



**CHALMERS**

# Klimatpåverkan från en värmepump; en förenklad livscykelanalys

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

Henrik Enervo  
Jakob Lindström

**INSTITUTIONEN FÖR MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER**  
Avdelningen transport, energi och miljö

---

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2025  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)

# Klimatpåverkan från en värmepump; en förenklad livscykelanalys

Henrik Enervo  
Jakob Lindström



**CHALMERS**  
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Examensarbete inom Högscoleingenjörprogrammet i Maskinteknik

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper

Chalmers Tekniska Högskola

SE-412 96 Göteborg

Göteborg, Sverige 2025

# Förord

Examensarbetet har genomförts under vårterminen 2025 på Chalmers Tekniska Högskola, inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik.

Arbetet har utförts hos ett företag, som har tillhandahållit data och annan relevant information om värmepumpen.

Vi vill rikta ett stort tack till vår examinator Maria Grahn och handledare Jorge Velandia Vargas som har hjälpt och stöttat oss under hela arbetet med stort engagemang, värdefull kunskap, och tydlig vägledning. Vi vill även tacka företaget för möjligheten att fått utföra vårt examensarbete hos dem och tacka för erfarenheten det gett oss. Stort tack till våra handledare på företaget som har varit oerhört hjälpsamma, tagit sig tid och försett oss med den information och data vi har behövt under arbetets gång.

Henrik Enervo  
Jakob Lindström  
Göteborg, maj 2025

Klimatpåverkan från en värmepump; en förenklad livscykelanalys  
Henrik Enervo  
Jakob Lindström  
Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper  
Chalmers Tekniska Högskola

## Sammanfattning

Företag världen över har ett ökat behov av att kartlägga och minska klimatpåverkan. Därför har detta examensarbete utförts i samarbete med ett företag med syftet att genomföra en förenklad livscykelanalys (LCA) på en värmepump. Dessutom syftar arbetet till att identifiera de största klimatpåverkande faktorerna och poängtera förbättringsområden för att minska klimatpåverkan samt att jämföra värmepumpen med en gaspanna. Detta med fokus på materialutvinnings- och tillverkningsfasen.

Livscykelanalysen har genomförts med hjälp av programvaran OpenLCA och med databasen Ecoinvent 3.8. Dessutom har analysen delvis utförts i enlighet med ISO 14040/14044. Analysen inkluderar materialutvinning, tillverkning, transport, användning och sluthantering med undantag för transport till kund, underhåll och återvinning. Den funktionella enheten har satts till 1 kWh överförd värme till ett hushåll.

Resultaten har visat att användningsfasen står för den största klimatpåverkan, främst på grund av elförbrukningen kopplat till andelen fossila bränslen inom vald energimix. Elektroniska komponenter framför allt kretskort har visats ha högst klimatpåverkan per kilogram. Vid jämförelse med gaspannan var det tydligt att värmepumpen har en betydligt lägre klimatpåverkan.

De slutsatser som kan dras är att värmepumpen är ett mer hållbart alternativ sett ur ett livscykelperspektiv. Vidare kan företaget använda resultatet som underlag för förståelse av de klimatpåverkande faktorerna värmepumpen har under dess livscykel samt för nuvarande och framtida förbättringsarbeten kopplade till miljön.

Nyckelord: CO<sub>2e</sub>, ecoinvent, R-32, klimatpåverkan, livscykelanalys, värmepump, gaspanna

# Climate Impact of a Heat Pump: A simplified Life Cycle Assessment

Henrik Enervo

Jakob Lindström

Department of Mechanics and Maritime Sciences

Chalmers University of Technology.

## Abstract

Companies around the world face an increasing need to assess and reduce their climate impact. Therefore, this bachelor's thesis has been carried out in collaboration with a company with the aim of conducting a simplified life cycle assessment (LCA) of a heat pump. Furthermore, the study aims to identify the most climate-impacting factors and emphasize areas where improvements can be made to reduce the environmental impact and compare the heat pump to a gas boiler. Focus lies on the material extraction and manufacturing phases.

The life cycle assessment was performed using the OpenLCA software and the ecoinvent 3.8 database. The analysis was also partly conducted in accordance with ISO 14040/14044. The analysis includes material extraction, manufacturing, use, transportation and end-of-life, excluding distribution to the customer, maintenance and recycling. The functional unit was defined as 1 kWh of delivered heat to a household.

The results show that the use phase accounts for the largest share of climate impact, primarily due to electricity consumption linked to the share of fossil fuels in the selected energy mix. Electronic components, especially printed circuit boards, were found to have the highest climate impact per kilogram. When compared to a gasboiler, the heat pump showed significantly lower climate impact.

In conclusion, the heat pump is a more sustainable alternative from a life cycle perspective. The results provide valuable input for the company for understanding the different climate impacting causes during the heat pumps lifecycle and for identifying areas of improvement related to ongoing and future sustainability work.

Keywords: CO<sub>2</sub>e, ecoinvent, R-32, climate impact, life cycle assessment, heat pump, gas boiler

# Innehållsförteckning:

1. Inledning.....	1
1.1 Bakgrund .....	1
1.2 Syfte och mål .....	1
1.3 Avgränsningar.....	2
1.4 Precisering av frågeställning.....	2
2. Teori.....	3
2.1 Definition av mål och omfattning.....	3
2.2 Inventeringsanalys.....	3
2.3 Miljöpåverkansbedömning .....	4
2.3.1 Global uppvärmning.....	4
2.4 Tolkning av resultat.....	5
2.5 Värmepumpar .....	5
3. Metod och omfattning.....	6
3.1 Systemmodell .....	6
3.2 Systemgräns.....	6
3.3 Påverkanskategori .....	7
3.4 Funktionell enhet .....	7
3.5 Geografiska gränser .....	8
3.6 Tidshorisont .....	8
3.7 Datainsamling .....	8
3.7.1 Datamodellering i OpenLCA .....	8
3.7.2 Materialutvinning och tillverkning .....	10
3.7.3 Användning.....	12
3.7.4 Transport .....	13
3.7.5 Sluthantering.....	13
4. Resultat.....	16
4.1 Resultat Funktionell enhet .....	16
4.2 Klimatpåverkan per livscykelphas.....	16
4.3 Fördelning av klimatpåverkan .....	17
4.4 Processer med högst klimatpåverkan.....	18
4.5 Komponenter med högst klimatpåverkan .....	19
4.6 Jämförelse gaspanna .....	21
5. Diskussion och slutsats .....	23
5.1 Diskussion av metod.....	23

5.2 Diskussion av resultat.....	23
5.3 Vidareutveckling och förbättringar .....	24
5.4 Slutsats.....	25
5.5 Diskussion kring osäkerheter i analysen.....	25
6. Referenser .....	27
7. Bilagor .....	29

# 1. Inledning

I takt med den ökande klimatpåverkan ställs hårdare krav för att uppnå en hållbar utveckling. För att lyckas uppnå en hållbar utveckling krävs ett stort engagemang och företag världen över satsar mer pengar och tar till fler och nya metoder för utvärdering av deras miljöpåverkan. Efterfrågan från den privata marknaden på klimateffektiva produkter samt kravställning av miljöredovisning från institutioner har ökat vilket har gett upphov till en ny konkurrens där företag numera vill redogöra och förbättra deras klimatpåverkan.

För att uppnå detta har Livscykelanalyser (LCA) blivit ett alltmer använt verktyg. LCA kan ta hänsyn till hela produkters livscykel från råmaterialutvinning till produktion vidare till transport, användning och återvinning. LCA är ett verktyg och metod som används för utredning av aktuell miljöpåverkan men även för utvärdering av miljövänligare alternativ (Baumann & Tillman, 2004, s.19-21). LCA är ett effektivt verktyg som redogör produktens utsläpp av växthusgaser beräknat i koldioxidekvivalenter förkortat CO<sub>2</sub>e samtidigt som ett flertal andra miljöpåverkningar också är möjliga att analysera. Med en färdigställd LCA går det att identifiera och prioritera de faktorer som bidrar till högst utsläpp av växthusgaser och på så sätt effektivt utnyttja relevanta resurser på ett genomtänkt sätt och göra förbättringar som resulterar i en minskad klimatpåverkan.

Denna LCA i form av ett examensarbete har utförts för ett företag som enbart refereras till som "Företaget". Det är ett handelsföretag med fokus på hållbara energisystem som kontinuerligt arbetar med att förbättra sin miljöpåverkan.

## 1.1 Bakgrund

Företaget tillverkar, utvecklar och säljer värmepumpar av olika kapacitet till användning för både privat- och kommersiellt bruk runt om i Europa. Tillverkningen av värmepumparna sker i Kina medan utveckling och designarbete sker i Europa. I och med en alltmer konkurrenskraftig och miljömedveten marknad har företaget bestämt sig för att utvärdera klimatpåverkan från en av deras värmepumpar. Företaget vill utöver att veta aktuell klimatpåverkan och förbättringsområden för värmepumpen också ta reda på skillnaden i klimatpåverkan jämfört med en gaspanna.

Uppvärmning och nedkylning är en stor marknad och högt förknippad till energianvändning. År 2022 stod uppvärmning och kylning för nästan hälften av EU:s energiförbrukning enligt (Eurostat, 2024) vilket innebär att om förbättringar görs på de produkter som genererar värme och kyla, kan det resultera i stor positiv effekt för klimatet och för företagets konkurrenskraftighet.

## 1.2 Syfte och mål

Huvudsyftet med detta examensarbete är att utföra en förenklad livscykelanalys på en av företagets värmepumpar för att utvärdera klimatpåverkan, hitta förbättringsområden och jämföra den med klimatpåverkan som en gaspanna har.

Värmepumpen som den förenklade livscykelanalysen har utförts på är en av företagets värmepumpar vars system består av en inomhusenhet och en utomhusenhet. Inomhusenheten är en 250 liters varmvattenberedare med tillhörande system och utomhusenheten består av bland annat fläkt och kompressor och har en kapacitet på 12 kW. Värmepumpen har ett maximal COP-värde (Coefficient of Performance) på 4,71 vid optimala förhållanden, under normala och mer realistiska förhållanden är COP-värdet cirka 3,5.

Examensarbetets målsättning är följande:

- Utföra en förenklad livscykelanalys av värmepumpen.
- Samla in och analysera data från samtliga huvudfaser av värdekedjan.
- Identifiera de största klimatpåverkande faktorerna.
- Fokusera på faserna materialutvinning och tillverkning.
- Poängtera förbättringsområden som leder till förminskad klimatpåverkan.
- Jämföra värmepumpen med en gaspanna sett till klimatpåverkan

### 1.3 Avgränsningar

Med värmepumpens storlek och tillgänglig tid för arbetet i åtanke har ett flertal avgränsningar och antaganden gjorts för att göra det möjligt att utföra en analys under given tidsram. Arbetet är en förenklad livscykelanalys, alltså att vissa av systemets ingående livscykelfaser och processer har avgränsats, förenklats och prioriterats utefter förväntad klimatpåverkan samt kvalitet och kvantitet av tillgänglig data. Avgränsningar och förenklingar av de olika klimatpåverkande faktorerna har gjorts med huvudmålet att ta hänsyn till så stor del som möjligt av produktens livscykel och att uppnå ett så verkligt resultat som möjligt. Samtliga grupper av livscykelfaser av produkten har studerats och analyserats men produktens stora mängd av komponenter förhindrar en fullständig analys med djupare detaljundersökning av alla enskilda processer och beståndsdelar. Livscykelanalysen har delvis följt metodiken enligt ISO-14040:2006.

Vidare har analysen enbart fokuserat på en miljöpåverkanskategori, klimatpåverkan, och generella datakällor har använts då specifik information saknats. Även om ambitionen varit att genomföra en heltäckande livscykelanalys så begränsas resultatets noggrannhet av vad som är möjligt att utföra under projektets tidsram, och därför skall analysen betraktas som en översiktlig uppskattning av värmepumpens klimatpåverkan snarare än en fullständig livscykelanalys. Specifika avgränsningar och metoder för antaganden presenteras i kapitel 3 (Metod).

### 1.4 Precisering av frågeställning

För att uppnå projektets syfte och mål har ett antal frågor ställts upp:

- Hur stora är växthusutsläppen från varje fas i värmepumpens livscykel, beräknat i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter?
- Vilken fas av värmepumpens livscykel har störst klimatpåverkan?
- Vilka komponenter av värmepumpen har störst klimatpåverkan?
- Vart kan förbättringar ske för att minska värmepumpens klimatpåverkan?
- Hur mycket mer klimateffektiv är värmepumpen jämfört med en gaspanna?

## 2. Teori

Livscykelanalyser är ett effektivt verktyg för utredning av miljöpåverkningar och dess generella metodik är standardiserad enligt ISO 14040:2006 för att skapa rättvisare och mer kvalitativa analyser. Denna ISO-standard beskriver fyra delfaser av livscykelanalysen enligt (ISO - International Organization for Standardization, 2006):

- Definition av mål och omfattning.
- Inventeringsanalys.
- Miljöpåverkansbedömning.
- Tolkning av resultat.

### 2.1 Definition av mål och omfattning

Definition av mål och omfattning är ett avgörande steg i analysen då olika ändamål kräver olika tillvägagångssätt. LCA är en iterativ process och behovet av att göra vissa val är inte självklart från början men upptäcks under studiens gång. Det är därför fördelaktigt om så många val som möjligt är förutspådda och gjorda i ett tidigt stadi (Baumann & Tillman, 2004, s.73). I definition av mål och omfattning skall analysens tillämpning, syfte och målgruppen för studien att framgå enligt (Baumann & Tillman, 2004, s.74). Denna fas bör enligt (Baumann & Tillman, 2004, s.74-92) innehålla följande:

- Vilka specifika produkter, produktdesign eller process som skall studeras.
- Ett första flödesschema.
- Vilken funktionell enhet som resultatet beräknas enligt.
- Val av påverkanskategori.
- Systemgränser för analysen.
- Geografiska gränser.
- Tidshorisont.
- Vilka "Cut-off" kriterier analysen följer.
- Datakvalitetskrav.

### 2.2 Inventeringsanalys

I inventeringsanalysen skall produktsystemets ingående och utgående flöden framgå alltså systemets förbrukade mängd av resurser och nödvändiga aktiviteter som processen behöver för att kunna leverera den givna tjänsten eller produkten. Detta steg i analysen är till för att sammanställa samtliga aktiviteter som ingår i systemgränsen som sedan ligger till grund för att kunna beräkna miljöpåverkningarna. Inventeringsanalysen består enligt (Baumann & Tillman, 2004, s.97) av följande tre steg:

- Konstruktion av ett flödesschema enligt systemgränserna definierade i mål och omfattning.
- Datainsamling för alla aktiviteter i produktsystemet samt dokumentation av all insamlad data.
- Beräkningar av miljöbelastningar (resursanvändning och föroreningsutsläpp) av systemet i förhållande till den funktionella enheten.

## 2.3 Miljöpåverkansbedömning

Denna fas av analysen skall beskriva de miljömässiga konsekvenserna som kvantiteterna från inventarielistan ger upphov till. De olika aktiviteterna och resursanvändningarna resulterar i en inverkan på en rad olika miljömässiga påverkanskategorier som i detta steg skall beräknas och presenteras. I detta steg sammanställs avtrycken förknippat till påverkanskategori för att göra resultatet mer miljömässigt relevanta, förståeliga och lättare att förmedla (Baumann & Tillman, 2004, s.129).

### 2.3.1 Global uppvärmning

Människans påverkan på klimatet är stor och klimatförändringar diskuteras i hög grad världen över. Den ledande orsaken till global uppvärmning är människans utsläpp av växthusgaser, främst koldioxid som förstärker atmosfärens förmåga att värma jordytan enligt (Naturvårdsverket, 2025b). Olika växthusgaser har olika uppvärmningspotential (GWP, Global Warming Potential). Detta är ett mått på hur mycket energi utsläppet av ett ton gas absorberar under en given tidsperiod relativt till ett ton koldioxid. De olika växthusgasernas uppvärmningspotential varierar stort och beror på deras förmåga att absorbera energi och hur lång livstid de har i luften (United States Environmental Protection Agency, 2025a). Utsläpp av växthusgaser beräknas med hjälp av GWP faktorn och uttrycks som mängd CO<sub>2</sub>-ekvivalenter i vikt. I denna rapport förkortas CO<sub>2</sub>-ekvivalenter till CO<sub>2</sub>e och utsläpp av växthusgaser refereras till som klimatpåverkan.

Växthusgaser är ett samlingsord för de gaser som bidrar till ökad växthuseffekt. De mest förekommande gaserna är vattenånga, koldioxid, metan och lustgas (Center For Climate And Energy Solutions, 2025). Många växthusgaser förekommer naturligt i atmosfären och i olika typer av kretslopp vilket i viss mån är bra för naturen. De högt ökande utsläppen förorsakade av människan skapar däremot obalans som leder till en rad olika konsekvenser. Dessa ökande utsläpp av växthusgaser orsakas på grund av en mängd olika processer bland annat på dessa sätt, inom transport genom förbränning av fossila bränslen, elektricitetsproduktion genom förbränning av fossila bränslen, industri genom förbränning av fossila bränslen och kemiska reaktioner som ger upphov till utsläpp av växthusgaser, bostäder genom förbränning av fossila bränslen för uppvärmning och gasanvändning för kylning, lantbruk genom djur som idisslar (tex kor och får) och jordbruksmarker (United States Environmental Protection Agency, 2025b). Utsläppen av växthusgaser är enligt (World Wildlife Fund, 2025) fördelade per sektor enligt nedan:

- 25% EI- och värme
- 24% Jord- och skogsbruk
- 21% Industri
- 14% Transporter
- 9,6% Övrigt
- 6,4% Byggnader

En stor påverkande faktor av det förändrade klimatet är varifrån utsläppen av kol kommer ifrån på grund av kolets kretslopp också kallat kolcykeln. Varifrån kolet frigörs har alltså en stor påverkan eftersom det tar olika lång tid för naturen att lagra

kolet innan det släpps ut igen till atmosfären. Förbränning av biobränsle, så som ved, frigör kol till atmosfären som bara tog några år eller decennier för trädet att ta upp ifrån atmosfären, men genom att i stället förbränna fossila bränslen återfår atmosfären kol som tagit miljontals år att lagra (Naturvårdsverket, 2025a). Att förbränna fossila bränslen resulterar i att mer kol tillförs till luften än vad den hinner att bli av med och på så sätt ökar mängden koldioxid i luften vilket leder till att växthuseffekten ökar kraftigt.

## 2.4 Tolkning av resultat

Sista steget av livscykelanalysen skall innehålla en tydligare presentation av resultaten med hjälp av tabeller och diagram. En livscykelanalys kan i många fall generera resultat i form av beräkningar i stora mängder, för att kunna göra meningsfulla slutsatser, är det i många fall bra att förfina resultatet och välja ut det viktigaste (Baumann & Tillman, 2004, s.175). Resultat från inventarielistan och miljöpåverkansbedömningen skall i detta steg summeras och diskuteras som bas för rekommendationer och slutsatser (ISO - International Organization for Standardization, 2006). I regel diskuteras de största miljöpåverkande faktorerna samt att utvärdering av resultatets tillförlitlighet utförs genom utvärdering av datakvalitet och felkällor/osäkerheter.

## 2.5 Värmepumpar

Värmepumpar är mycket effektiva och arbetar cykliskt med att pumpa runt ett köldmedium inuti systemet. Eftersom köldmedium har låg kokpunkt kan dess egenskap gynnsamt användas för att förflytta värmeenergi. Processen är särskilt effektiv eftersom den just förflyttar värmeenergi och omvandlar arbete till värmeenergi i stället för att enbart omvandla energi genom exempelvis förbränning.

Gemensamt för värmepumpar är att de består av bland annat en förångare, kompressor, kondensor och expansionsventil. Kallt köldmedium leds igenom förångaren där mediet absorberar värmeenergi och förångas. Kompressorn komprimerar köldmediet till ett högre tryck och ökar temperaturen som leds vidare till kondensorn. I kondensorn avges värmen och mediet kondenseras. Det nu kondenserade köldmediet passerar en expansionsventil som sänker trycket och temperaturen av mediet och processen upprepas (Yunus Cengel et al., 2021).

## 3. Metod och omfattning

Metoden för genomförandet av livscykelanalysen presenteras tillsammans med studiens omfattning. Här beskrivs vilken typ av LCA som har gjorts, vilka avgränsningar som definierats i form av systematiska, geografiska samt tidsmässiga gränser. Även hur studiens funktionella enhet har fastställts. Utöver detta redogörs även hur data samlats in, användning av databas samt hur data modellerats för att kunna användas i OpenLCA.

### 3.1 Systemmodell

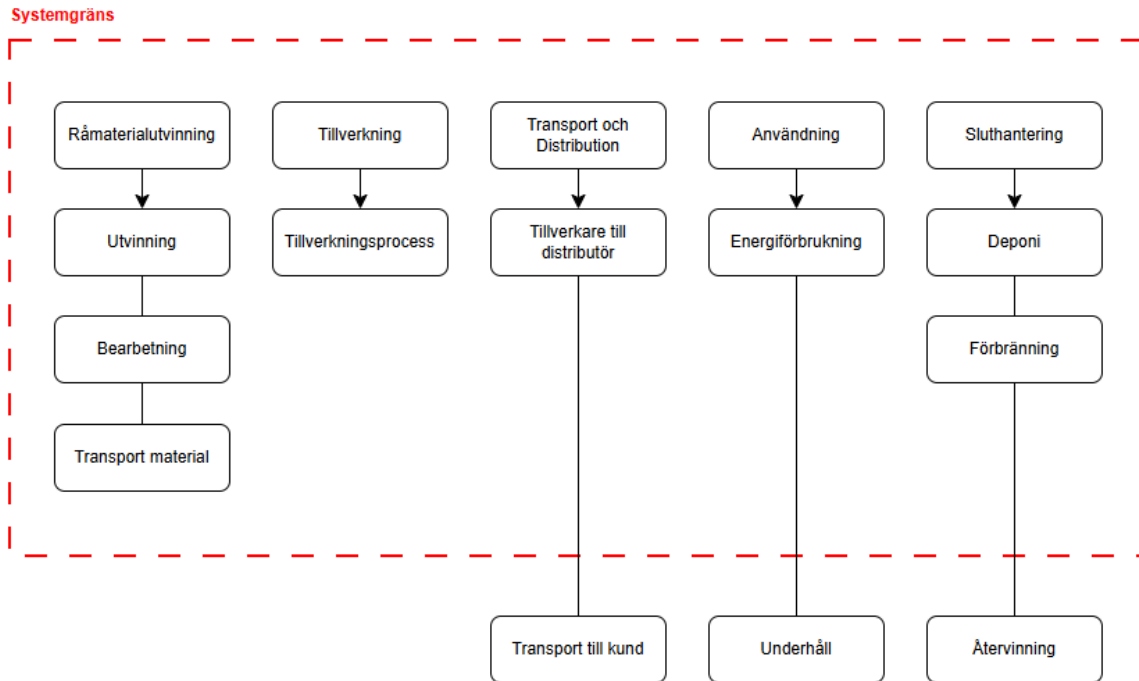
Den typ av livscykelanalys som genomförts för denna studie är en så kallad "attributiv" LCA. Programvaran OpenLCA Version 2.4.1 (OpenLCA, n.d.) har använts i kombination med databasen ecoinvent version 3.8 (Ecoinvent, 2023).

Vald systemmodell för analysen är "Allocation cut-off by classification". Denna systemmodell fungerar enligt filosofin att det är den första användaren av ett material som bär hela ansvaret av förstahandsproduktionen medan producenten ansvarar för avfallshanteringen, det vill säga "polluter pays". Det betyder att om ett material återvinns, får producenten inga förmåner för detta. För att förtydliga hur det fungerar i praktiken, så kan exempelvis återvunnet papper enbart ha miljöpåverkan från insamlingen och återvinningen men inte från den ursprungliga skogsavverkningen eller produktionen. Till följd av detta är återvinningsbara material tillgängliga helt belastningsfria från återvinningsprocessen och redan återvunna material bär enbart ansvaret av effekterna av återvinningsprocessen. Det finns därav ett incitament att använda återvinningsbara produkter som är tillgängliga utan inverkan av återvinningsprocessen "cut-off" (Ecoinvent, 2024a).

De tillgängliga systemmodellerna har alla olika grundprinciper som påverkar storleken av alla processer. Grundprinciperna påverkar hur långt i leden av delprocesser som modellen tar hänsyn till. Modellerna avgränsar ihop-kopplingen av dessa delprocesser olika tidigt och allokerar på så sätt varierande mängd av miljöpåverkningar per process till analysen. Mängden miljöpåverkningar som allokeras varierar även utefter olika principer för de olika systemmodellerna. Exempelvis kan allokering vara grundat utefter bland annat ett ekonomiskt värde av vald process. Denna systemmodell valdes i linje med företagets önskemål om vad de ville analysen skulle ta hänsyn till.

### 3.2 Systemgräns

I denna analys ingår produktens samtliga livscykel-faser. De livscykel-faser som ingår är råmaterialutvinning, tillverkning, transport, användning och sluthantering. Inom dessa faser har vissa avgränsningar gjorts samtidigt som val av systemmodell för databasen påverkar systemgränsen. För att ge en överblick visualiseras detta enligt figur 1. Vad som analysen tar hänsyn till i varje fas beskrivs mer detaljerat i kapitel 3.7.



Figur 1. Systemgräns

### 3.3 Påverkanskategori

Som tidigare nämnts går det med hjälp av en livscykelanalys att ta hänsyn till och analysera olika miljöpåverkningar. Detta arbete kommer att undersöka GWP av värmepumpens livscykel-faser, vilket innebär att resultaten uttrycks i CO<sub>2</sub>e enligt GWP100 (Global Warming Potential över 100 år).

### 3.4 Funktionell enhet

Den funktionella enheten för denna livscykelanalys är satt till 1 kWh levererad värme till ett hushåll. Val av denna enhet är baserad på värmepumpens primära funktion, att generera värme. Livscykelanalyser av värmesystem har i regel kWh eller MJ levererad värme som funktionell enhet vilket möjliggör jämförelse av denna värmepump med alternativa värmekällor.

Vidare kan miljöpåverkan per funktionell enhet beräknas genom att dela de totala utsläppen CO<sub>2</sub>e med värmepumpens totala värmeproduktion under dess förväntade livslängd, detta resulterar i CO<sub>2</sub>e/kWh alltså utsläpp koldioxidekvivalenter per levererad kWh värme.

Detta möjliggör ett sätt att jämföra produkten med andra lösningar men ger inte en helhetsbild då ett flertal andra parametrar och värden måste jämföras för att på ett rättvist sätt kunna jämföra produkter i dess helhet.

## 3.5 Geografiska gränser

Vid utförande av en livscykelanalys är det viktigt att ta hänsyn till var de olika processerna har utförts och använts för att kunna inhämta och säkerställa att korrekt data för systemet används. Detta är viktigt för att kunna beräkna ett så likvärdigt resultat med verkligheten som möjligt. De geografiska regionerna har stor inverkan för de inräknade parametrarna. Beroende på plats kan processer vara olika och på så sätt miljöpåverkan variera från exempelvis energiproduktion, avfallshantering och transport samt miljökänsligheten mot föroreningar (Baumann & Tillman, 2004, s.81). Information om plats för samtliga olika processer är sällan i större utsträckning tillgängliga och ofta svårt att få tag på. Detta kan exempelvis bero på att komponenter efter produktion används och sluthanteras av enskilda kunder på olika ställen, vilket försvårar inhämtning av plats för dessa processer. Vid avsaknad data har generella antaganden om geografisk plats gjorts.

Där information varit tillgänglig har den använts men där mer exakt geografisk information inte varit tillgänglig har "Global" (GLO) eller "Rest of the World" (RoW) använts i OpenLCA beroende på dataset. GLO representerar en genomsnittlig miljöpåverkan av vald process. Dataset kan även ha alternativ mellan specifika platser och RoW där RoW är ett globalt genomsnitt minus de specifika möjliga platserna i datasetet (Ecoinvent, 2023b). Dessa två alternativ har ansetts vara de lämpligaste alternativen där mer detaljerad information har varit avsaknad. Även om det varit känt att största delen av produktionen av värmepumpen skett i ett land i Asien, så har GLO eller RoW ofta använts där dataset ej haft givna värden för processerna för denna plats tillgängligt

## 3.6 Tidshorisont

En livslängd för användningen av systemet är viktig för att utvärdera dess totala påverkan. Livslängden är också viktig att veta för att kunna modellera systemets ingående parametrar i förhållande till den funktionella enheten korrekt. Den förväntade livslängden för värmepumpen är cirka 15 år och är den tidsram som använts för analysen.

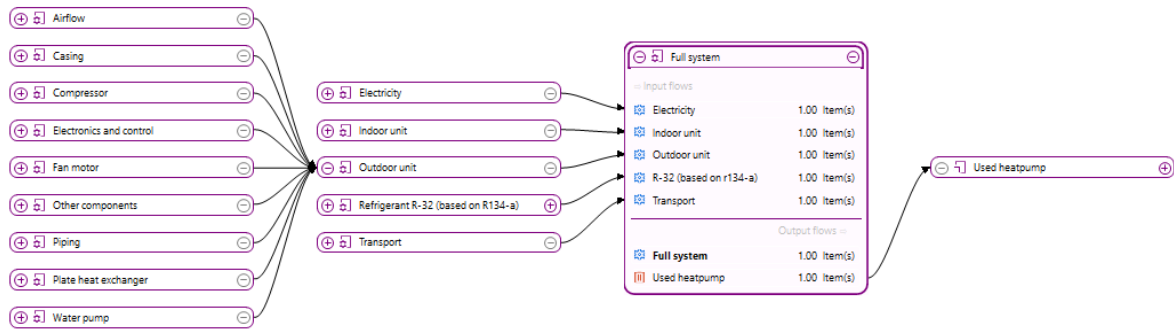
## 3.7 Datainsamling

Datainsamlingen har genomförts för att täcka alla relevanta faser i värmepumpens livscykel som faserna materialutvinning, tillverkning, användning, transport och sluthantering. Avsikten var att införskaffa så tillförlitlig och heltäckande information till varje fas som möjligt. Data som samlades in var från tillverkare, leverantörer och transportörer. Om data saknats har antaganden gjorts. Detaljer om varje fas omfattas nedan.

### 3.7.1 Datamodellering i OpenLCA

För att modellera värmepumpens miljöpåverkan i OpenLCA samt för att kunna göra en jämförelse med en gaspanna har en uppdelning av värmepumpen gjorts i delarna inomhus- respektive utomhusenhet. Inom varje kategori finns ett antal delsystem med komponenter, där varje enskild komponent har tilldelats material, vikt och process. Vidare visas inte en helt expanderad vy innehållande komponenters namn,

vikt och material på grund av att konfidentiell information kring värmepumpen ska bevaras. Men i praktiken, kan användaren expandera varje komponent och se detaljerat för vilka processer och material som kopplats till den. I figur 2 visas en vy som inte är fullt expanderad, men visas nedan för att ge en överblick hur det sett ut i programmet.



Figur 2. Överblick i OpenLCA

För att förtydliga innehållet för de två delarna av värmepumpen, se nedan.

I inomhusenheten ingår bland annat:

- Tank
- Expansionskärl
- Hölje
- Rör
- El- och styrsystem
- Övriga komponenter

I utomhusenheten ingår bland annat:

- Fläktmotor
- Kompressor
- Vattenpump
- Köldmedium (R-32)
- Hölje
- Plattvärmväxlare
- Luftflödeskomponenter
- Rör
- Övriga komponenter

I OpenLCA används olika typer av parametrar, inkluderat i dessa är processer, flöden och leverantörer för att representera varje steg i livscykelanalysen.

En process inom OpenLCA är en mänsklig aktivitet där något omvandlas, det vill säga något sätts in (input) och något kommer ut (output), till exempel produktion av mässing, eller transport med båt.

För att varje process ska avge rätt miljöpåverkan måste de kopplas samman med ett eller flera flöden. Det kan handla om materialflöden, elementäraflöden eller avfallsflöden och dessa flöden utgörs av material eller energi som går mellan processerna.

Vid val av leverantör (provider) i OpenLCA för de material som ingått i denna studie, har det förekommit antingen "Market for X" eller "Production of X", där X är valfritt material i ecoinvent. Det innebär alltså att för varje process som väljs i OpenLCA så måste den kopplas samman med en leverantör för att specificera vilken process som levererat ett visst materialflöde.

*Market*-aktiviteter fungerar genom att samla in information från flera producenter och sedan skapas ett medelvärde alltså ett genomsnittligt utsläpp, därinom ligger även transportsträcka mellan processerna och eventuella förluster av produkten som sker under transporter till producenter och konsumenter (Ecoinvent, 2023c). För att förtydliga eventuella förluster, ges ett exempel på 1 kg frukt, om *Market* används så krävs 1,1 kg frukt eftersom 0,1 kg av frukten blir bioavfall under transporten. Vidare till *Production*-aktiviteter som representerar själva produktionsprocessen utan att ta hänsyn till transport eller efterföljande hantering (Ecoinvent, 2023a). Dessa används då primärproduktionen modelleras, och av den anledningen har *Market*-aktiviteter använts i de flesta processerna i denna livscykelanalys.

### 3.7.2 Materialutvinning och tillverkning

I denna fas omfattas utvinningen av råvaror, det vill säga utvinningen av naturresurser från jorden för att använda dem till tillverkning. Exempelvis metaller, träd och mineralolja för exempelvis produktion av plaster. Vidare ingår tillverkningsprocesser och vissa schablontransporter mellan dessa processer i materialdatseten i Ecoinvent innehållande schablonvärden beroende på vald provider för varje materialtyp.

Data om materialkompositionen har inhämtats från tillverkare via mejl och företaget, då det visat sig vara svårt att få tillgång till en fullständig Bill of Material (BoM)-lista, har en egen BoM-lista skapats. Komponenter har delats in i delsystem för utomhus- respektive inomhusenheten. Vidare har färgkodning använts för att tydliggöra datans ursprung:

- Grön - given data
- Orange – antaganden/approximationer
- Blå - estimerad beräkning

Ett kort urklipp från BoM-listan visas i figur 3 för att ge en inblick i hur strukturen såg ut under arbetets gång.

Component	Weight (kg)	Material	Material grupp	Comment
Plate heat exchanger	5,342			
Plates	2,1	316L	SS	
Housing	2,6	316L	SS	
Gasket/spacing	0,342	rubber	Polythene	
Connections	0,3	Plastic	Polythene	

Figur 3. Urklipp från projektets Bill of Material

Antaganden om vikt har baserats på materials densitet ihop med sprängskisser samt med sökningar på internet för liknande produkter för att uppskatta vikt. Där antaganden av material var nödvändiga gjordes det till mesta del i samarbete med företaget. När beräkningarna utfördes baserades de på givna dokument innehållande dimensioner på komponenterna.

Eftersom en del material inte är inkluderade i Ecoinvent's databas har en lista med material grupper skapats för att kunna användas som närmsta alternativ då korrekt material inte varit tillgängligt i databasen. Exempel på dessa är material grupper är rostfritt stål och polymerer. Vid osäkerheter har antaganden gjorts genom att exempelvis packningar antas vara gjorda av gummi, axlar av stål, skruvar av rostfritt stål, samt att höljen av rostfritt stål eller aluminium. Sammanfattningsvis utfördes antaganden för att få en så fullständig och heltäckande BoM-lista som möjligt för att sedan kunna lägga in och modellera i programmet.

Tillverkningsfasen inkluderar tillverkningsprocesser i fabrik varav exempel på vanliga tillverkningsprocesser är gjutning, valsning eller formsprutning. Materialutvinningen avser produktionen av råvaror medan tillverkningsprocesserna består av olika typer av tillverkningsmetoder efter utvinningen av en råvara.

En exakt och omfattande tillverkning för samtliga komponenter av systemet ligger utanför arbetets möjlighet eftersom det inte har varit möjligt att utvärdera under projektets tidsram. För att kunna ta hänsyn till en del av miljöpåverkan från tillverkningsfasen av de komponenter där enbart en materialkomposition av produkterna har fastställts har vissa tillverkningsprocesser använts. Dessa tillverkningsmetoder är ett antal olika grundtillverkningsprocesser av metaller som finns att tillgå via Ecoinvent. Bland annat har metaller tilldelats processerna nedan:

- Market for steel, chromium steel 18/8, hot rolled (Ecoinvent, 2021i)
- Steel production, low-alloyed, hot rolled (Ecoinvent, 2021k)
- Market for aluminum, wrought alloy (Ecoinvent, 2021a).
- Sheet rolling, copper (Ecoinvent, 2021j).

Processerna ovan representerar de genomsnittliga energibehovet och utsläppet för respektive tillverkningsprocess. Valet av process baserades utifrån varje komponents materialtyp samt typiska industriella grundtillverkningsmetoder för materialet. På grund av detta var det möjligt att ta hänsyn till en del av klimatpåverkan från tillverkningsfasen av de material där enbart information om materialkomposition var möjlig att införskaffa under tidsramen.

Ett antal komponenter har modellerats med hjälp av olika dataset för färdiga produkter från Ecoinvent. Detta har gjorts då dessa dataset antagits ge ett mer

noggrant och verklighetsnära resultat än vad som hade varit möjligt att beräkna med enbart antaganden om materialkomposition och tillverkningsmetoder för dessa komponenter.

För de kretskort som finns inuti värmepumpen har datasetet "Market for printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb free" (Ecoinvent, 2021e) använts för att representera kretskorten i värmepumpen. Allt elektriskt kablage i systemet har modellerats med hjälp av "Market for cable, unspecified" (Ecoinvent, 2021b). På inomhusenhetens framsida sitter en LCD "Market for liquid crystal display, unmounted" (Ecoinvent, 2021d) som använts för att ta hänsyn till denna komponent.

Eftersom Ecoinvent inte har R-32 tillgängligt för alla processer som analysen vill utvärdera användes befintliga dataset för köldmedium R-134a. För att kunna använda R-134a's olika dataset gjordes en linjär approximation av R-32's påverkan i förhållande till R-134a's. Detta gjordes med Characterization factors/GWP (Ecoinvent, 2024b) för Difluoromethane (R-32) och Tetrafluoroethane (R-134a) som hämtades från IPCC 2013. Approximationen av påverkan gjordes genom att dividera characterization factors från R-32 med R-134a vilket gav en faktor på 0,519 som sedan multiplicerats med totalvikten på 1,8 kg, vilket medförde att cirka 0,93 kg R-134a motsvarar 1,8 kg R-32 för approximationen. Vidare för att ta hänsyn till framställning av köldmediet användes "Tetrafluoroethane production" (Ecoinvent, 2021i) som lades till i OpenLCA som ett elementärt flöde med vikten 0,93 kg enligt den linjära approximationen.

### 3.7.3 Användning

I denna analys antas systemet vara underhållsfritt och inte ha någon påfyllnad av köldmedium, och användningsfasen består därför enbart av den totala energikonsumtionen under värmepumpens förväntade livslängd på 15 år. Denna information hämtades från företaget där beräkningar av levererad värme grundades utifrån ett hushåll i Tyskland, med en bostadsyta på 150 m<sup>2</sup>. Beräkningen var även grundad på företagets genomsnittliga kunds behov av uppvärmning i form av tappvarmvatten och rumsuppvärmning i landet. Givet är att systemet kräver en energikonsumtion på 3153 kWh per år för att denna konfiguration skall kunna leverera behovet av värme. Genererad värme i form av tappvarmvatten var 8483 kWh och 3650 kWh för varmluft per år, och den totala mängden levererad energi är därmed 3650 + 8483 = 12133 kWh/år. Systemet har alltså med denna konfiguration för beräkningen en effektivitet på 384%. Värmepumpen kan enbart utföra antingen uppvärmning av tappvatten eller luft vid ett givet tillfälle. Men eftersom värmepumpen producerar både tappvarmvatten och rumsuppvärmning, har användningsfasen hanterats som en multifunktionell process även om dess funktioner inte utförs vid exakt samma ögonblick. Med hjälp av detta har det varit möjligt att beräkna allokeringen av dessa funktioner genom att dividera den producerade energin för respektive funktion med den totala mängden levererad energi.

- För uppvärmning av luft:  $8483 / 12133 = 70 \%$
- För tappvarmvatten:  $3650 / 12133 = 30 \%$

Gällande den data som matats in i OpenLCA, så har den beräknats genom att ta det genomsnittliga energibehovet på 3153 kWh per år, multiplicerat med livslängden 15 år. Vilket resulterade i en total input av 47295 kWh för hela dess livslängd. Dessutom användes tysk energimix "market for electricity, low voltage" (Ecoinvent, 2021c) i OpenLCA.

### 3.7.4 Transport

Information om transporter har inhämtats från transportörer och leverantörer. I transportanalysen har de tre viktigaste faktorerna beaktats vilka är sträcka, vikt och typ av transport. För att kunna utföra analysen valdes en sträcka mellan Kina och Sverige där avståndet beräknats till 18914 km, samt 70 km från hamn till distributör. Transport till kund har exkluderats enligt ett "Polluter pays" perspektiv. Således har transporten modellerats med att större delen av transporten utgjorts av båtfrakt, samt en mindre sträcka med lastbil.

Den totala vikten för värmepumpen och dess tillhörande varmvattenberedare uppgår till 213 kg, vilket är den vikt som används i beräkningarna.

Transporten angavs i OpenLCA som kilogramkilometer, vilket motsvarar:

- Sjötransport:  $18914 \times 213 = 4028682$  kg km
- Vägtransport:  $70 \times 213 = 14910$  kg km
- Total transport = 4043592 kg km

Dessa värden har använts som indata i OpenLCA och kopplats till relevanta transport dataset från Ecoinvent's databas. Vilket ger klimatpåverkan i form av CO<sub>2e</sub> utifrån angivna parametrar.

### 3.7.5 Sluthantering

Sluthantering kräver information om återvinningsgraden samt hur materialen hanteras när systemet har nått slutet av sin livslängd. Eftersom specifik information för detta är svår att införskaffa och samtidigt representera ett genomsnitt för varje enskilt fall, har i stället generell data kring genomsnittliga återvinningsgrader inom EU använts utefter en studie. Utifrån denna information har fokus lagts på tre metaller, dels för att de har hög återvinningsgrad, dels för att de använts i rapporten där jämförelse med gaspannan utförts. De tre metallernas återvinningsgrad är enligt (PASSARINI et al., 2018):

- Stål 75%
- Aluminium 69%
- Koppar 61%

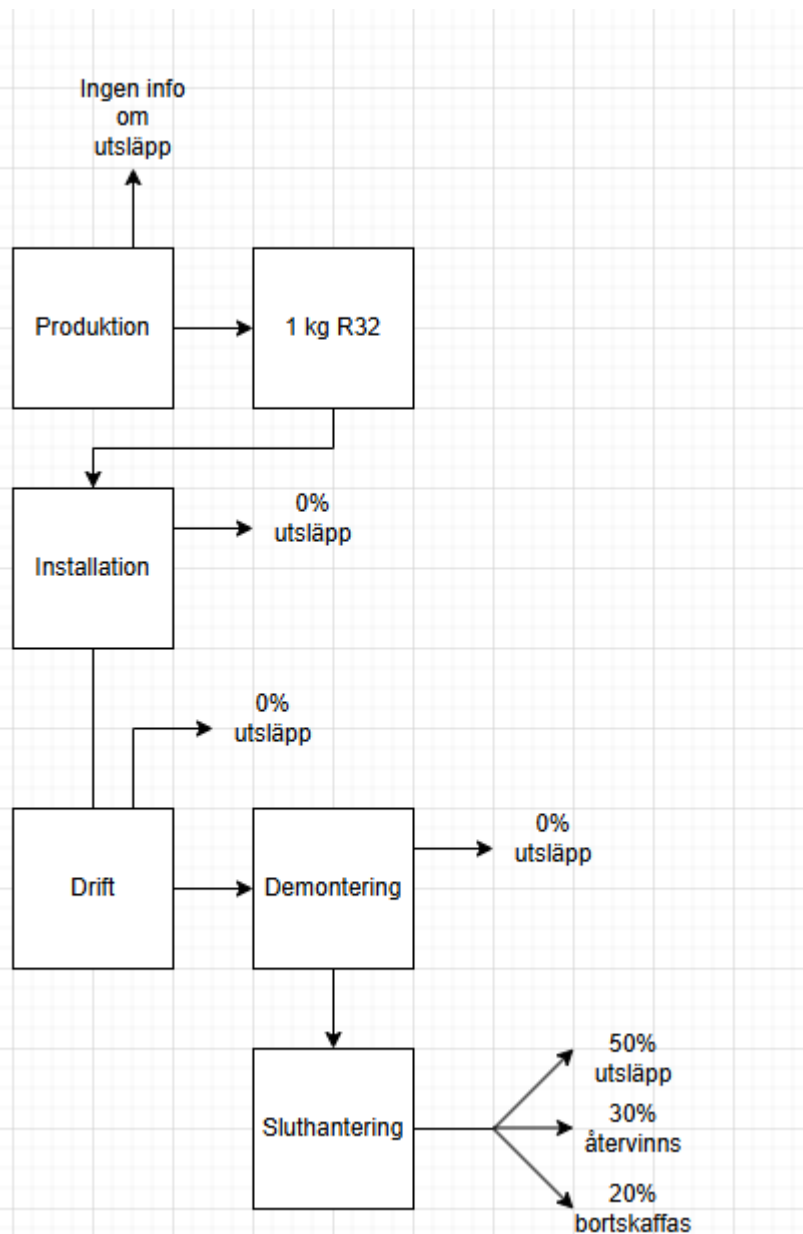
Eftersom själva återvinningsprocessen av materialen är utanför projektets systemgräns på grund av att systemmodell inte tar hänsyn till återvinningen har antaganden för sluthantering av den resterande procentuella mängd av de material, alltså den mängd som inte återvinns gjorts. Resterande mängd stål,

aluminium och koppar antas deponeras. Materialen har modellerats i OpenLCA genom att lägga in vikterna för denna mängd stål, aluminium och koppar. Utöver detta antas även all plast sluthanteras genom förbränning. De dataset som använts för detta var:

- Market for scrap steel (Ecoinvent, 2021h)
- Market for scrap aluminium (Ecoinvent, 2021f)
- Market for scrap copper (Ecoinvent, 2021g)
- Treatment of waste plastic, mixture, municipal incineration (Ecoinvent, 2021n)

Dataseten för metallerna tar hänsyn till schablontransport mellan processtegen och förbränning. Processen som valdes för all plast tar enbart hänsyn till förbränning av materialet. Andra material och komponenter så som elektronik och keramer har exkluderats från sluthanteringsfasen på grund av att de har låg återvinningsgrad samt att det förväntas ge ett avsevärt lågt bidrag till den totala klimatpåverkan.

Vidare för att inkludera sluthantering av köldmediet R-32 har "Treatment of used refrigerant R134a, reclamation" (Ecoinvent, 2021m) använts med samma linjära approximation som för produktionen av köldmediet. På grund av att systemet inte antas ha något utsläpp under användningen, så sluthanteras hela den grundliga mängden på 1,8 kg. Eftersom köldmediet har ett högt GWP så tydliggörs det nedan i figur 4, hur och i vilken mängd datasetet beräknar sluthantering av köldmediet. I figuren illustreras även köldmediets utsläpp under livscykel nedan för att tydligt visa vilka utsläpp som angetts, och givits av dataseten för att ta hänsyn till köldmediets klimatpåverkan.



Figur 4. Klimatpåverkande faktorer för R-32 under värmepumpens livscykel.

## 4. Resultat

Resultaten från livscykelanalysen presenteras i detta kapitel, med fokus på hur klimatpåverkan fördelas för hela systemet, inklusive komponenter och faser. Det ingår även ett delkapitel om funktionell enhet och allokering. Kapitlet avslutas sedan med en jämförelse av värmepumpen och en gaspanna.

### 4.1 Resultat Funktionell enhet

Vid beräkning av det slutliga resultatet för samtliga livscykelphaser uppkommer det totala utsläppet av växthusgaser avrundat till  $2,65 \times 10^4$  kg CO<sub>2</sub>e. För att beräkna den funktionella enheten alltså klimatpåverkan per kWh levererad värme divideras den totala mängden CO<sub>2</sub>e med systemets producerade mängd värme givet utifrån energiberäkning i kapitel 3.7.3.

Den totala mängden producerad värme under värmepumpens livstid:

$$12\,133 \text{ kWh} \times 15 = 181\,995 \text{ kWh}$$

Den funktionella enheten per kWh för värmepumpens hela livscykel har beräknats enligt nedan:

$$\frac{(2,65 \times 10^4 \times 10^3) \text{ g CO}_2\text{e}}{181\,995} = 145,6 \text{ g CO}_2\text{e/kWh}$$

Vidare fördelas allokeringen av den multifunktionella processen av uppvärmning av vatten och luft per funktionell enhet enligt nedan:

Uppvärmning vatten:

$$145,6 \times 0,7 = 101,92 \text{ g CO}_2\text{e/kWh}$$

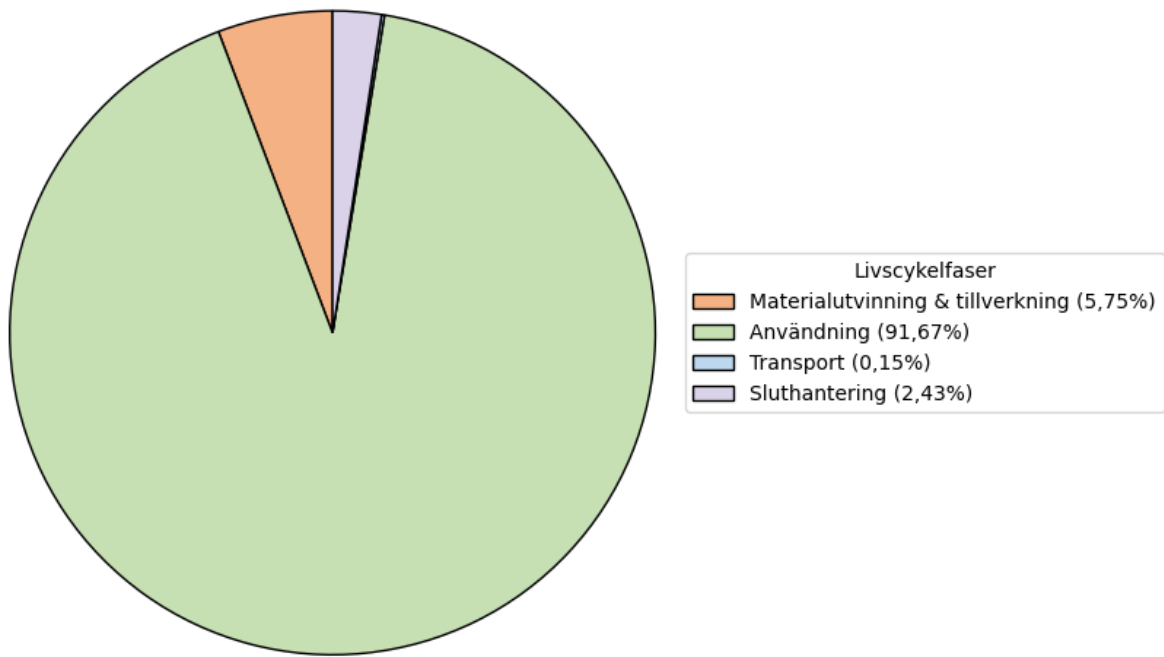
Uppvärmning luft:

$$145,6 \times 0,3 = 43,68 \text{ g CO}_2\text{e/kWh}$$

### 4.2 Klimatpåverkan per livscykelphas

För att förtydliga hur klimatpåverkan är fördelad mellan värmepumpens livscykelphaser illustreras detta i figur 5. Där visas att användningsfasen står för (91,67 %), följt av tillverkning och materialutvinning inkluderat (5,75 %), sluthantering (2,43 %) och transport (0,15 %). Det är tydligt från resultaten att det är användningsfasen som står för allra störst delen av klimatpåverkan och att fokus bör läggas på just den fas för att förbättra värmepumpens klimatpåverkan.

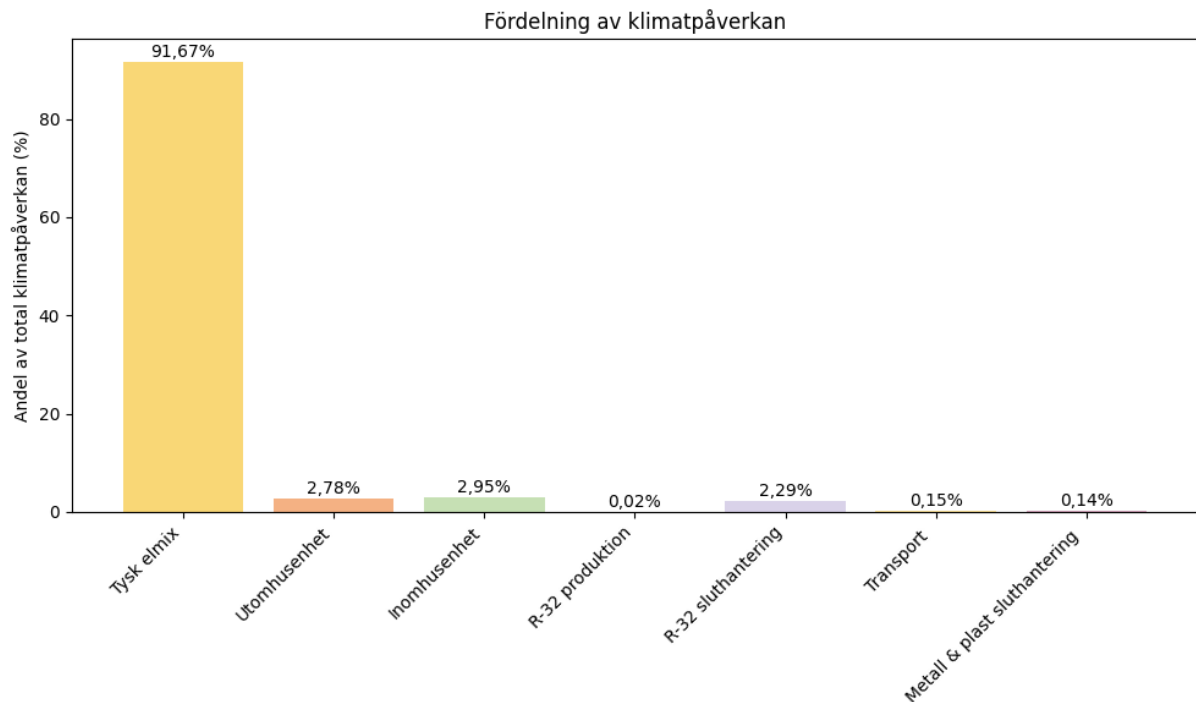
## Klimatpåverkan per livscykel fas (CO<sub>2</sub>e)



Figur 5. Klimatpåverkan per livscykel fas

### 4.3 Fördelning av klimatpåverkan

Nedan i figur 6 visas hur den totala klimatpåverkan fördelas mellan olika delar av systemet under värmepumpens livscykel. Resultatet baseras på data från OpenLCA, se bilaga 1, och utgörs som en andel av den totala klimatpåverkan  $2,65 \times 10^4$  kg CO<sub>2</sub>e.

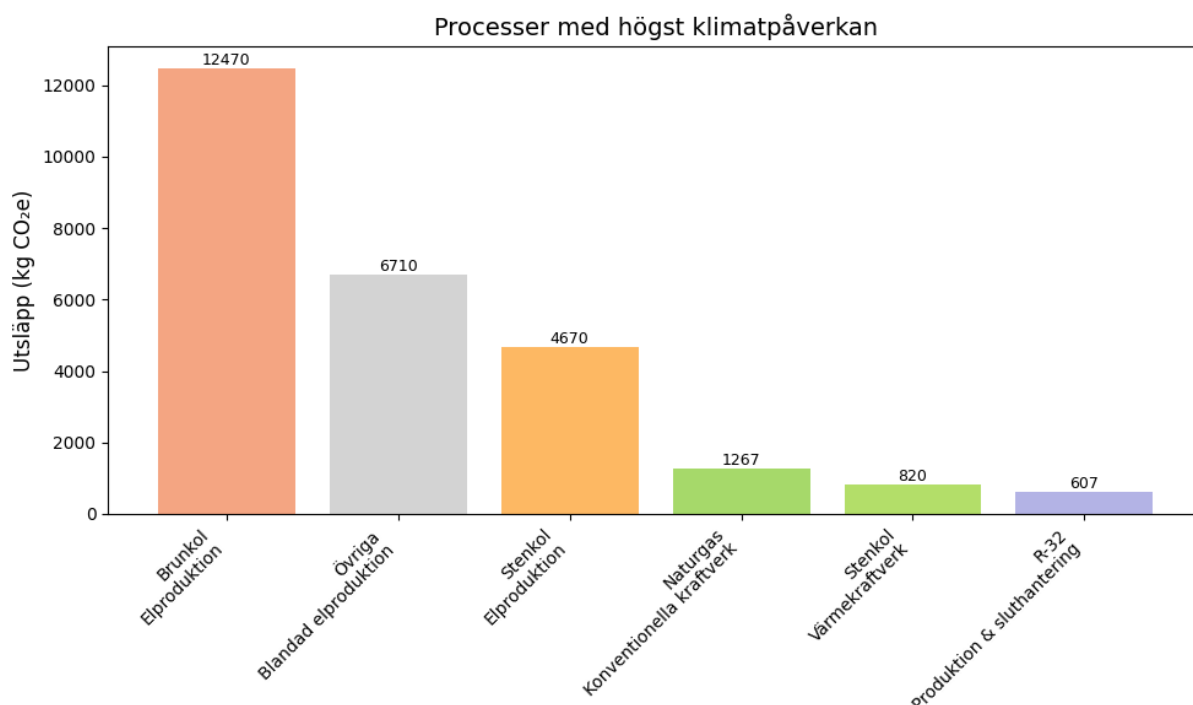


Figur 6. Fördelning av klimatpåverkan

Att det är just elförbrukningen under användningsfasen som har störst klimatpåverkan (91,67 %) är inte helt oväntat eftersom tysk elmix innehåller kolkraft, där en stor andel är brunkol med en stor klimatpåverkan. Utöver elförbrukningen under användning bidrar även utomhus- och inomhusenheten med (2,78 %) respektive (2,95 %) och de består främst av utsläppen från energianvändning under materialutvinning och tillverkningen av värmepumpen med tillbehör. Sedan står produktionen av R-32 för (0,02 %) följt av läckage vid sluthantering av R-32, (2,29 %). Transport utgör endast (0,15 %) och sluthantering av metall och plast endast (0,14 %). Att sluthantering av metaller och plast har såpass låg påverkan sett till hela livscykeln beror troligtvis på att återvinning inte ingår i sluthanteringen på grund av Ecoinvent's cut-off metod.

#### 4.4 Processer med högst klimatpåverkan

Resultatet från processer med högst klimatpåverkan har hämtats från OpenLCA se bilaga 2, och visualiseras med ett stapeldiagram i figur 7. Detta baseras på metoden IPCC 2013 GWP 100a.



Figur 7. Processer med högst klimatpåverkan

Från figur 7 framgår att elproduktion från brunkol bidrar mest till klimatpåverkan. Det visar även tydligt att det framför allt är elproduktionen som bidrar till den största delen av klimatpåverkan hos värmepumpen. Vidare står kylmedlet R-32 för en stor del av den totala miljöpåverkan trots dess låga vikt, vilket beror på dess höga GWP-värde på 677 kg CO<sub>2</sub>e / kg ihop med hur databasen räknar på att det sluthanteras.

## 4.5 Komponenter med högst klimatpåverkan

För att identifiera de komponenter med högst klimatpåverkan, har data inhämtats från "bidragsträdet" som anges när resultat beräknas i OpenLCA. Resultatet baseras även här på GWP IPC2013 och har delats upp för inomhusenheten och utomhusenheten. Resultatet för inomhus- respektive utomhusenheten visas i tabell 1 och 2. Eftersom vissa komponenter har modellerats med hjälp av dataset innehållande en omfattande produktion och materialutvinning, och vissa enbart med tilldelat material, alltså materialutvinningen tillsammans med grundtillverkningsprocesser så bör dessa resultat ses som en inblick och ej en fullständig analys gällande klimatpåverkan per komponent.

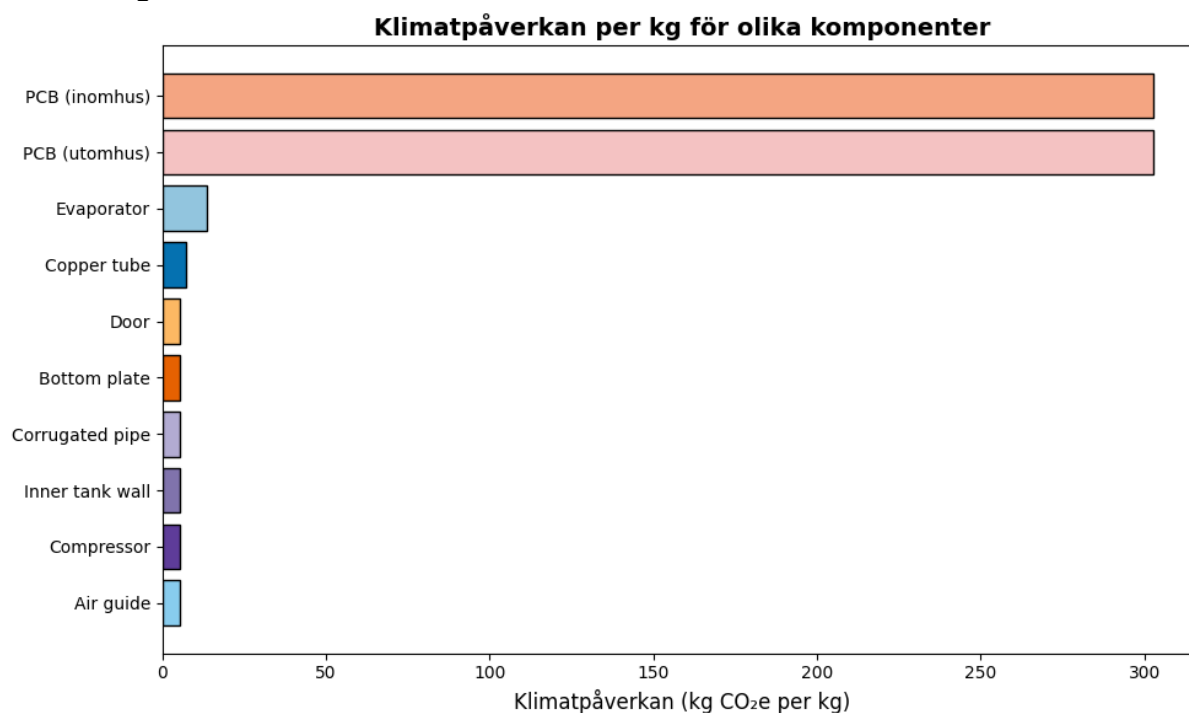
Tabell 1. Resultat för inomhusenheten

Påverkansandel [%]	Komponent	Mängd	Enhet	Totalt resultat [kg CO <sub>2</sub> e]
2,95	Indoor unit	1,0	Antal	781,98
0,68	PCB	0,6	kg	181,55
0,66	Inner tank wall	34,2	kg	175,76
0,25	Walls	12,92	kg	66,50
0,22	Copper tube	8,3	kg	59,15
0,14	Corrugated pipe	7,45	kg	38,29

Tabell 2. Resultat för utomhusenheten

Påverkansandel [%]	Komponent	Mängd	Enhet	Totalt resultat [kg CO <sub>2</sub> e]
2,78	Outdoor unit	1,0	Antal	738,76
0,65	Evaporator	12,7	kg	172,66
0,46	PCB	0,4	kg	121,03
0,20	Compressor	10,4	kg	53,44
0,17	Bottom plate	8,8	kg	45,27
0,13	Air guide	6,94	kg	35,66

Utöver totalklimatpåverkan har även klimatpåverkan per kg komponent beräknats för de komponenter med högst klimatpåverkan. Se figur 8. Detta ger en indikation på komponenter och material som bör analyseras mer noggrant för att möjliggöra förbättringar, eller material som bör undvikas.



Figur 8. Klimatpåverkan för olika komponenter

De komponenterna med högst klimatpåverkan per kg, är kretskorten för både inomhus- och utomhusenheterna följt av förångare, kopparrör och dörr. Detta

resultat indikerar att det är komponenter med elektronik som har överlägset högst klimatpåverkan per kg. Att "printed circuit board" (PCB) har hög klimatpåverkan beror på att den kräver tillverkningsprocesser som är energikrävande, vilket gör klimatpåverkan stor, trots att den har en låg vikt.

## 4.6 Jämförelse gaspanna

En jämförelse med en gaspanna har gjorts baserat på en studie (Naumann et al., 2022). I studien används ett exempel på ett nybyggt hushåll för en familj i södra Tyskland på 150 m<sup>2</sup>. Vidare grundar sig referensvärdet i studien på en analys gjord med samma systemmodell och med samma databas (fast tidigare version) med samma funktionella enhet som denna studie (1 kWh av levererad värme), bortsett från att enheten MJ används i rapporten. För att möjliggöra en rättvis jämförelse av klimatpåverkan krävs det att samma enheter och livscykel faser studeras. Därför exkluderas resultaten från 250 L tanken med tillbehör och transport. Eftersom båda livscykelanalyserna ser till uppvärmning av ett hushåll av samma storlek i samma land tillsammans med ett flertal andra parametrar, så anses energiberäkningen ta hänsyn till uppvärmning under tillräckligt lika förutsättningar för denna analys för att kunna göra en jämförelse. En omvandling av den funktionella enheten från kg CO<sub>2e</sub> / kWh till g CO<sub>2e</sub> / MJ visas nedan.

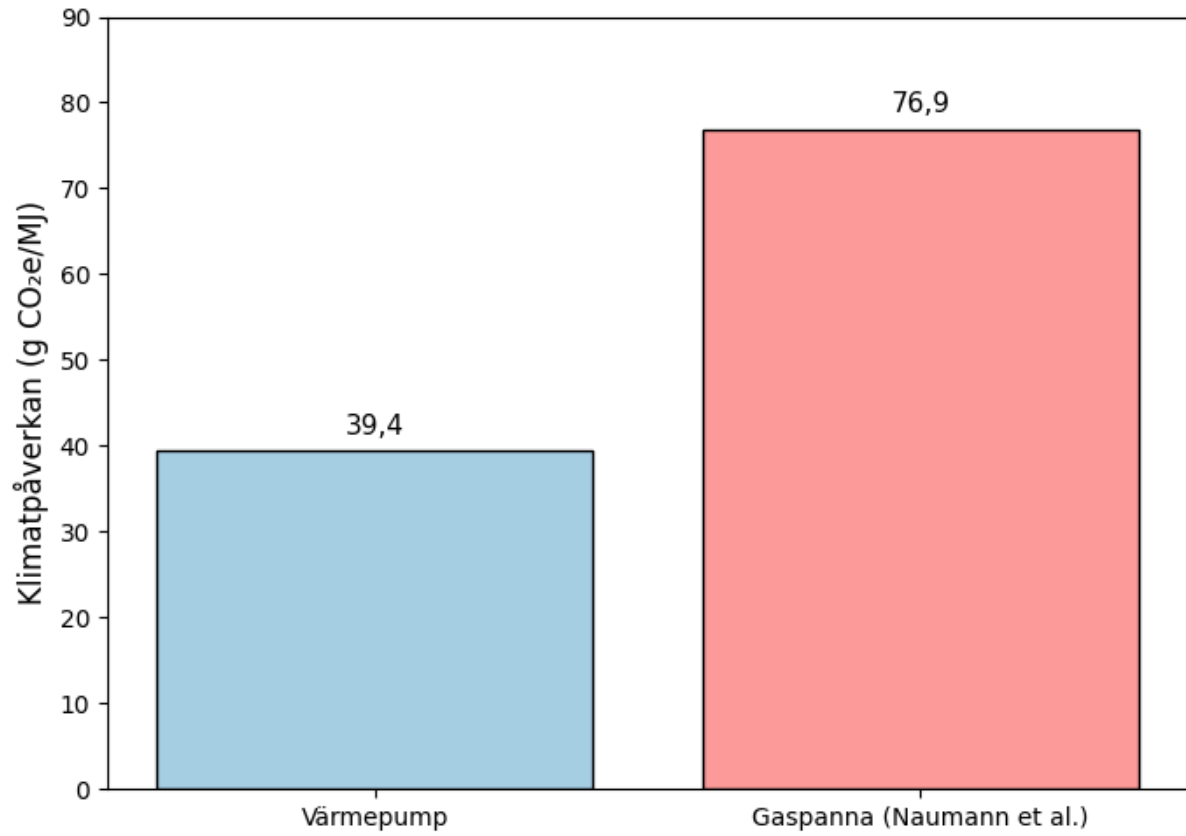
Den totala mängden producerad värme under värmepumpens livstid:

$$12\,133 \text{ kWh} \times 15 \times 3,6 = 655\,182 \text{ MJ}$$

Den funktionella enheten för värmepumpen per MJ har beräknats enligt nedan:

$$\frac{(2,58 \times 10^4 \times 10^3) \text{ g CO}_2\text{e}}{655\,182} = 39,4 \text{ g CO}_2\text{e} / \text{MJ}$$

Från rapporten har data hämtats för gaspannan och uppmätts till 76.9 g CO<sub>2e</sub>/MJ. Vidare står användningsfasen för de båda systemen för den största klimatpåverkan där gaspannans förbränning av naturgas står för 80% av del totala klimatpåverkan. Jämförelsen visualiseras i figur 9.



Figur 9. Jämförelse av klimatpåverkan från värmepump och gaspanna.

## 5. Diskussion och slutsats

I detta kapitel diskuteras den valda metoden och erhållet resultat, följt av förbättringsförslag samt slutsats. Kapitlet avslutas med studiens viktigaste osäkerheter.

### 5.1 Diskussion av metod

Den förenklade livscykelanalysen som har genomförts, har visat sig vara användbar för att skapa en överblick av värmepumpens klimatpåverkan. Valet av attributionell LCA alltså systemmodellen "allocation, cut-off by classification" ihop med programvaran OpenLCA har möjliggjort en effektiv analys på så sätt att analysen kunnat ta hänsyn till stora delar av värmepumpens livscykel. Denna metod är också speciellt bra för denna studie, eftersom syftet varit att undersöka aktuell klimatpåverkan, snarare än konsekvenser från framtida förändringar.

Dock innebär metodvalet en del begränsningar, till exempel så exkluderas miljöpåverkan av återvinning, vilket medför att klimatpåverkan blir lägre för sluthantering än vad den är i verkligheten. Men det bör tilläggas att detta val är det mest rimliga alternativet på grund av högre komplexitet hos andra systemmodeller och eftersom det ger en tydlig bild av värmepumpens nuvarande klimatpåverkan.

Att analysen är förenklad har också varit en medveten avvägning av olika faktorer så som detaljnivå av tillgänglig data och genomförbarhet sett till tidsramen. Eftersom all data inte har varit tillgänglig så har antaganden gjorts. Detta speglar vanliga utmaningar inom LCA, där data ofta är bristfällig på komponentnivå. Att viss data inte varit tillgänglig har troligtvis berott på att det är komplicerat och tidskrävande att skapa en materialkompositionslista ner till minsta binståndsdel, samtidigt som företag sällan kräver tillgång till en fullständig BoM-lista och på så sätt inte har det tillgängligt. Dessutom är dessa material- och komponentlistor ofta konfidentiella för att konkurrenter inte ska kunna utnyttja dem. Med tanke på att fler människor och företag har ett ökat miljöfokus, där samverkan kan underlätta miljöarbetet, finns det en möjlighet att denna typ av data blir mer lättillgänglig i framtiden.

Sammanfattningsvis bedöms metoden som välanpassad till denna studie, på grund av att den lämpar sig väl till studiens syfte, och är dessutom tillräcklig för att identifiera de viktigaste faserna och komponenterna sett från ett klimatperspektiv.

### 5.2 Diskussion av resultat

De mest framträdande resultaten diskuteras i detta delkapitel. Det är särskilt intressant att det är användningen av värmepumpen som står för 91,67 % av klimatpåverkan. Det beror på att tysk elmix innehåller kolkraft, som har en hög klimatpåverkan, inte minst från brunkol.

En annan faktor i resultatet som är intressant är att den totala klimatpåverkan för produktion och materialutvinning för värmepumpen endast står för 5,7 %, vilket motsvarar 1521 kg CO<sub>2</sub>e. Detta kan bero på analysens avgränsningar men även att komponenterna kan vara tillverkade av miljövänliga material, eller att de tillverkats med miljövänliga metoder. En annan möjlig förklaring skulle kunna vara om

Ecoinvent's databas använder optimerade processer i sin modell och klimatpåverkan därav blir lägre. Även metoden "cut-off by classification" skulle kunna vara en bidragande faktor till en lägre klimatpåverkan eftersom den metoden medför att återvinningsbara material inte tilldelas någon klimatpåverkan av återvinningsprocessen.

Det är särskilt tydligt att elektroniska komponenter har mycket högre klimatpåverkan per kg, än de komponenter som är mer homogena rent materialmässigt. Detta skulle kunna förklaras genom att det är så många olika material inblandande i tillverkningen, och att processerna är energikrävande, vilket gör att klimatpåverkan blir mycket högre.

Vidare framstår påverkan från transport (0,15%) och sluthantering av metall och plaster (0,14%) som näst intill försumbara. Detta beror troligtvis på att transporten modellerats med största delen sjötransport, vilket anses vara ett miljövänligt transportsätt (Svensk Sjöfart, 2022). När det gäller sluthantering, så tas inte återvinning till hänsyn på grund av cut-off principen och därmed blir resterande sluthanteringen relativt låg.

Vid jämförelse med rapporten (Naumann et al. 2022) för gaspannan, blir det tydligt att värmepumpen har en lägre klimatpåverkan 39,4 g CO<sub>2</sub>e/MJ jämfört med 76,9 g CO<sub>2</sub>e/MJ. Detta beror på ett flertal orsaker men främst på att värmepumpen har en högre verkningsgrad (ett högre COP-värde) än gaspannan, som resulterar i att användningsfasen bestående av energikonsumtionen har en lägre klimatpåverkan per levererad megajoule värme jämfört med förbränning av naturgas.

### 5.3 Vidareutveckling och förbättringar

Utifrån analysens resultat är det tydligt att förbättringsåtgärder bör riktas främst på användningsfasen, på grund av att det är där störst klimatpåverkan sker över värmepumpens hela livscykel. Eftersom elförbrukningen är direkt kopplat till landets energimix, är det viktigt att se över alternativa energikällor, så som förnybara energikällor. Detta ligger dock utanför företagets kontroll, men att informera kunder om hur stor påverkan energimixen har, skulle potentiellt kunna få kunder att välja ett miljövänligare alternativ och således minska värmepumpens klimatpåverkan under dess livscykel. Däremot något som ligger inom företagets kontroll, är effektiviteten av värmepumpen och således hade det varit något som kunnat förbättra klimatpåverkan. Hur detta skulle kunna förbättras med dagens optimerade värmepumpar är något som ligger utanför studiens omfattning.

Vidare kan det också vara möjligt att ersätta vissa komponenter med hög klimatpåverkan per kg hos värmepumpen till miljövänligare alternativ. Exempelvis elektroniska komponenter skulle eventuellt kunna bytas ut till miljövänligare alternativ. Att tillägga så tar denna analys enbart hänsyn till klimatpåverkan, och då har komponenterna generellt inte särskilt stor påverkan. Hade analysen däremot tagit hänsyn till cancerogena ämnen, vattenförsurning eller andra påverkanskriterier, så hade troligtvis olika komponenter haft större påverkan.

Ett annat utvecklingsområde skulle kunna var "Design för miljön" som innebär att hänsyn tas till miljön redan under konstruktionen av värmepumpen. Genom att

minska komplexiteten av material, hitta ett enklare sätt för montering och demontering, eller att välja komponenter med lägre klimatpåverkan.

När det gäller köldmedium R-32, finns det förbättringar att göra eftersom köldmediet står för en relativt stor andel av totala utsläppen. En potentiell förbättringsåtgärd skulle kunna bestå av att byta ut R-32 till något alternativ med lägre klimatpåverkan. En annan förbättringsåtgärd skulle kunna vara att ännu mer minska riskerna för läckage under montering och användning genom förbättrad design för att förhindra läckage av köldmedium som har oerhört stor klimatpåverkan vid utsläpp. Produktionen och sluthantering av R-32 står för relativt hög andel av klimatpåverkan men är utanför företagets kontroll, och därför skulle det mest fördelaktiga vara att helt och hållet byta R-32 till något miljövänligare alternativ, där läckage inte har så stor påverkan som just R-32 har. Även om det ligger innanför företagets kontroll att påverka mängden utsläpp under installation och drift så är det omöjligt att ha noll utsläpp av köldmedium.

## 5.4 Slutsats

Livscykelanalysen har visat att användningsfasen hos värmepumpen står för den största klimatpåverkan, främst på grund av elförbrukningen. Komponenter som kretskort och annan elektronik bidrar med högst klimatpåverkan per kg. Förslag på förbättringsåtgärder inkluderar att informera kunder om att välja fossilfri el, eller att om möjligt utveckla ännu effektivare drift av värmepumpen. Jämförelsen med gaspannan visar att värmepumpen har betydligt lägre klimatpåverkan per levererad megajoule värme och att värmepumpen effektivt kan minska sin klimatpåverkan med en miljövänligare elmix och på så sätt bli ett ännu mer hållbart alternativ. Resultatet medför ett värdefullt underlag för fortsatt miljöarbete och för prioritering av förbättringsarbete.

## 5.5 Diskussion kring osäkerheter i analysen

När livscykelanalys genomförs uppstår det alltid olika typer av osäkerheter kring metodiken, antaganden som gjorts och data som kanske inte är helt korrekt. De osäkerheter som förekommit i detta arbete diskuteras i detta delkapitel.

Data som inhämtats i form av olika dokument gällande komponenter har ofta varit på kinesiska, som översatts till svenska eller engelska. Detta är en osäkerhet eftersom det är svårt att validera om översättningen gjorts korrekt. Men denna osäkerhet har inte stor inverkan på resultatet, eftersom komponenterna inte har stor påverkan på analysen som helhet.

En del begränsningar har även förekommit under arbetet, exempelvis har vissa komponenter modellerats med färdiga dataset i Ecoinvent medan andra inte har det. Detta påverkar resultatet, och därför är det viktigt att ta det i beaktning när resultatet analyseras. Det bör tilläggas att avgränsningarna som gjorts inte hade bidragit till en större skillnad av klimatpåverkan jämfört med en omfattande och högre detaljerad livscykelanalys. Detta på grund av att analysen enbart fokuserar på klimatpåverkan där dessa processer ej är särskilt stora sett till klimatpåverkan och hela livscykeln. Alltså att de tillverkningsprocesserna som avgränsats för de komponenter som

enbart modellerats med material och grundtillverkningsprocess inte hade utgjort så stor andel av den totala klimatpåverkan under hela värmepumpens livscykel.

Vidare har en del förenklingar gjorts när de gäller datamodellering, bland annat vid tillverkningsfasen eftersom viss information saknats har den modellerats utifrån antaganden eller annan information. Därför uppstår osäkerheter kring detta, och påverkar resultatet i en viss grad.

Ecoinvent anses som en av de bästa databaserna när det gäller livscykelanalys men även där finns det osäkerheter. IPCC 2013, som används i detta arbete skiljer sig jämfört med senare versioner, så som IPCC 2020. Detta beror troligtvis på att nya beräkningar och ny data har använts till de senare modellerna. En annan osäkerhet är att de geografiska områden som använts vid modelleringen av värmepumpen i OpenLCA inte exakt speglar de korrekta platserna eller inte finns tillgängliga. Till exempel så används dataset som "rest of the world" eller "global", när det i vissa fall är ett specifikt områdes process som önskats modellerats, och därför är detta en osäkerhet som påverkar resultatet.

Trots de osäkerheter som finns kring livscykelanalysen bedöms resultaten för hela värmepumpens livscykel som tillräckliga för att ge en god överblick för värmepumpens klimatpåverkan utifrån studiens omfattning och tidsbegränsning.

## 6. Referenser

- Baumann, H., & Tillman, A.-M. (2004). *The Hitch Hiker's Guide to LCA: An orientation in life cycle assesment methodology and application*. (1st ed., Vol. 1). Studentlitteratur.
- Center For Climate And Energy Solutions. (2025). *Main Greenhouse Gases - Center for Climate and Energy Solutions* Center for Climate and Energy Solutions. C2ES. <https://www.c2es.org/content/main-greenhouse-gases/>
- Ecoinvent. (2021a). *market for aluminium, wrought alloy - Global - aluminium, wrought alloy | ecoQuery*. Ecoinvent. <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.8/cutoff/dataset/5813/documentation>
- Ecoinvent. (2021b). *market for cable, unspecified - Global - cable, unspecified | ecoQuery*. Ecoinvent. <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.8/cutoff/dataset/3606/documentation>
- Ecoinvent. (2021c). *market for electricity, low voltage - Germany - electricity, low voltage | ecoQuery*. Ecoinvent. <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.11/cutoff/dataset/5460/documentation>
- Ecoinvent. (2021d). *market for liquid crystal display, unmounted - Global - liquid crystal display, unmounted | ecoQuery*. Ecoinvent. <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.8/cutoff/dataset/8791/documentation>
- Ecoinvent. (2021e). *market for printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb free - Global - printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb free | ecoQuery*. Ecoinvent. <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.8/cutoff/dataset/8304/documentation>
- Ecoinvent. (2021f). *market for scrap aluminium - Rest-of-World - scrap aluminium | ecoQuery*. Ecoinvent. <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.8/cutoff/dataset/14648/documentation>
- Ecoinvent. (2021g). *market for scrap copper - Rest-of-World - scrap copper | ecoQuery*. Ecoinvent. <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.8/cutoff/dataset/14783/documentation>
- Ecoinvent. (2021h). *market for scrap steel - Rest-of-World - scrap steel | ecoQuery*. Ecoinvent. <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.8/cutoff/dataset/14918/documentation>
- Ecoinvent. (2021i). *market for steel, chromium steel 18/8, hot rolled - Global - steel, chromium steel 18/8, hot rolled | ecoQuery*. Ecoinvent. <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.8/cutoff/dataset/3231/documentation>
- Ecoinvent. (2021j). *sheet rolling, copper - Rest-of-World - sheet rolling, copper | ecoQuery*. Ecoinvent. <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.8/cutoff/dataset/4877/documentation>
- Ecoinvent. (2021k). *steel production, low-alloyed, hot rolled - Rest-of-World - steel, low-alloyed, hot rolled | ecoQuery*. Ecoinvent. <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.8/cutoff/dataset/10046/documentation>
- Ecoinvent. (2021l). *tetrafluoroethane production - Global - tetrafluoroethane | ecoQuery*. Ecoinvent. <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.8/cutoff/dataset/9501/documentation>
- Ecoinvent. (2021m). *treatment of used refrigerant R134a, reclamation - Global - refrigerant R134a | ecoQuery*. Ecoinvent. <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.8/cutoff/dataset/12495/documentation>

- Ecoinvent. (2021n). *treatment of waste plastic, mixture, municipal incineration - Rest-of-World - waste plastic, mixture | ecoQuery*. Ecoinvent.  
<https://ecoquery.ecoinvent.org/3.8/cutoff/dataset/10752/documentation>
- Ecoinvent. (2023a, October 24). *Activities and Products*. Ecoinvent.  
<https://support.ecoinvent.org/activities-products#Activities>
- Ecoinvent. (2023b, October 24). *Geographies*. Ecoinvent.  
<https://support.ecoinvent.org/geographies>
- Ecoinvent. (2023c, October 24). *Market Activities*. Ecoinvent.  
<https://support.ecoinvent.org/market-activities>
- Ecoinvent. (2023d, October 28). *ecoinvent Version 3.8*. Ecoinvent.  
<https://support.ecoinvent.org/ecoinvent-version-3.8>
- Ecoinvent. (2024a, February 14). *System Models*. Ecoinvent.  
<https://support.ecoinvent.org/system-models>
- Ecoinvent. (2024b, November 18). *Impact Assessment*. Ecoinvent.  
<https://support.ecoinvent.org/impact-assessment>
- Eurostat. (2024, February 27). *Renewable energy for heating & cooling up to 25% in 2022 - News articles - Eurostat*. Eurostat.  
<https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20240227-2>
- ISO - International Organization for Standardization. (2006). *ISO 14040:2006(en), Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework*. ISO. <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en>
- Naturvårdsverket. (2025a, January 7). *Kolets kretslopp rubbas*. Naturvårdsverket.  
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatforandringar/darfor-blir-det-varmare/kolets-kretslopp-rubbas/>
- Naturvårdsverket. (2025b, April 22). *Växthusgaser - Därför blir det varmare*. Naturvårdsverket.  
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatforandringar/darfor-blir-det-varmare/>
- Naumann, G., Schropp, E., & Gaderer, M. (2022). Life Cycle Assessment of an Air-Source Heat Pump and a Condensing Gas Boiler Using an Attributional and a Consequential Approach. *Procedia CIRP*, 105, 351–356.  
<https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2022.02.058>
- OpenLCA. (n.d.). *Leading the Future of LCA Software*. OpenLCA. Retrieved May 11, 2025, from <https://www.openlca.org/>
- PASSARINI, F., CIACCI, L., NUSS, P., & MANFREDI, S. (2018). *Material flow analysis of aluminium, copper, and iron in the EU-28*. 100.  
<https://doi.org/10.2760/1079>
- Svensk Sjöfart. (2022, January 13). *Miljö och klimat | Svensk Sjöfart*. Svensk Sjöfart.  
<https://www.sweship.se/fokusomraden/hallbarhet-och-miljo/>
- United States Environmental Protection Agency. (2025a, January 16). *Understanding Global Warming Potentials | US EPA*. US EPA.  
<https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>
- United States Environmental Protection Agency. (2025b, March 31). *Sources of Greenhouse Gas Emissions | US EPA*. US EPA.  
<https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>
- World Wildlife Fund. (2025). *Människans påverkan på klimatet - Världsnaturfonden WWF*. WWF. <https://www.wwf.se/klimat/mansklig-paverkan/>
- Yunus Cengel, John Cimbala, & Afshin Ghajar. (2021). *FUNDAMENTALS OF THERMAL-FLUID SCIENCES* (6th ed., Vol. 1). Mc Graw Hill.

# 7. Bilagor

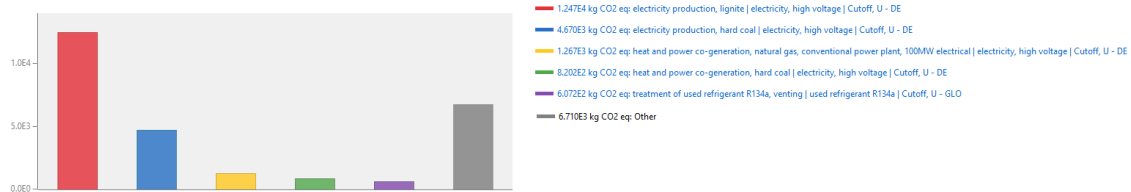
## Bilaga 1

Contribution	Process	Required amount	Total result [kg CO2 eq]
▼ 100.00%	Full system	1.00000 Item(s)	2.65431E4
> 91.67%	Electricity	1.00000 Item(s)	2.43308E4
> 02.95%	Indoor unit	1.00000 Item(s)	781.98235
> 02.78%	Outdoor unit	1.00000 Item(s)	738.76543
> 02.32%	Refrigerant R-32 (based on ...	1.00000 Item(s)	614.50410
> 00.15%	Transport	1.00000 Item(s)	40.26779
> 00.14%	Used heatpump	1.00000 Item(s)	36.73134

## Bilaga 2

▼ Top 5 contributions to impact category results - overview

Impact category: IPCC GWP 100a



INSTITUTIONEN FÖR MEKANIK OCH  
MARITIMA VETENSKAPER  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2025  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**