övrig input beräknad av Gabi)	Titan råmaterial 53,5kg (övrigt kalkylerat av Gabi)
Titanium 17, near-beta alloy, Ti-5Al-2Sn-4Mo-2Zn-4Cr (Ti-17)	Framställning av material	Ansys Selector	Titan råmaterial 53,5kg 13 776,25MJ	Ti-17 legering 53,5kg
Värmebehandling - Titanium 17 alloy	Tillverkning vid leverantör	ATI, beräkningar, antaganden	Ti-17 legering 53,5kg 530,64MJ + 505,98MJ	Titan smide 53,5kg
Konvertering – Billets, Ti17	Tillverkning vid leverantör	Ansys Selector antaganden	Titan smide 53,5kg 861,35MJ	Titan smide 53,5kg
Transport Lastbil billet, ATI fabrik (North Carolina) Alloy Way, Monroe, NC 28110, USA → Wyman Gordons fabrik (Houston) 10825 Telge Road Houston, TX 77095 (281) 856-9900	Transport	Antaganden	1 737,1km Massa av komponent (varierar beroende på livscykel-stadie) (Övrig input beräknad av Gabi)	Titan smide 53,5kg (övrigt kalkylerat av Gabi)
Grovsvarvning – Ultraljudsform, Ti17	Tillverkning vid leverantör	Ansys Selector, Antaganden	Titan smide 53,5kg 32,9MJ	Titan smide 42kg -11,5kg spill

Aktivitet	Livscykel-stadie	Källa	Input	Output
Transport lastbil Smide, Wyman Gordons fabrik (Houston) 10825 Telge Road Houston, TX 77095 (281) 856-9900 → Flygplats George Bush Intercontinental Airport	Transport	Antaganden, Beräkning av Gabi	40,27km (bilväg) Massa av komponent (varierar beroende på livscykel-stadie) (Övrig input beräknad av Gabi)	Titan smide 42kg (övrigt kalkylerat av Gabi)
Transport flyg smide (USA, Houston) → (Sverige, Landvetter)	Transport	Antaganden, Beräkning av Gabi	8 168km (fågelväg) Massa av komponent (varierar beroende på livscykel-stadie) (Övrig input beräknad av Gabi)	Titan smide 42kg (övrigt kalkylerat av Gabi)
Transport lastbil smide (Sverige, Landvetter) → GKN (Sverige, Trollhättan)	Transport	Antaganden, Beräkning av Gabi	99,93km (bilväg) Massa av komponent (varierar beroende på livscykel-stadie) (Övrig input beräknad av Gabi)	Titan smide 42kg (övrigt kalkylerat av Gabi)
Numerisk styrd svarvning (fint)	Tillverkning vid GKN	Data ifrån GKN	Titan smide 42kg 527,76MJ + 62,089MJ	Titan smide 11,6kg -30,4kg spill
Numerisk styrd svarvning (grovt)	Tillverkning vid GKN	Data ifrån GKN	Titan smide 11,6kg 700,38MJ	Titan smide 10,9kg -0,7kg spill
Dragdriftning	Tillverkning vid GKN	Data ifrån GKN	Titan smide 10,9kg 23,76MJ	Titan smide 9,5kg -1,4kg spill
Gradning (manuell)	Tillverkning vid GKN	Data ifrån leverantör, Beräkningar	Titan smide 9,5kg 0,94MJ+ 0,14MJ	Titan smide 9,5kg
Eletsning	Tillverkning vid GKN	Data ifrån GKN, Beräkningar	Titan smide 9,5kg 1,56MJ + 0,02MJ + 44MJ + 10MJ	Titan smide 9,5kg

Aktivitet	Livscykel-stadie	Källa	Input	Output
Plasmasprutning	Tillverkning vid GKN	Data ifrån GKN, Beräkningar, Gabi	Titan smide 9,5kg 37,13MJ 796,4kg Argon (16,6kg tyskt argon se kapitel 4.1.10 ovan)	Titan smide 9,5kg
Transport lastbil argon, (Sverige, GKN → Sverige, Surahammar)	Tillverkning vid GKN	Data ifrån GKN, antaganden	308km (bilväg) (Transport av argon input beräknad av Gabi)	(övrigt kalkylerat av Gabi)
Våtblästring	Tillverkning vid GKN	Data ifrån leverantör	Titan smide 9,5kg 7,92MJ	Titan smide 9,5kg
Transport Lastbil, Argon (Surhammar) → (Trollhättan, GKN)	Transport	Antaganden	308km Massa av komponent (varierar beroende på livscykel-stadie) (Övrig input beräknad av Gabi)	Titan smide 9,5kg (övrigt kalkylerat av Gabi)
Transport dragtruck (inom GKN mellan stationer)	Transport	Data ifrån leverantör, Antaganden, Beräkningar	2,9km 16,7 MJ	Titan smide 9,5kg
Alternativ 1: Transport Lastbil ”Spole 1 & 2” (Trollhättan, GKN) → (Landvetter)	Transport	Antaganden	99,93km (bilväg) Massa av komponent (varierar beroende på livscykel-stadie) (Övrig input beräknad av Gabi)	Titan smide 9,5kg (övrigt kalkylerat av Gabi)
Alternativ 1: Transport Flygplan (landvetter) ”Spole 1 & 2” → Kruger-Mpumalanga-flygplats (Sydafrika)	Transport	Antaganden	9400km (fågelväg) Massa av komponent (varierar beroende på livscykel-stadie) (Övrig input beräknad av Gabi)	Titan smide 9,5kg (övrigt kalkylerat av Gabi)

Aktivitet	Livscykel- stadie	Källa	Input	Output
Alternativ 1: Transport Lastbil ”Spole 1 & 2” (Kruger-Mpumalanga flygplats) → Kund (Makhado)	Transport	Antaganden	293km (bilväg) Massa av komponent (varierar beroende på livscykel-stadie) (Övrig input beräknad av Gabi)	Titan smide 9,5kg (övrigt kalkylerat av Gabi)
Alternativ 2: Transport Lastbil, ”Spole 1 & 2” (GKN Trollhättan) → Kund (Såtenäs)	Transport	Antaganden	37km (bilväg) Massa av komponent (varierar beroende på livscykel-stadie) (Övrig input beräknad av Gabi)	Titan smide 9,5kg (övrigt kalkylerat av Gabi)
Återvinning av spill	Återvinning	Antaganden	44kg spill -26,4kg (60% återvinningsgrad)	

5. Resultat

I resultatet redovisas miljöpåverkan utifrån GWP och PED. Detta görs i både tabell och diagramform. Andelen påverkan av de olika huvudkategorierna redovisas också tillsammans med en fördjupning i GKN:s egen produktion. Det tas även upp hur stor påverkan som varje process i den egna produktionen har per timme. Slutligen redovisas även en analys av de kemikalier som ingår i produktsystemet.

5.1 Miljöpåverkansbedömning

Vid miljöpåverkansbedömningen analyseras den data som samlats in under inventeringsanalysen. För att kalkylera miljöpåverkan har programvaran Gabi även i detta fall använts. Programmet kan generera olika viktningar beroende på vilken klassificering som efterfrågas. Fördelen med programmet är att karaktäringeringen sköts av sig själv, vilket innebär att det endast krävs in- och utflöden för att ta fram data för olika klassificeringar. I detta fall har miljöpåverkan utvärderat genom koldioxidekvivalenter eller GWP som det också kallas, vilket är en vanlig faktor att utgå ifrån vid livscykelanalyser. Koldioxidekvivalenter är en enhet som används för att översätta miljöpåverkan från olika växthusgaser sett ur koldioxid (Naturvårdsverket, u.å.a.). Den andra faktorn som har analyserats är PED, där enheten mäts i MJ. Vid utvärdering av PED analyseras istället hur stor energi som krävs under livscykeln. Anledningen till att en sådan analys har utförts är baserat på att det ligger i GKN:s intresse, då energikonsumtion är mer familjärt för de som jobbar i produktionen jämfört med

koldioxidekvivalenter. Miljöpåverkansbedömningen hoppas med hjälp av detta bli mer lättfattlig.

5.1.1 GWP (100år)

I tabell 3 nedan redovisas den totala miljöpåverkan genom koldioxidekvivalenter sett ur ett 100 års perspektiv. De olika processerna har delats in i följande sex huvudkategorier: Framställning av material, Transport innan GKN, Produktion innan GKN, Produktion vid GKN, Transport vid/från GKN, Återvinning. Som tidigare nämnts har analysen delats upp i två alternativ där det första representerar data för leverans till kund i Sydafrika, och det andra för leverans till kund i Sätenäs. Den totala påverkan varierar mellan 1470-1520kg CO₂ eq beroende på vem som är kund.

Tabell 3

Sammanställning av GWP

	Faktor	GWP [kg CO ₂ eq]	Kommentar
	Total Påverkan – Alternativ 1	1520	Se tabell 2 ovan för in- och output för alternativ 1.
	Total Påverkan – Alternativ 2	1470	Se tabell 2 ovan för in- och output för alternativ 2.
	Framställning av material (Ti17)	1800	
Totalt:		1800	
Transport innan GKN	Flygtransport, US → SE - Kerosene	187,5	Inkluderar påverkan från bränslet
	Lastbilstransport, US – Diesel	8,49	Inkluderar påverkan från bränslet
	Båttransport, Kina → US	3,871	Inkluderar påverkan från bränslet
	Lastbilstransport, SE – Diesel	0,3927	Inkluderar påverkan från bränslet
Totalt:		200,3	
Produktion innan GKN	Värmebehandling – Naturgas	113	
	Konvertering -Naturgas	113	
	Grovsvarvning - Naturgas	4,32	

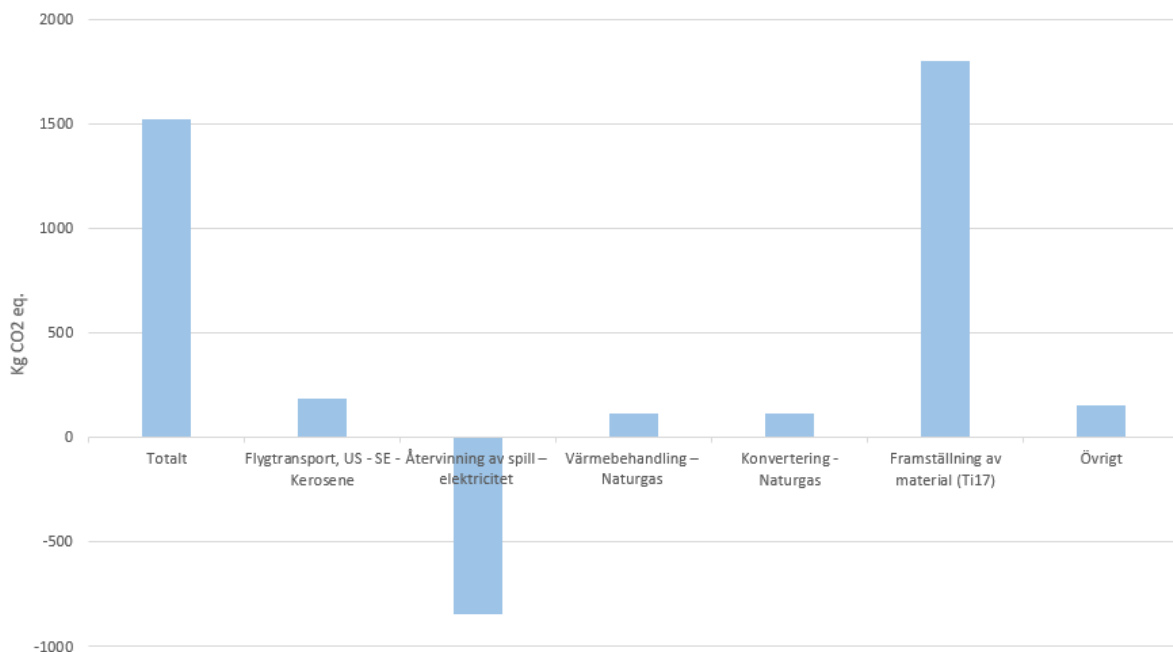
Totalt:		230,3	
Produktion vid GKN	Plasmasprutning – argon	33,4	Inkluderar framställning och transport av argon
	Numeriskt styrd svarvning (grovt) – elektricitet	8,14	
	Numeriskt styrd svarvning (fint) – elektricitet	6,85	
	Eletsning – elektricitet	0,646	
	Plasmasprutning – elektricitet	0,431	
	Dragdriftning – elektricitet	0,276	
	Våtblästring – elektricitet	0,092	
	Manuell gradning – elektricitet	0,0126	
Totalt:		49,8	
Transport vid/från GKN	Dragtruck – elektricitet	0,194	
	Alternativ 1: Flygtransport, SE → RSA – Kerosene	48,47	Se tabell 2 ovan för in- och output för alternativ 1.
	Alternativ 1: Lastbilstransport, RSA (Kruger-Mpumalanga-flygplats) → RSA (Makhado) – Diesel	0,2595	Se tabell 2 ovan för in- och output för alternativ 1.
	Alternativ 1: Lastbilstransport, SE (GKN, Trollhättan) → SE (Flygplats, Landvetter) – Diesel	0,091	Se tabell 2 ovan för in- och output för alternativ 1.
	Alternativ 2: Lastbilstransport, SE (GKN, Trollhättan) → (Flygvapnets flottlinje F7, Sätenäs) – Diesel	0,03363	Se tabell 2 ovan för in- och output för alternativ 2.
Totalt:		Alternativ 1 - 49 Alternativ 2 - 0,2	
Återvinning	Återvinning av spill – elektricitet	-810,4	Inkluderar framställning av råmaterial. Observera negativt tecken, vilket innebär positiv miljöpåverkan.
Totalt:		-810,4	

I figur 13 och 14 nedan redovisas miljöpåverkan ifrån GWP med utgång ifrån de olika processerna, värt att ta i beaktning är att kategorin ”återvinning” har en negativ påverkan. Vid

jämförelse av de båda diagrammen framgår det att de olika alternativen inte har någon större påverkan av de faktorer som har störst GWP. Den process som har högst påverkan är överlägset framställningen av material (1800 kg CO₂ eq) följt av flygtransporten mellan USA och Sverige (187,5 kg CO₂ eq). Därefter kommer värmebehandlingen och konverteringen som båda har lika stor påverkan (113 kg CO₂ eq). Alla dessa processer sker innan produktionen vid GKN. Återvinning är den näst största faktorn om det inte tas hänsyn till att den är negativ (-810,4 kg CO₂ eq), och är den enda av de fem största faktorerna som utförs hos GKN.

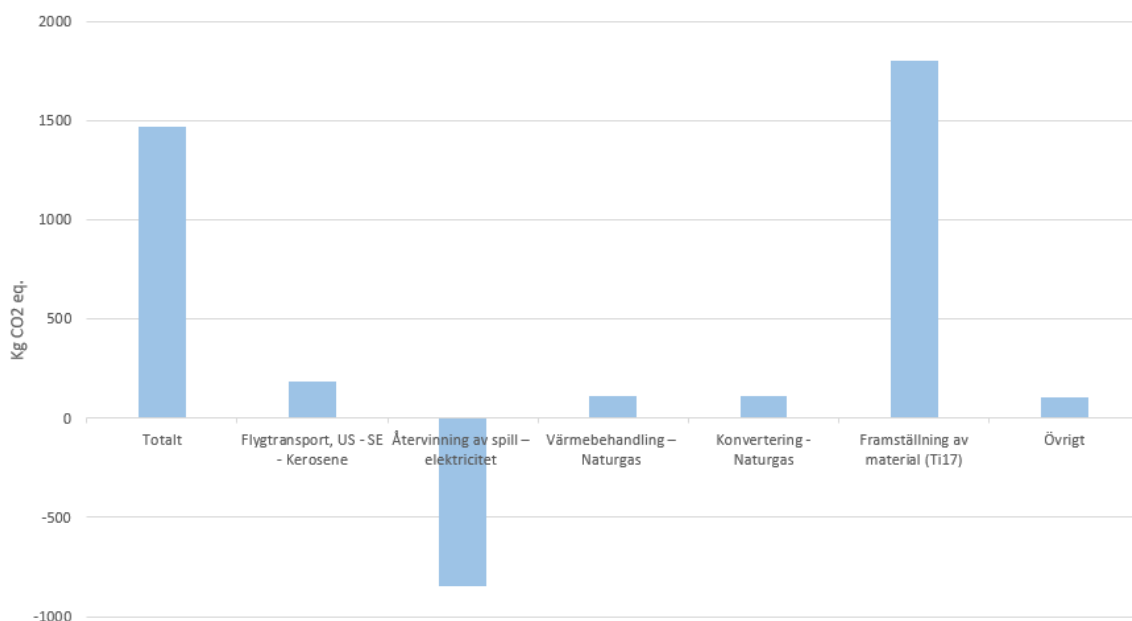
Figur 13

Diagram för GWP – alternativ 1



Figur 14

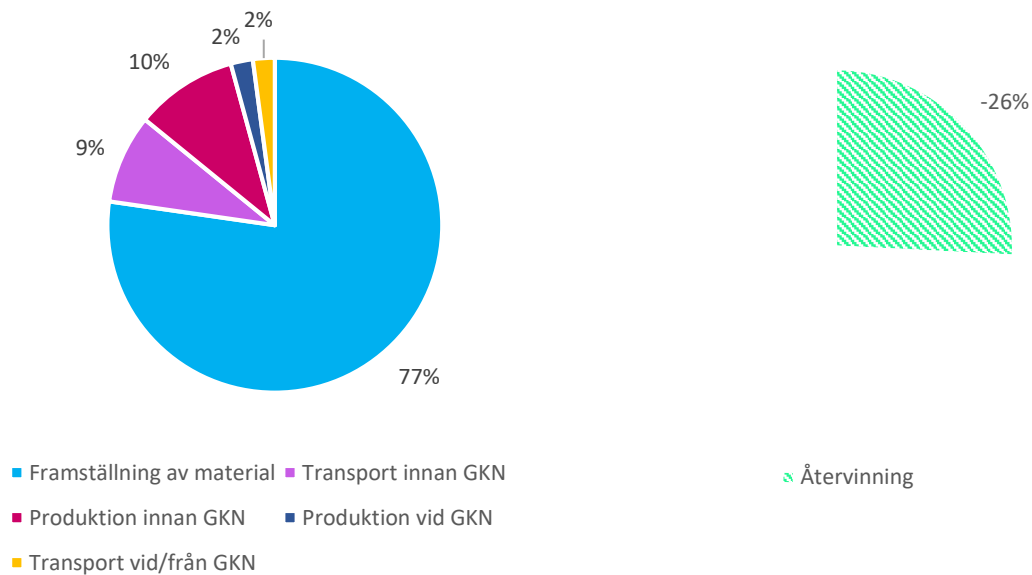
Diagram för GWP – alternativ 2



I figur 15 och 16 nedan redovisas miljöpåverkan ifrån GWP utifrån de olika huvudkategorierna, värt att ta i beaktning är att kategorin ”återvinning” har en negativ påverkan. Det framgår tydligt att materialframställningen är den faktor som har störst påverkan (77-79 %). Det går även att utläsa hur återvinningsprocessen har en tydlig positiv påverkan genom livsrykeln, då den minskar med över en fjärdedel av totalen (-26 %). Vid jämförelse av de båda diagrammen framgår det att ”transport vid/från GKN” kan variera mellan 0 % till 2 % beroende på vilken kund som komponenten levereras till. Genom utläsning av figur 15 och 16 framgår det även att både produktionen (10 %) och transporten (9 %) som sker innan GKN är högre än produktionen (2 %) och transporter (0-2 %) som sker vid företaget.

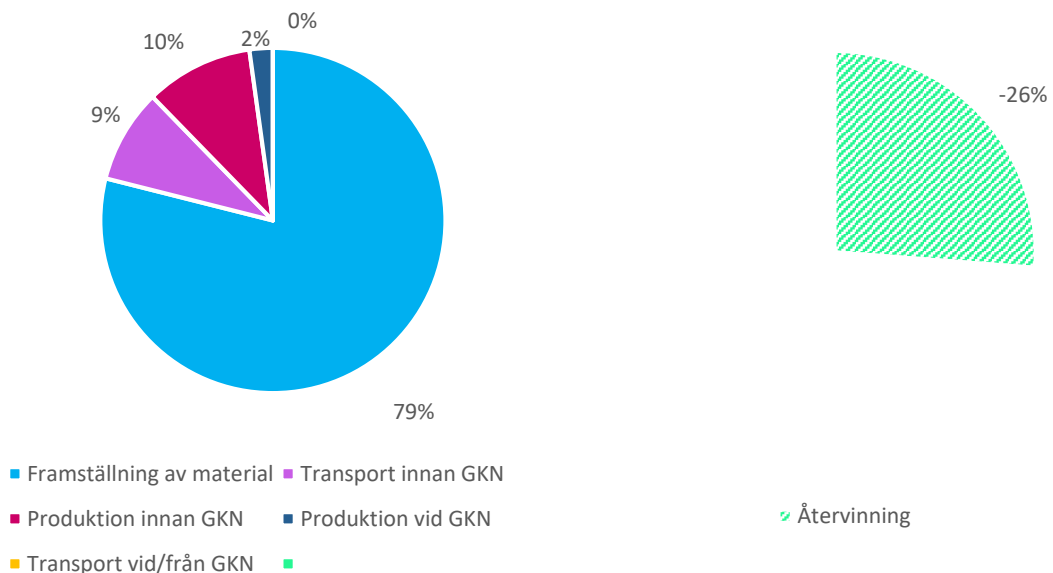
Figur 15

Cirkeldiagram för GWP, huvudkategorier – Alternativ 1



Figur 16

Cirkeldiagram för GWP, huvudkategorier – Alternativ 2

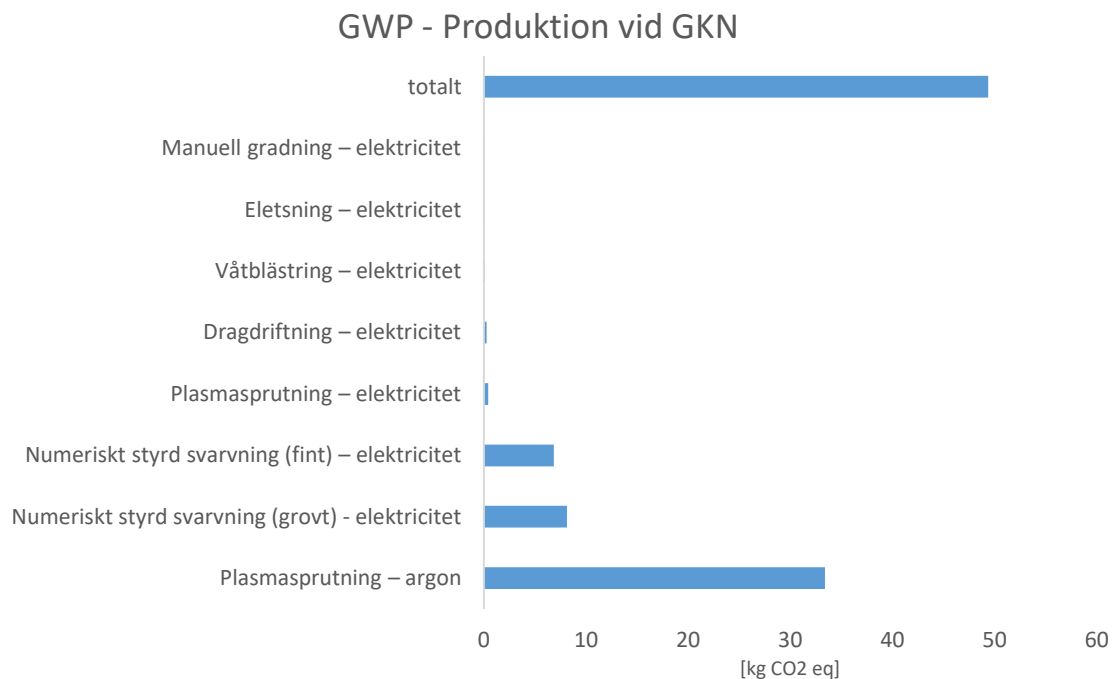


5.1.2 GWP – Produktion vid GKN

Då GKN har som störst kontroll över sin egen produktion har en närmare analys utförts kring kategorin ”produktion vid GKN”, vilket redovisas i figur 17 nedan. Ifrån detta går det att utläsa hur en process har överlägset störst miljöpåverkan och står för över 67 % av totalen. Detta är argonförbrukningen vid plasmaspjutningen. Denna process är mycket kort och utförs under 15 minuter, vilket innebär att GWP blir relativt låg sett ur dess elförbrukning vid jämförelse av de andra processerna, detta till trots att processen är ganska energikrävande. Däremot används det stora mängder argon som har visat sig ha stor påverkan översatt till koldioxidekvivalenter. De andra processerna med stor påverkan är numerisk styrd svarvning, både vid fin- och grovbearbetning. Detta beror troligtvis på att processen utförs under lång tid, då energiförbrukningen av maskinerna inte visat sig vara relativt hög. Övriga processer visar sig ha minimal påverkan vid en relativ jämförelse.

Figur 17

Diagram för GWP – produktion vid GKN



5.1.3 GWP/h

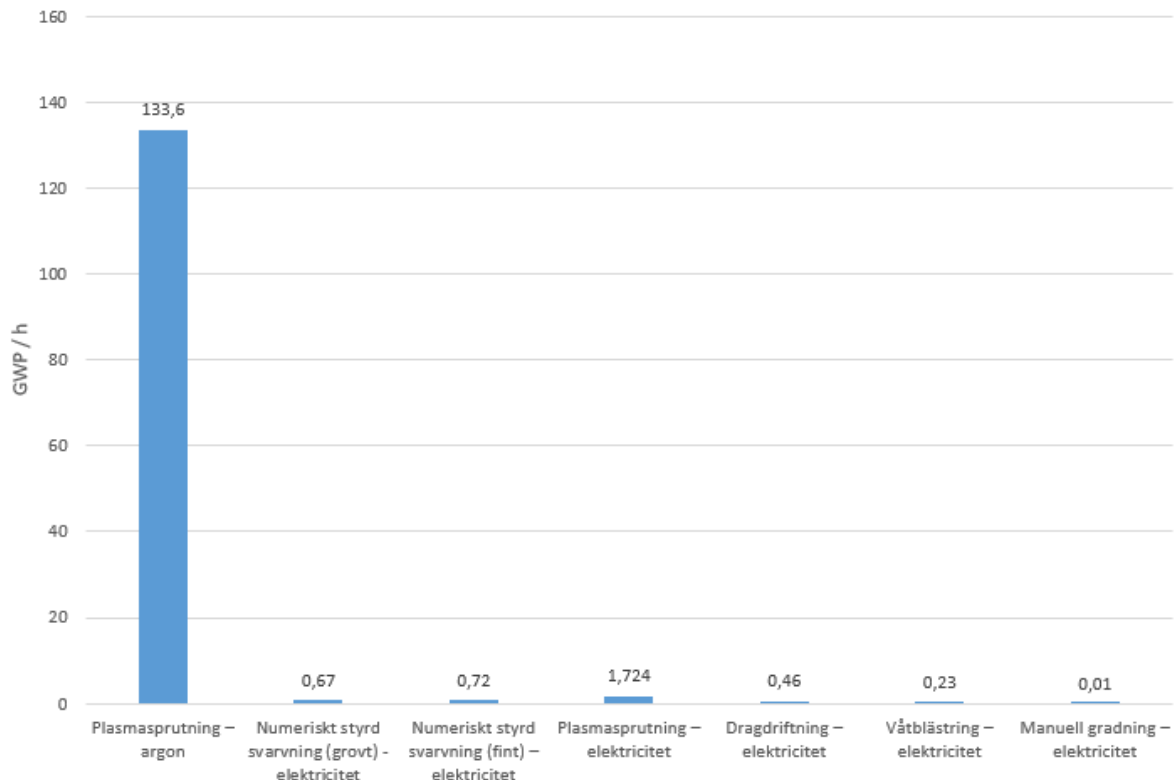
Då operationstiden varierar mycket för de olika processerna på GKN, har ett diagram över GWP/h tagits fram enligt figur 18 nedan. Detta för att få en bättre bild över hur påverkan kan variera beroende på under hur lång tid som processen pågår. Vid beräkning av GWP/h har inte eletsning tagits i beaktning då dess påverkan är baserad på per komponent och inte i timmar som de andra processerna.

Det framgår att argonanvändningen är det som påverkar absolut mest per timme sett ur GWP. Faktum är att den drar mer än 30 gånger så mycket som de andra processerna tillsammans gör per timme. Elförbrukningen ifrån plasmaspjutningen är den faktor som dessutom har näst störst påverkan, vilket innebär att plasmaspjutningen står för de två faktorer med störst

påverkan per timme. Ifrån figur 18 nedan framgår det att svarvningen har näst störst påverkan efter de båda plasmasprutningsfaktorerna, varav finbearbetningen har större påverkan per timme än grovbearbetningen. Men i det slutliga är ändå den totala påverkan ifrån grovbearbetningen större än finbearbetningen, då processen utförs under längre tid (se figur 17). Efter svarvningen kommer dragdriftningen, efterföljt av våtblästring och manuell gradning.

Figur 18

Diagram för GWP/h – produktion vid GKN



5.1.4 PED

I tabell 4 nedan redovisas den energiförbrukning som krävs för de olika faktorerna. Precis som vid GWP har processerna delats in i samma sex huvudkategorier: Framställning av material, Transport innan GKN, Produktion innan GKN, Produktion vid GKN, Transport vid/från GKN, Återvinning. Baserat på de alternativ som nämnts ovan varierar den totala PED mellan 56 500 - 57 188MJ, beroende på hur långt komponenten ska transporteras för leverans till kund.

Tabell 4

Sammanställning av PED

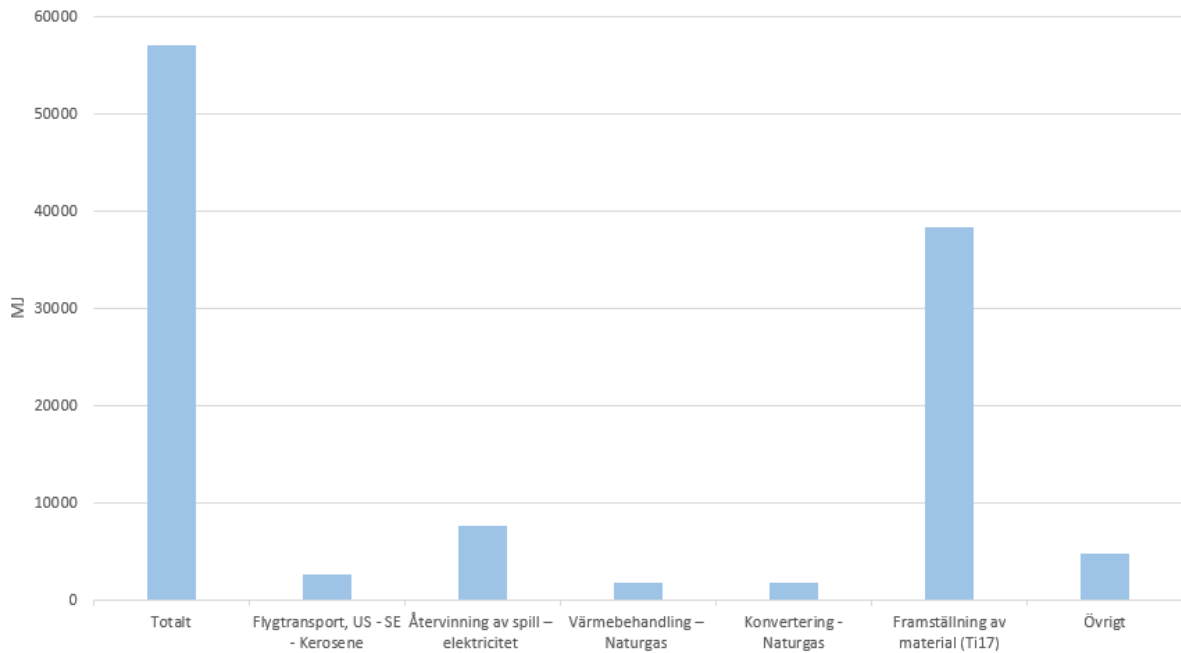
	Faktor	PED [MJ]	Kommentar
	Total Påverkan – Alternativ 1	57 188	Se tabell 2 ovan för in- och output för alternativ 1.
	Total Påverkan – Alternativ 2	56 500	Se tabell 2 ovan för in- och output för alternativ 2.
	Framställning av material (Ti17)	38 400	
Totalt:		38 400	
Transport innan GKN	Flygtransport, US → SE - Kerosene	2690	Inkluderar påverkan från bränslet
	Lastbilstransport, US – Diesel	127	Inkluderar påverkan från bränslet
	Båttransport, Kina → US	50,1	Inkluderar påverkan från bränslet
	Lastbilstransport, SE – Diesel	5,84	Inkluderar påverkan från bränslet
Totalt:		2872,9	
Produktion innan GKN	Värmebehandling – Naturgas	1750	
	Konvertering -Naturgas	1750	
	Grovsvarvning - Naturgas	66,8	
Totalt:		3566,8	
Produktion vid GKN	Numeriskt styrd svarvning (grovt) - elektricitet	1690	
	Numeriskt styrd svarvning (fint) – elektricitet	1420	
	Plasmasprutning – argon	620	Inkluderar framställning och transport av argon
	Eletsning – elektricitet	134	
	Plasmasprutning – elektricitet	89,7	

	Dragdriftning – elektricitet	57,4	
	Våtblästring – elektricitet	19,1	
	Manuell gradning – elektricitet	2,61	
Totalt:		4032,8	
Transport vid/från GKN	Dragtruck – elektricitet	40,3	
	Alternativ 1: Flygtransport, SE → RSA – Kerosene	670	Se tabell 2 ovan för in- och output för alternativ 1.
	Alternativ 1: Lastbilstransport, RSA (Kruger-Mpumalanga-flygplats) → RSA (Makhado) – Diesel	3,9	Se tabell 2 ovan för in- och output för alternativ 1.
	Alternativ 1: Lastbilstransport, SE (GKN, Trollhättan) → SE (Flygplats, Landvetter) – Diesel	1,35	Se tabell 2 ovan för in- och output för alternativ 1.
	Alternativ 2: Lastbilstransport, SE (GKN, Trollhättan) → (Flygvapnets flottlinje F7, Såtenäs) – Diesel	0,5	Se tabell 2 ovan för in- och output för alternativ 2.
Totalt:		Alternativ 1 – 715,6 Alternativ 2 – 40,8	
Återvinning	Återvinning av spill – elektricitet	7600	Inkluderar framställning av råmaterial.
Totalt:		7600	

I figur 19 och 20 nedan redovisas vilka processer som har störst PED för de båda alternativen. Även sett ur PED har framställningen av material överlägset störst påverkan (38 400MJ). Den stora skillnaden mot GWP är att återvinningsprocessen nu istället står för näst störst påverkan (7 600MJ). Detta beror på att PED endast räknar på den energi som krävs för att återvinna materialet. Störst påverkan efter återvinning är flygtransporten mellan USA och Sverige (2 690MJ), efterföljt av värmebehandlingen (1 750MJ) och konverteringen (1 750MJ), vilket efterliknar resultatet för GWP.

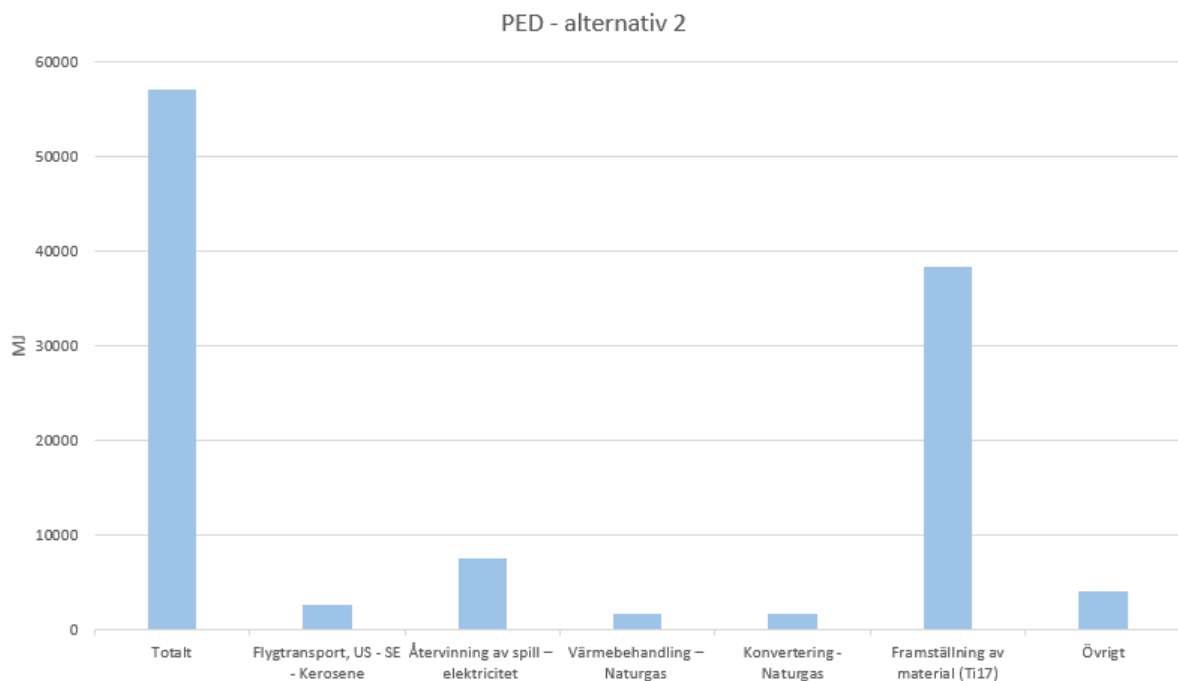
Figur 19

Diagram för PED – alternativ 1



Figur 20

Diagram för PED – alternativ 2

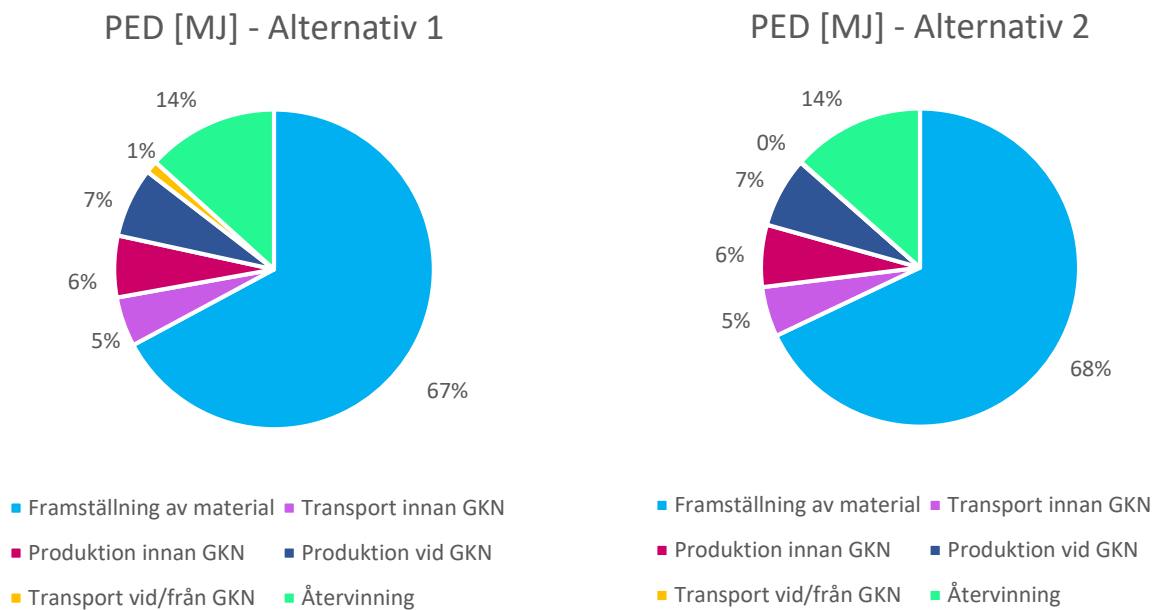


I figur 21 nedan redovisas hur stor påverkan sett ur PED som varje huvudkategori procentuellt står för. Även i dessa diagram har framställningen störst påverkan och står för 67-68 % av

totalen. Det innebär dock att den inte står för lika mycket som för GWP där andelen istället var 77-79 % (se figur 15 och 16). Återvinning står istället för en större andel på 14 % då den inte längre har en negativ påverkan. Efter återvinning har GKN störst energiåtgång, efterföljt av produktionen innan GKN, transport innan GKN och slutligen transport vid/från GKN. Detta skiljer sig ifrån resultatet av GWP där produktionen vid GKN stod för näst minst påverkan på 2 %. Sett ur PED står den istället för den tredje största andelen på 7 %.

Figur 21

Diagram för PED

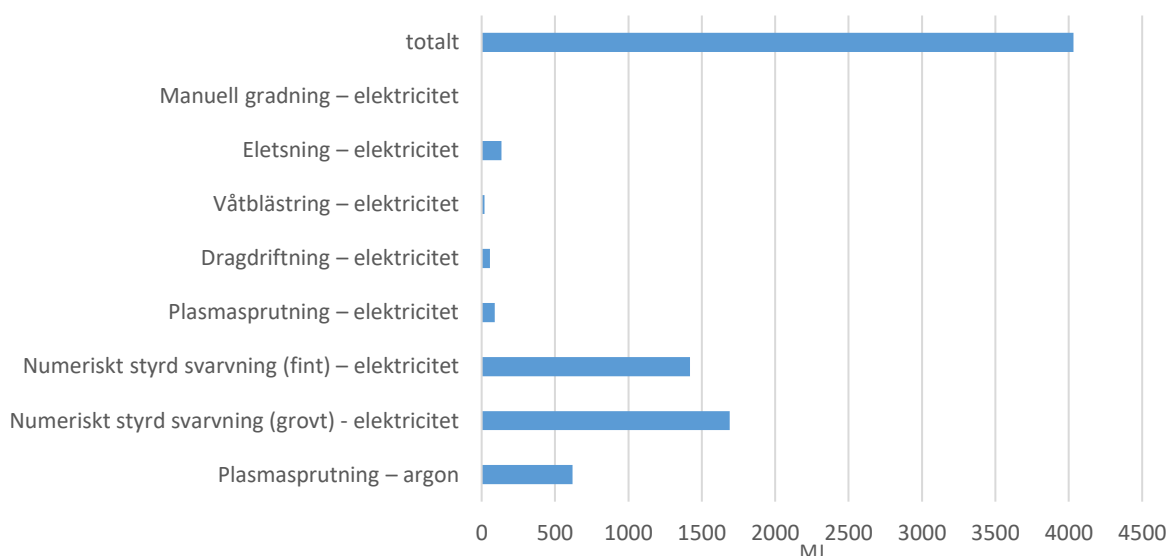


5.1.5 PED – Produktion vid GKN

I figur 22 nedan sammanställs påverkan ifrån de olika processerna för produktionen vid GKN. Argon-förbrukningen vid plasmasprutning har nu tredje störst påverkan, vilket skiljer sig från GWP där den var överlägset störst. Detta beror på att argon-förbrukningen inte har någon större energiförbrukning, vilket har stor påverkan sett ur PED. De båda processerna grovbearbetning vid numerisk styrd svarvning samt finbearbetning har nu istället större påverkan, då deras energiåtgång är relativt hög. Utöver detta skiljer sig inte resultaten för GWP och PED något större, då även övriga processer i detta fall har relativt låg påverkan av totalen.

Figur 22

Diagram för PED – produktion vid GKN



5.2 Analys av kemikalier

Den data som använts för de kemikalier som har analyserats är hämtad från chemsoft, vilket är en databas med alla GKN:s kemikalier och skyddsblad. Då operationslistan innehöll processer som betning, vilket inte kräver någon energiförbrukning utan endast består utav kemikalier i rumstemperatur. Gjordes en analys kring kemikalierna ur ett socialt hållbarhetsperspektiv, för att få en bredare bild av den totala klimatpåverkan. Kemikalierna som analyserats ingår i någon av följande bad: anodisering, allokering, rengöring, aktivering, etsning och betning. Observera att rengöringsbadet ingår i eletsningsprocessen, då de övriga rengöringsprocesserna har avgränsats ur arbetet.

Vid tillverkningen av Spole 1 & 2 används en mängd olika kemikalier som efter sin användning går till förbränning med energiåtervinning (Site Environmental Lead, personlig kommunikation, 16 maj, 2023). Dessa kemikalier klassas som farligt avfall, vilket innebär att de inte får spridas då det riskerar att skada människor, djur och natur. Enligt tabell 5 nedan klassas majoriteten av de kemikalier som används med minst ett faropiktogram. Totalt klassas kemikalierna med fyra olika faropiktogram, varva dessa var: akut giftig, skadlig, allvarlig hälsofara och frätande.

När en kemikalie klassas som ”akut giftig” betyder det att den är giftig och i värsta fall dödlig. Därför används symbolen ”dödskalle” då användning på fel sätt kan leda till sjukdom eller i värsta fall död (Kemikalieinspektionen [KEMI], 2023). Vid kemikalier som klassas som ”skadliga” innebär det att dessa kan ha skadliga effekter vid förtäring eller inandning, men även om den skulle beröra huden. Denna symbol används också för produkter som kan irritera huden, ögonen och luftvägarna eller orsaka hudallergi. Utöver detta kan den också varna för risken för att bli dåsig eller yr vid inandning (KEMI, 2023).

Kemikalier med symbolen för ”allvarlig hälsofara” kan vara mycket skadlig för hälsan vid felaktig användning. Detta kan exempelvis innebära att förtäring av produkten leder till




kemisk lunginflammation som kan vara dödlig. Men det skulle också kunna innebära att inandning leder till allergiska alternativt astmatiska symptom som gör det svårt att andas. Den hälsofara som varnas för behöver inte alltid heller visa sig direkt. Vissa symptom kan komma efter en viss tid, som exempelvis cancer eller infertilitet (KEMI, 2023). En kemikalie som märkts med ”frätande” innebär att den kan orsaka allvarliga skador om den kommer i kontakt med huden, ögonen eller munnen. Vid hantering av dessa kemikalier bör kroppen vara skyddad genom exempelvis skyddsglasögon eller handskar (KEMI, 2023).

Att ständigt arbeta kring dessa kemikalier utgör enligt faropiktogrammen en stor hälsorisk och det är därmed viktigt att de riktlinjer som krävs vid hanteringen av kemikalierna följs. Enligt chemsoft kräver flera utav dessa bad en viss utrustning vid hantering, några av de som nämns är: ansiktsskydd, ögonskydd, andningsskydd, skyddskläder och skyddshandskar. Att inte efterfölja dessa skydds krav kan få allvarliga konsekvenser. Etsbadet är ett utav de farligare baden då kemikalierna för det badet är de enda som klassas med ”akut giftig” (se tabell 5). Som nämndes ovan kan dessa leda till dödlig utgång vid användning på fel sett. I chemsoft beskrivs dessa kemikalier som mycket frätande och giftig vid inandning, hudkontakt eller förtäring. Betning kan också anses som en utav de farligare baden då dess kemikalier är de enda som klassats som ”allvarligt hälsofarliga” (se tabell 5), vilket innebär att de kan vara mycket skadliga för hälsan. Enligt chemsoft skulle dessa kemikalier kunna orsaka skada för det ofödda barnet, cancer eller infertilitet.

Utöver risken med att ständigt jobba runt dessa kemikalier, kan det även vara problematiskt med hanteringen av dem när de inte längre är bruksbara. På GKN skickas kemikalierna på förbränning med energiåtervinning. Vid förbränning kan flera olika miljöfarliga kemikalier bildas eller frigöras oavsiktligt. Dessa är svårnedbrytbara för miljön och kan ansamlas i levande organismer. Mycket tar reningsverken upp, men en del kemikalier kan vara svårt att rena (Sveriges vattenmiljö, 2019).

Tabell 5

Sammanställning av kemikalier och dess faropiktogram

Kemikalier	Typ av bad	Kommentar	Faropiktogram
Trinatriumfosfat	Anodisering Allokering rengöring	Irriterar huden Orsakar allvarlig ögonirritation Kan orsaka irritation i luftvägarna	
Fosforsyra	Anodiseringsbad	Frätande	
Vätemedel	Anodiseringsbad	-	-
Natriumbifluorid,	Aktiveringsbad	Frätande	

Natrium vätesulfat	Aktiveringsbad	Frätande	
Salpetersyra	Etsbad	Giftig vid inandning, hudkontakt och förtäring Starkt frätande	
Flourvätesyra	Etsbad	Giftig vid inandning, hudkontakt och förtäring Starkt frätande	
Kolofonium	Allokering rengöring	Ögonirritation Hudirritation	
Natriumhydroxid	Allokering rengöring, Betning	Irriterar huden.	
Natrium-Xylensulfonat	Allokering rengöring	Ögonirritation Hudirritation	
Natriummetasilikat	Allokering rengöring	Frätande	
Citronsyra	Betning	Orsakar allvarlig ögonirritation.	
Dietyltriäminpentaättiksyra pentanatriumsalt	Betning	Skadlig vid inandning Akut inhalationstoxicitet Misstänks kunna skada det ofödda barnet. Reproduktionstoxicitet	
Nervanid NTA 3A	Betning	Akut oral toxicitet Skadlig vid förtäring Orsakar allvarlig ögonskada Misstänks kunna orsaka cancer.	

6. Diskussion

I diskussionen tas potentiella förändringar upp, och vad dem skulle ha för inverkan på den nuvarande klimatpåverkan. Detta leder sedan till en slutsats där olika konstateranden och reflektioner diskuteras. Slutligen tas olika förslag till fortsatt arbete upp.

6.1 Potentiella förändringar

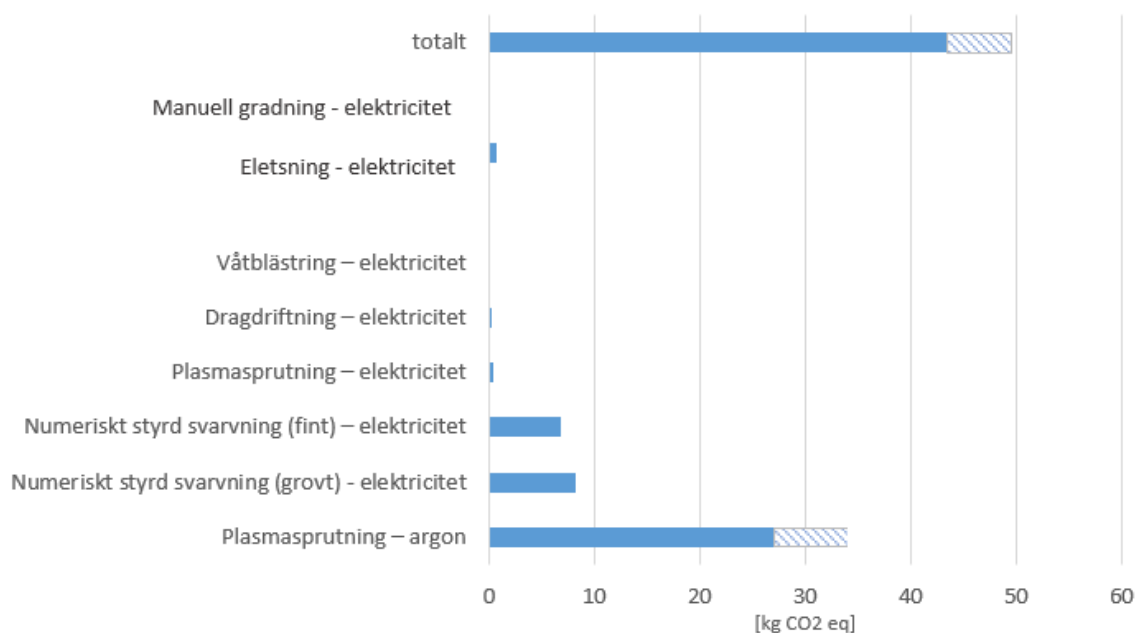
Under följande kapitel diskuteras vilka potentiella förändringar som skulle kunna ske i produktsystemet, och vad det skulle medföra. De förändringar som diskuteras är dem som förväntas göra störst skillnad på den totala påverkan, alternativt dem som vore intressanta för GKN då det handlar om deras egen produktion.

6.1.1 Byte av argons aggregationstillstånd

Vid ett eventuellt byte av argon i vätskeform till gasform skulle GWP minska ifrån 33 till 27kg CO₂ eq enligt figur 23 nedan. Då argonanvändningen hade överlägset störst påverkan vid GKN, skulle det innebära en minskning med 12,7% av GKN:s totala miljöpåverkan i produktionen. Argon i gasform transporteras dessutom i störst del i vätskeform (Air Products and Chemicals, u.å.), vilket innebär att gasform inte heller tar mer plats vid eventuell transport och orsaker därmed inte en större påverkan. Det är dock oklart vad som skulle krävas av produktionen för att kunna använda argon i dess gasform. Troligtvis skulle det innebära en viss kostnad för företaget, då någon form av kalibrering eller byte av delar skulle krävas.

Figur 23

Diagram för GWP – produktion vid GKN, samt potentiell besparing



6.1.2 Byte av argon

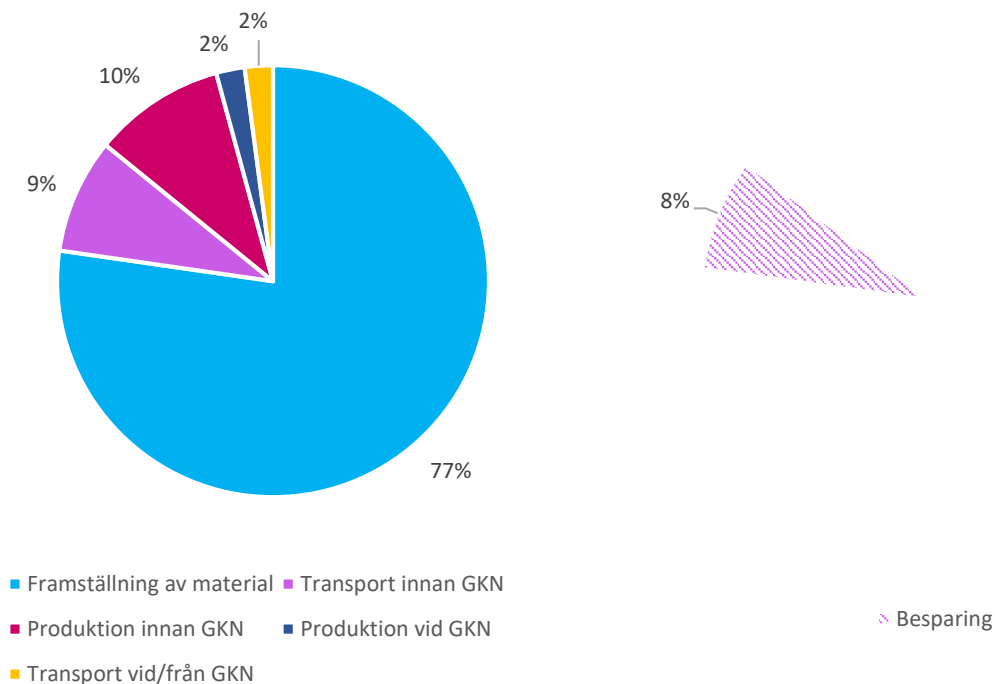
Det utfördes en mindre analys av huruvida det skulle vara möjligt att byta ut argon mot nitrogen. Det visade sig vara möjligt att byta ut ämnet men det skulle innebära stora kostnader för företaget då det kräver nya sprutparametrar, samt nya metod och produktkvalificeringar (Senior Engineer - Materials & Processes (2) personlig kommunikation, 17 maj, 2023). Det går inte heller att förutse hur stor mängd nitrogen som skulle motsvara den argon som krävs vid operationen. Om mängden vore densamma skulle det innebära en minskning med 6,9kg CO₂ eq för argon-användningen. Men då det inte finns någon data kring hur mycket nitrogen som skulle krävas, kan det lika gärna innebära en större påverkan.

6.1.3 Byte av färdmedel

Då flygtransport ifrån USA till Sverige var en utav de mest krävande processerna ur miljösynpunkt, gjordes en jämförelse med båt som alternativt transportsätt. Detta resulterade i en drastisk minskning av påverkan ifrån kategorin ”transport innan GKN”. Flygtransport hade en ursprunglig påverkan med 200,75kg CO₂ eq, vilket visade sig minska till endast 3,1kg CO₂ eq. vid båttransport (se figur 24 nedan). Detta resulterade i att den totala miljöpåverkan ifrån ”transport innan GKN” skulle minska med 8 % och därmed skulle endast 1 % återstå av totalen. Denna transport utförs dock inte utav GKN, vilket innebär att beslut kring färdmedel inte ligger hos dem. Att byta färdmedel från flyg till båt innebär dock att transporttiden ökar, vilket försenar leveransen av smidet.

Figur 24

Diagram för GWP – alternativ 1, samt besparing för transport

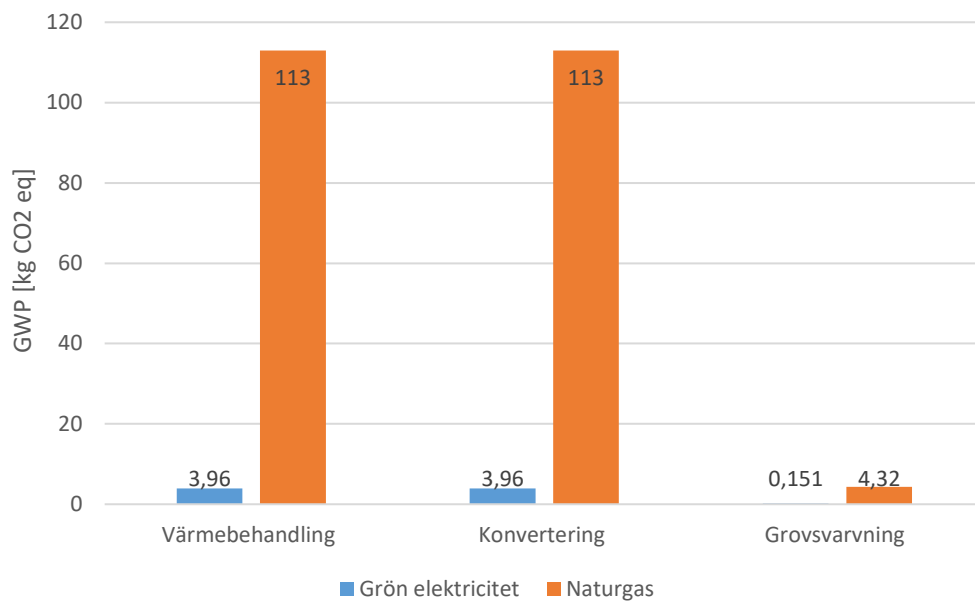


6.1.4 Byte från naturgas till grön elektricitet

Vid produktionen som sker innan GKN så utförs de olika operationerna med naturgas. För att få perspektiv kring hur stor påverkan är ifrån naturgas har en jämförelse utförts med grön elektricitet ifrån USA enligt figur 25 nedan. Detta visade sig vara stor skillnad då användningen av grön elektricitet skulle innebära en minskning med över 96 %. Detta skulle innebära en minskning med 9 % av komponentens totala påverkan, enligt figur 26. Dock så sker dessa processer hos GKN:s leverantörer vilket innebär att de inte har någon större makt över produktionen.

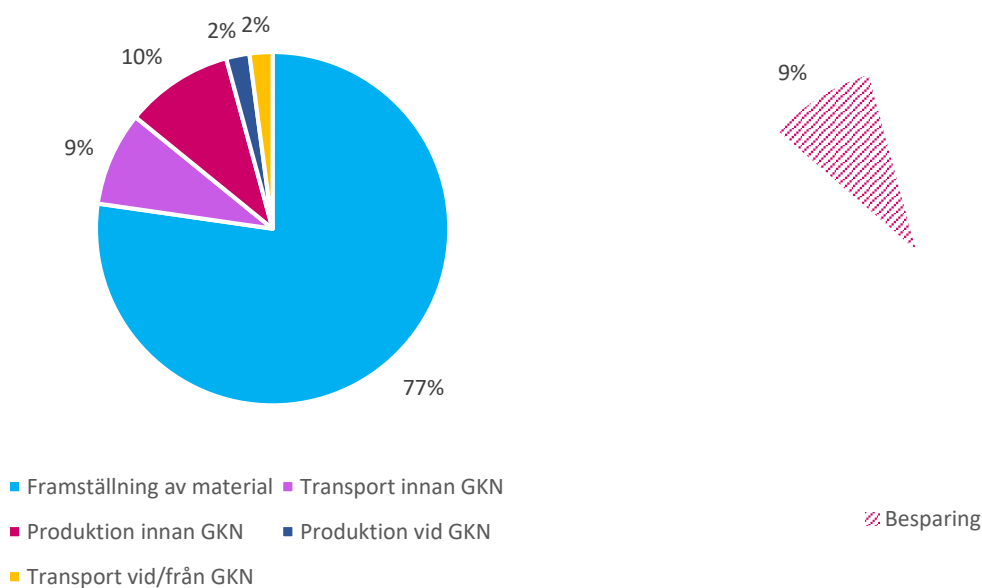
Figur 25

Diagram för jämförelse av produktion med naturgas mot grön elektricitet



Figur 26

Diagram för GWP – alternativ 1, samt besparing vid produktion med grön el

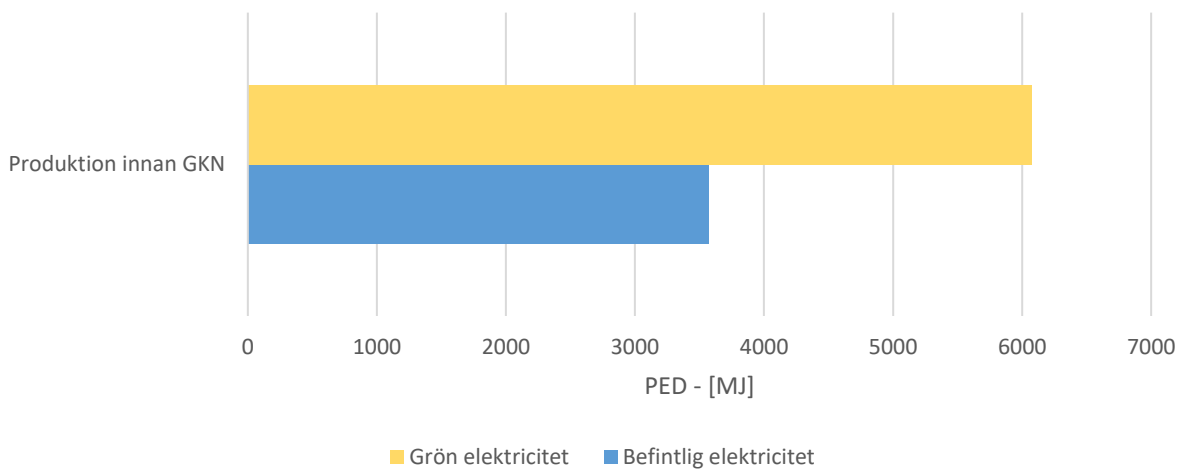


6.1.5 Grön elektricitet sett ur PED

För att få insikt i hur stor påverkan grön elektricitet har sett ur PED, gjordes en analys där produktionen före GKN:s nuvarande el-källor jämfördes med grön elektricitet. Detta redovisas enligt figur 27 nedan där det framgår att användning av grön elektricitet kräver en större mängd MJ, detta trots att grön elektricitet hade en avsevärt lägre klimatpåverkan enligt GWP. Detta skulle kunna bero på att grön elektricitet inte är lika effektiv som energikälla, vilket därmed skulle leda till en högre energiförbrukning.

Figur 27

PED, Grön elektricitet i jämförelse med nuvarande energikällor



6.1.6 Minska påverkan ifrån materialframställningen

Den kategori som överlägset har störst påverkan är materialframställningen som står för 77-79 % av komponentens totala påverkan. För att minska GWP vore det därmed effektivt att minska påverkan vid materialframställningen. Då det saknas data kring produktionen är det svårt att göra en närmare analys kring konkreta åtgärder. Det har därför istället tagits fram ett antal direktiv som troligtvis skulle minska GWP men som inte stöds av någon data.

Det första direktivet är att främst använda grön elektricitet för produktionen, då detta har visat sig ha stor inverkan på GWP enligt figur 26 ovan. Värt att ta i beaktning är dock att energiåtgången tycks öka enligt figur 27 ovan, vilket kan vara bra att ta hänsyn till ur företagssynpunkt.

Det andra direktivet är att endast använda sig utav återvunnet material för hela komponenten. Detta eftersom det krävs avsevärt mycket mer energi vid framställning av nytt jungfruligt material (257,5MJ/kg), än vid jämförelse av att återvinna befintligt (71,55MJ/kg). Att jungfruligt material används beror troligtvis på att materialets egenskaper kan försämrats vid återvinning. Detta är särskilt viktigt att ta i beaktning då komponenten används inom försvarssektorn där det ställs höga krav på prestanda.

Det sista direktivet är att skapa smiden vars massa överensstämmer bättre med komponentens slutliga massa. Totalt bearbetas 44 kg bort, vilket är mycket sett till att slutkomponenten väger 9,5 kg. Att skapa smiden med lägre massa skulle innebära att materialframställningen minskas då det tillverkas mindre mängd material. Men det skulle också leda till att det krävs mindre bearbetning, vilket även det skulle minska på den totala påverkan. Dessutom skulle påverkan ifrån transport minska då mindre mängd massa behöver fraktas.

De tre direktiven för minskad GWP sammanställs i punktform nedan.

- Vid processer som kräver el, använd grön elektricitet.
- Använd återvunnet material.
- Tillverka smiden som bättre överensstämmer med slutlig massa.

6.2 Slutsats

Resultatet visar tydligt att framställningen av material är den process som har störst påverkan både sett ur GWP och PED. De båda leverans-alternativen har minimal påverkan ur det stora livscykelperspektivet, men på detaljnivå skiljer de sig åt. Då framställningen av material står för den absolut största andelen av klimatpåverkan, vore det som mest effektivt att försöka minska på den för att minska totalen av komponentens livscykel. Men detta är problematiskt då det är svårt att se över vad som kan förbättras kring framställningen av material, då datan som använts som input inte har varit specifik kring de processer som utförts och endast för en generell framställning. Det har inte heller gått att fastställa hur framställningen exakt går till, och vad datan som använts som komplement faktiskt representerar, vilket gör beräkningarna mindre relevanta. På grund av detta går det inte att göra någon närmare analys kring hur framställningen skulle kunna optimeras. Istället togs tre direktiv fram (se kapitel 6.1.6 ”minska påverkan ifrån materialframställningen”) som troligtvis skulle minska påverkan, men som inte stöds av någon data. Dessa direktiv var:

- Vid processer som kräver el, använd grön elektricitet.
- Använd återvunnet material.
- Tillverka smiden som bättre överensstämmer med slutlig massa.

Tid är en viktig faktor att ta hänsyn till vid för att minska klimatutsläppen. Även fast en process kan låta energikrävande behöver den inte vara det i teorin. Mycket av utsläppen beror på under hur lång tid som processen pågår. Detta var tydligt då numerisk svarvning hade stor påverkan sett ur både GWP och PED jämfört med plasmaspjutning som inte gav någon större påverkan med avseende på el-åtgången, men som egentligen är en mer energikrävande process per timme (se figur 18). Detta kan vara värt att ta i beaktning vid exempelvis utveckling av nya system, då operationstiderna kan ha stor påverkan på det slutliga resultatet ur miljösynpunkt. Att plasmaspjutning utförs under så kort tid visar utifrån detta hur mycket det faktiskt skonar klimatet, då det skulle innebära en avsevärt mycket större påverkan vid samma operationstid som numerisk svarvning.

Vid jämförelse av PED och GWP framgår det att GKN har en relativt låg påverkan sett ur GWP och energiförbrukning. Trots att företaget hade större energiåtgång vid sin produktion (4 032,8MJ) i jämförelse med produktionen som sker hos deras leverantörer (3 566,8MJ), var deras leverantörers GWP mer än fyra gånger så stor som produktionen vid GKN. En stor bidragande faktor till detta beror troligtvis på att Sverige har relativt bra elektricitet med lågt

GWP. Detta påvisar att energiförbrukning inte alltid behöver korrelera med miljöpåverkan. Vid produktion med stor elförbrukning kan det därför antas att det vore gynnsamt att bedriva det hela inom Sverige, i hänseende till GWP.

Ur tolkningen av resultatet framgick det även att återvinning är en viktig faktor i arbetet mot att minska på klimatpåverkan. Enligt figur 15 och 16 stod återvinning för en minskning på 26 % av den totala GWP. Att vara noga med återvinning av spillet blir därför en viktig faktor i GKN:s eget arbete mot att minska sin påverkan. Vid företagets egen produktion framgick det även tydligt hur argon användningen hade absolut störst påverkan sett ur GWP. Det vore därmed mest effektivt att minska den för att minska på den totala påverkan ifrån den egna produktionen. Ett alternativ till detta, som nämndes ovan (se kapitel 6.1.1 ”byte av argons aggregationstillstånd”), vore att byta ifrån argon i vätske- till gasform.

Att byta till grön elektricitet visade sig ha stor inverkan på både GWP och PED. Vid ett eventuellt byte till grön elektricitet vid produktionen innan GKN, skulle det innebära en minskning med över 96 % (se figur 25). Detta påvisar hur stor betydelse valet av energikälla kan ha på klimatet. Men bytet visade sig även vara negativt sett ur PED, då det istället skulle innebära en markant ökning av mängden energi vid produktionen innan GKN (se figur 27). Detta kan anses som ogynnsamt i arbetet för hållbara produktioner, då det kan fördröja processen. Detta eftersom den ekonomiska aspekten är viktigt ur ett företagsperspektiv och då många företag betalar olika baserat på deras energiförbrukning. Hög energianvändning kan därför kosta mer för ett företag, vilket gör det svårare att motivera till omställning av grön elektricitet. För att de ska vilja satsa på hållbarhet krävs det därmed att det lönar sig på annat sätt, för att det ska vara värt den investering som behövs.

De kemikalier som GKN använder sig utav för komponenten som analyserats går till förbränning med energiåtervinning. Vid hantering av avfall finns en omfattande EU-lagstiftning som prioriterar olika typer av hantering i en ”avfallshierarki”. Denna hierarki består utav fem olika hanteringssätt som listas enligt följande från bäst till sämst: förebygga, förberedelse för återanvändning, materialåtervinning, annan återvinning och bortskaffning (Naturvårdsverket, u.å.b.). Det nuvarande hanteringssättet ”förbränning med energiåtervinning” ligger i den näst sista kategorin. Detta är bättre än det sista alternativet, vilket skulle innebära att kemikalierna läggs på deponi. För att förbättra hanteringen ytterligare borde kemikalierna i så stor mån som möjligt renas, återvinnas för att sedan användas igen. På så sätt skulle hanteringen stiga i ”avfallshierarkin” ytterligare. De kemikalier som ansågs som mest riskfyllda att hantera i produktsystemet, var de i etsbadet och betningsbadet. Vid etsbadet finns varning om ”starkt giftigt” och att det även är strakt frätande. Betningsbadet hade varning om ”strakt hälsofarlig” och riskerade att skada det ofödda barnet, cancer eller infertilitet.

Genom arbetet har det varit svårt att få tillgång till data ifrån leverantörer och återförsäljare till GKN. Detta har i vissa fall lett till att beräkningar och antaganden har behövts utföras som komplettering. Det leder till minskad relevans av det slutliga resultatet som kan bli missvisande. Att stärka relationen mellan leverantörer och återförsäljare och göra det mer tillgängligt till deras data vore därmed till fördel för GKN. Det skulle leda till att arbetet vid framtagningen av livscykelanalyser går snabbare och kräver mindre resurser. Men det skulle också leda till att resultaten blir mer tillförlitliga och därmed en bättre indikation till GKN kring vad som har störst påverkan i arbetet mot en mer hållbar produktion.

Det har inte heller varit helt enkelt att samla in data vid GKN:s egna produktion då flera processer utförs av gamla maskiner som saknar närmare specifikationer. I arbetet mot att utföra livscykelanalyser på alla sina komponenter vore det därför nödvändigt att få fram data kring de flöden som krävs. Ett stort steg i arbetet vore därför att mäta energiförbrukningen för de maskiner som saknar denna data, då det oftast är det primära flödet med störst påverkan. Men en bättre kontakt med återförsäljare och leverantörer som nämndes ovan skulle även lämpa sig här, då direkt tillgång till data av de maskinerna som finns i produktionen, skulle spara mycket resurser och göra livscykelanalyserna mer relevanta.

Livscykelanalysen som utförts ger en bra överskådlighet av påverkan ifrån de olika stegen i livscykeln. Den går också in på detaljnivå så att företaget kan se mer specifikt hur mycket vardera process bidrar till den totala påverkan, och de kan därmed agera utefter det. Men resultatet kan även användas vid utveckling av nya produktioner. Där GWP/h kan användas som ett verktyg i att se över den ungefärligt potentiella klimatpåverkan. Arbetet har även bidragit till utvecklingen av GKN:s metod vid utförandet av livscykelanalyser. Då företaget ännu inte har en bestämd process att arbeta utefter, har följande studie genererat nya tillvägagångssätt att angripa den målbild som satts upp.

6.3 Fortsatt arbete

Vid eventuellt fortsatt arbete skulle de processer som avgränsats istället inkluderas analysen. Detta skulle ge ett mer tillförlitligt resultat av GKN:s totala påverkan ifrån den egna produktionen. För att det ska kunna utföras krävs det att egna mätningar av energiåtgången utförs på de maskiner som ingår i operationslistan och som detta saknas data för. Då det utförs flera processer som innehåller stor mängder vatten vore det även lämpligt att inkludera vattenförbrukning. Detsamma gäller för tryckluft då även det ingår i flera utav processerna för komponenten. För ett ännu tillförlitligare resultat skulle det vara nödvändigt att se på hela livscykeln och ifrån ett ”vagga till grav” perspektiv.

Då argon-användningen vid GKN:e egna produktion stod för över 67 % av deras totala GWP. Vore ett bra fortsatt arbete att titta på hur argon-förbrukningen skulle kunna minskas. Finns det processer som kan bytas ut mot några som inte kräver argon och ändå ge samma resultat. Eller skulle det vara möjligt att helt byta eller blanda argon, med något som har lägre påverkan på klimatet. Att göra en omfattande analys av dessa potentiella förändringar vore intressant ur ett hållbarhetsperspektiv. Men det vore troligtvis även intressant ur ett företagsperspektiv att kolla upp vad dessa potentiella förändringar skulle innebära ekonomiskt. En mindre analys av ett eventuellt byte till nitrogen utfördes i kapitel 6.1.2 ”Byte av argon”. Ur analysen framkom det att ett sådant byte vore möjligt, men huruvida det är gynnsamt eller inte sett ur GWP bör undersökas vidare.

Referenser

Air Products and Chemicals. (u.å.). *Liquid argon* [Produktblad]. [900-13-083-US-liquid-argon-safetygram-8 \(1\).pdf](https://www.airproducts.com/~/media/Products/~/Documents/~/datasheets/~/liquid-argon-safetygram-8-1.pdf)

Allblästring AB (u.å.). *allblastring* [Fotografi]. allblästring <https://allblastring.se/>

Allegheny Technologies Incorporated, (2011, 20 december). *ATI Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Cr-4Mo Alloy* [Produktblad]. https://www.atimaterials.com/Products/Documents/datasheets/titanium/alloyed/ati_Ti-17_tds_en_v1.pdf

Ansys. (2023, januari). *Ansys Granta EduPack*. Hämtad: 2023-05-04, <https://www.ansys.com/products/materials/granta-edupack#tab1-1>

Balmer, R., Keat, W., Kosky, P. & Wise, G. (2020). *Exploring Engineering: An Introduction to Engineering and Design* (5. uppl.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-01871-2>

Baumann, H., & Tillman, A.M. (2014). *LCA i ett nötskal*. Chalmers Tekniska Högskola. https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/198075/local_198075.pdf

Calamo AB (u.å.). *Betning av rostfritt stål* [Fotografi]. Calamo <https://www.calamo.se/ytbehandling/betning/>

Di Gleria, S. (2019, 09 juli). *Plasmasprutning*. Svets Kommissionen. <https://www.svets.se/kunskapsbanken/tekniskinfo/termisksprutning/plasmasprutning.4.38a2e557141001d6475364c.html>

Erlandsson, M., Ekvall, T., Lindfors, L.G. & Jelse, K. (2014). *Robust LCA: Typologi över LCA-metodik - två kompletterande systemsyner* (B2122). IVL Svenska Miljöinstitutet AB. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1552422/FULLTEXT01.pdf>

European Union, (u.å.). *Sustainable Product Policy*. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/scientific-activities-z/sustainable-product-policy_en

Finnveden, G., Hauschild, M.Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D. & Suh, S. (2009). Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 1-21. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0301479709002345?token=B0D3BDEFADDE990DEFBFBA2BE3B52D77FDE23DE58C6D89B1E7DFD2413BB14EBA5497CE1168215E8FAC257F796F955B2C&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230130142102>

FN:s utvecklingsprogram. (u.å.). *Human Development Index (HDI)*. Hämtad 2023-03-07, <https://hdr.undp.org/data-center/human-development-index#/indicies/HDI>

Förenta Nationerna. (u.å.) *Mål 13: Bekämpa klimatförändringarna*. Hämtad 2023-02-15, <https://fn.se/wp-content/uploads/2018/03/M%C3%A5l-13.pdf>

GKN Aerospace Sweden AB. (u.å.a). *GKN Aerospace in Sweden*. Hämtad 2023-01-30, <https://www.gknaerospace.com/en/about-gkn-aerospace/locations/gkn-aerospace-in-europe/gkn-aerospace-in-sweden/>

GKN Aerospace Sweden AB. (u.å.b). *Our Sustainability Development Goals*. Hämtad 2023-02-15, <https://www.gknaerospace.com/en/sustainability/un-sdgs/>

GKN Aerospace Sweden AB. (2020, 2 juni). *Hundratusentals flygtimmar utan haveri – ”Gripenmotorn RM12 är unik”*. Hämtad 2023-02-20, https://www.mynewsdesk.com/se/gkn-aerospace-sweden/blog_posts/hundratusentals-flygtimmar-utan-haveri-gripenmotorn-rm12-aer-unik-92990

Gräfe, D. (2008, 11 juni) *File:Geräumte-Kerbverzahnung2.JPG* [Fotografi] Wikimedia Commons, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ger%C3%A4umte-Kerbverzahnung2.JPG>

Industrial Quick Search. (u.å.) *Broaching*. IQS Directory. <https://www.iqsdirectory.com/articles/broaching.html>

Kemikalieinspektionen. (2023, 1 februari). *Märkning och farosymboler*. <https://www.kemi.se/rad-till-privatpersoner/rad-om-kemikalier-i-vardagen/markning-och-farosymboler>

Lreames. (2020, 28, juli). *File:HVAF Thermal Spray.jpg* [Fotografi]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HVAF_Thermal_Spray.jpg

Lunds Universitet. (2020, 17 december). *Vad är hållbarhet?* Hämtad 2023-03-07, <https://www.hallbarhet.lu.se/forskning/vad-ar-hallbarhet>

Metallkompetens. (u.å.a). *Betning*. Hämtad 2023-03-06, <https://metallkompetens.se/handbok/9-bearbetning-av-platta-produkter/kallbandvalsning/betning/>

Metallkompetens. (u.å.b). *4.2 Genomförande* Hämtad 2023-05-09, <https://metallkompetens.se/handbok/10-oforstorande-provning/penetrantprovning/genomforande/>

Mäkelä Alu AB. (u.å.). *Anodisering* [Fotografi]. makelaalu <https://makelaalu.fi/sv/ytbehandlingar/anodisering/>

Naturvårdsverket. (u.å.a.). *Beräkna klimatpåverkan*. <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/luft-och-klimat/berakna-klimatpaverkan>

Naturvårdsverket. (u.å.b.). *Avfallshierarkin visar stegen vi behöver ta*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/avfall/pagaende-arbeten/avfallshierarkin-visar-stegen-vi-behover-ta/>

Pix4free. (u.å.). *Free Worker grinding metal Image* [Fotografi] <https://pix4free.org/photo/211/Worker-grinding-metal.html>

Riley Industries LTD. (u.å.) *Abrasive Developments (Wheelabrator) Vaqua Jupiter Wetblast Cleaning and Finishing Blast Cabinet* [Produktblad]. <https://www.rileysurfaceworld.co.uk/live/machines2/30962.pdf>

Saint-Gobain Abrasives Sweden. (2017, 16 januari). *Norton BDX lamellslipstift – Användning I* [Fotografi]. Flickr. https://www.flickr.com/photos/sga_se/31962605430

Schott, F. (2008, 7 maj). *Category:Turning (machining process)* [Fotografi] Wikimedia Commons, [https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Turning_\(machining_process\)](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Turning_(machining_process))

Smid, P. (2003, 1 januari). *CNC Programming Handbook: A comprehensive guide to practical CNC programming* (2. Uppl.). Industrial Press

Sphera. (u.å.). *Life Cycle Assessment Software*. Hämtad 2023-02-15, https://sphera.com/life-cycle-assessment-software-ppc/?utm_source=Google&utm_medium=Text&utm_campaign=GaBi_LCA&keyword=gabi&matchtype=b&device=c&bt=644541229402&bk=gabi&bm=b&bn=g&bg=144688390986&gclid=EAiaIQobChMIs7y8oe-W_QIVhtJ3Ch1k4gtLEAAYASAAEgJZJPD_BwE

Stockholms Universitet (2015, 16 januari). *Fyra av nio planetära gränser överskrids*. <https://www.su.se/forskning/fyra-av-nio-planet%C3%A4ra-gr%C3%A4nser-%C3%B6verskrids-1.218028>

Sveriges vattenmiljö. (2019). *Miljögifter*. <https://www.sverigesvattenmiljo.se/sa-mar-vara-vatten/2019/sammanfattningar/0/0/8>

Swedish Standards Institute. (2006). *Miljöledning - Livscykelanalys - Principer och struktur (ISO 14040:2006)* (SS-EN ISO 14040:2006). Svenska institutet för standarder. [Standard - Miljöledning - Livscykelanalys - Principer och struktur \(ISO 14040:2006\) SS-EN ISO 14040:2006 - Svenska institutet för standarder, SIS \(openathens.net\)](https://www.sis.se/standard/Miljoledning-Livscykelanalys-Principer-och-struktur-ISO-14040:2006-SS-EN-ISO-14040:2006-Svenska-institutet-f%C3%B6r-standarder-SIS-openathens.net)

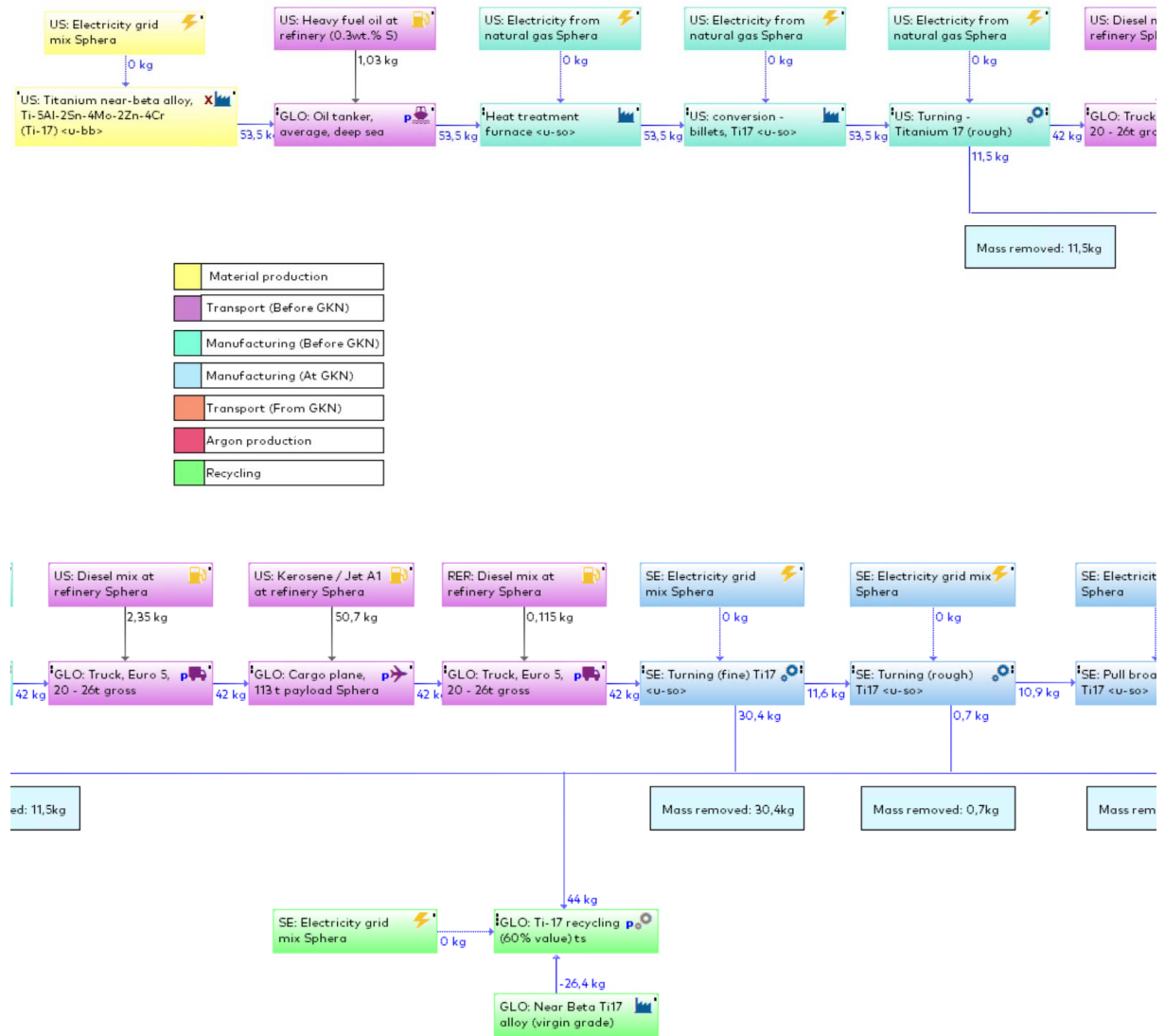
Tempco Electric Heater Corp. (2006, 09 oktober). Calculating Heat Requirements. *Process Heating*. <https://www.process-heating.com/articles/83589-calculating-heat-requirements>

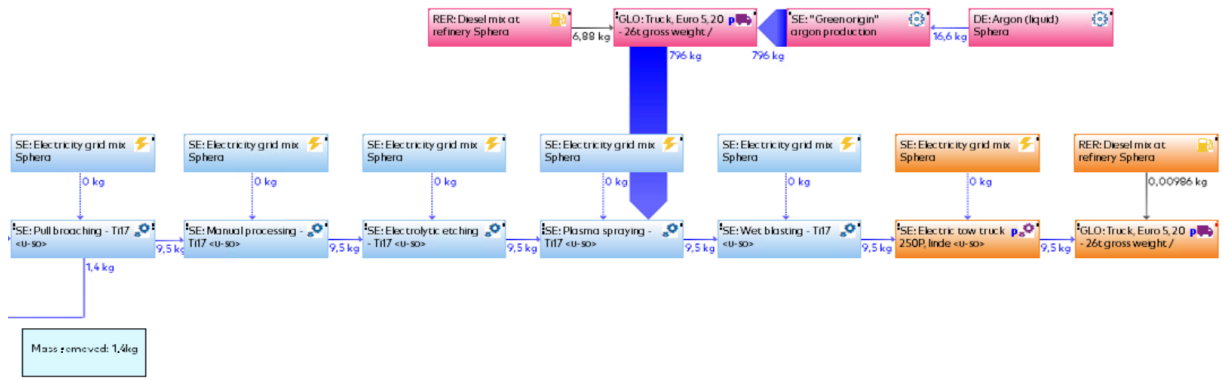
Östlund, T. (2020, 31 augusti). Hållbar utveckling – vad är det för dig? *Cirkeln*. 2017(2), 4-7. <https://www.studieframjandet.se/cirkeln/artiklar/manniska-och-samhalle/artikel/hallbar-utveckling--vad-betyder-det-for-dig/>

Bilagor

Bilaga 1

Flödesmodell för komponentens system i programmet Gabi





INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH
MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2023
www.chalmers.se



CHALMERS