



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC STS 22014
Examensarbete 30 hp
Juni 2022

Datacenter vs Lokala Servrar

Hur hållbart är molnbaserade lösningar?

Joacim Larsson



UPPSALA
UNIVERSITET

Data Centre vs Local Servers

Joacim Larsson

Abstract

This thesis examines the life cycles of a data centre and a local server to conclude which of them has the largest environmental impact. Data centres are warehouse-looking buildings with servers in them, hosting the so-called “cloud”. Storing your data and information in a data centre and using its software and other resources through the internet is called cloud computing. The more traditional alternative to cloud computing is to have your own servers locally. You can access these without the internet, but you must operate and service it by yourself. There are some benefits with using cloud computing instead of local servers. One of these is often said to be energy efficiency and by that less environmental impact. This thesis sets out to confirm or refute, that statement. To do that, a comparing Life Cycle Assessment (LCA) has been done. A comparing LCA is a method to compare two similar systems and how much environmental impact they both have had during their lifetime. To assess this the amount of carbon dioxide equivalents emissions per the number of virtual machines has been used as a functional unit. The assessment was made on a hypothetical data centre and a hypothetical local server. The results showed that the local server had around 9.5 more carbon dioxide emissions per virtual machine than the data centre which confirms that the data centre has the lesser environmental impact of the two. This was mostly because of a more efficient use of the servers and the fact that a data centre has the possibility to recover some of its waste heat.

Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten

Uppsala universitet, Uppsala

Handledare: Lars Simonsson Ämnesgranskare: Jens Engström

Examinator: Elísabet Andrésdóttir

Populärvetenskaplig sammanfattning

Sverige har under de senaste åren blivit ett populärt land för stora IT-företag att öppna och driva så kallade datacenter. Datacenter är stora lagerliknande byggnader som innehåller en stor mängd servrar som andra företag eller privatpersoner kan hyra in sig på. Istället för att ha egna lokala servrar som måste uppdateras och underhållas så använder man sig av datacentrets och får tillgång till detta genom internetuppkoppling. Detta kallas för molntjänster då den virtuella platsen där all data och information lagras kallas för molnet. Den växande etableringen av dessa serverhallar i Sverige beror på flera faktorer. Bland annat är svensk el relativt billig, hållbar och har stabil försörjning. En annan faktor är att klimatet är kallt vilket leder till minskade kostnader för nedkylning av serverna. Framfarten av datahallar globalt beror dock på fördelarna med molnbaserade lösningar. Det kan bland annat spara ett IT-företag mycket kostnader samt göra det mer flexibelt då de endast betalar för de tjänster och den plats de behöver. Ett annat positivt attribut som ofta tillskrivs datacenter är hållbarhet. Jämfört med att använda sig av egna lokala servrar ska molntjänster spara mycket energi och därmed utsläpp. Det finns dock sparsamt med studier som utförligt undersökt detta och därför har behovet för detta arbete uppstått.

För att kontrollera om molntjänster via datacenter är bättre miljömässigt än användandet av lokala servrar har en jämförande livscykelanalys utförts. En livscykelanalys, förkortat LCA, grundar sig i att man undersöker miljöpåverkan av en produkt eller ett system under hela dess livstid. Allt från utsläppen under brytning av råvaran till elförbrukningen under driften till återvinningsprocessen vid slutet av systemets livscykel. En jämförande LCA fungerar genom att man gör en livscykelanalys på två liknande system eller produkter. Med samma funktionella enhet kan man då avgöra vilket system som har minst miljöpåverkan per användning. I detta arbete har den funktionella enheten varit koldioxidekvivalenter per virtuella maskiner. Koldioxidekvivalenter har använts som mått på utsläpp och antal virtuella maskiner som mått på användning. De delar som ingått i LCA-studien för båda systemen har varit serverna, kylsystemen, transporterna, elförbrukningen, vattenförbrukningen samt byggnaden. En skillnad har varit att datacentret har haft möjlighet att återvinna värme den producerat och därför kunnat dra av den delen från dess miljöpåverkan. Datan till delarna som ingått i LCA:n har kommit från olika ställen. Tanken var att det skulle vara två riktiga system som låg till grund för studien men när det visade sig omöjligt så har informationen hämtats från andra källor. Istället har det blivit en blandning av rapporter om utsläpp från

kontorsbyggnader, ett white paper om servrar samt en rapport om ett hypotetiskt datacenter av byggföretaget NCC. Med hjälp av LCA-programmet OpenLCA så har beräkningar gjorts för att få fram ett resultat. Resultatet visade på att en lokal server kan släppa ut uppemot 9,5 gånger mer koldioxidekvivalenter per virtuell maskin under bådars livstid. Detta berodde framförallt på att servrarna i ett datacenter används mer effektivt samt att datacentret kunde återvinna en del värme. Resultatet är dock föremål för diskussion då det finns många faktorer att ta med. Att det blir sådan stor skillnad beror mycket på förutsättningarna i det här fallet. Beroende på geografisk placering, kvalitet på utrustningen, mer eller mindre effektiv användning av servrarna och annat kan detta resultat variera. Det som resultatet dock säger är att ett datacenter kan stå för mindre utsläpp än en lokal server och att det är stor sannolikhet att det kommer göra det.

Innehållsförteckning

Populärvetenskaplig sammanfattning	3
Innehållsförteckning	5
1. Inledning	7
1.1 Syfte och frågeställningar	8
1.2 Avgränsningar	8
2. Bakgrund	9
2.1 Molntjänster	9
2.2 Datacenter	9
3. Metod	10
3.1 Tillvägagångssätt	10
3.1.1 Verktyg	11
3.2 LCA	12
3.2.1 Målbeskrivning	13
3.2.2 Omfattning	14
3.2.3 Funktionell enhet	15
3.2.4 LCI	15
3.2.5 Konsekvensbedömning	16
3.2.6 Tolkning av resultat	17
4. Teori	18
4.1 Miljöpåverkan	18
4.1.1 Klimatförändring	18
4.1.2 Miljöpåverkanskategorier	19
4.1.3 Koldioxidekvivalenter	19
4.2 Virtuella Maskiner	20
5. Livscykelanalys	20
5.1 Målbeskrivning och omfattning	21
5.1.1 Mål med studien	21
5.1.2 Användning	21
5.1.3 Systembeskrivning	22
Datacenter	22
Lokal server	23
5.1.4 Geografisk omfattning	24
5.1.5 Funktionell enhet	24
5.1.6 Påverkanskategorier	25
5.2 LCI - Datacenter	25
5.2.1 Servrar och Kylsystem	25

Stål	26
Löd	27
Aluminium	27
Plast	27
Bly	27
Koppar	28
El och Vatten	28
5.2.2 Byggnadsskalet	28
Betong	28
Trä	28
Mineralullsisolering	29
Cellplast	29
Gips	29
Värme	29
5.2.3 Transport	30
5.2.4 Virtuella maskiner	30
5.3 LCI - Lokala servrar	31
5.3.1 Servrar och Kylsystem	31
5.3.2 Kontorsvåning	32
5.3.3 Virtuella maskiner	33
5.4 Konsekvensbedömning	34
5.4.1 Datacenter	34
5.4.2 Lokala servrar	36
5.4.3 Jämförelse	37
5.5 Tolkning	38
6. Diskussion	39
6.1 Funktionella enheten	39
6.2 Servrarna	40
6.3 Kontorsbyggnaden	40
6.4 Framtida studier	41
Slutsatser	43
Referenser	44

1. Inledning

Ända sedan 2013 när Facebook anlade sitt första datacenter i Luleå så har datacenterindustrin i Sverige blomstrat. Sociala nätverksjätten har själva utökat med två datacenter i Luleå sedan dess samtidigt som e-handelsföretaget Amazon brett ut sig i Mälardalen och datorföretaget Microsoft har öppnat nya hallar i bland annat Gävle (NyTeknik 2019). Dessa datacenter fungerar som värd för alla möjliga olika molntjänster som man kan tänka sig. Facebook har bland annat plats för 800 miljoner användares konton i sin första serverhall i Norrbotten (NCC 2022) och Amazon Web Services, AWS, stod för nästan hälften av hela Amazons vinst 2021 (Malmqvist 2021). Anledningen till att IT-konceptet "molnet" samt datacenter har blivit stort så snabbt är de stora fördelarna som tillkommer jämfört med att använda sig av egna lokala servrar. För IT-företag kan detta bland annat involvera effektiv användning, enklare skalning, större säkerhet samt att de initiala kostnaderna vid start av ny verksamhet blir betydligt mindre (Eliasson 2022). Andra fördelar som även finns för företag som redan har en egen server men vill flytta upp innehållet till molnet kan vara att de nu inte själva behöver uppdatera utrustningen eller mjukvaran, anställda kommer kunna dela saker och jobba från olika platser enklare samt att du som företag inte behöver göra av med lika mycket energi och därmed till synes sänker din miljöpåverkan (Jakobsson 2018).

Något som dock ibland glöms bort här är att den elförbrukning som försvinner hos det enskilda företaget måste ersättas med någon annan elförbrukning hos återförsäljaren av molntjänster. I ett datacenter som är gjort för att vara värd till flera IT-företag så kommer detta att kunna göras mer effektivt och förbrukningen kommer inte vara densamma som innan. Frågan är dock hur mycket miljöpåverkan man kan minska med att flytta sina servrar till molnet. Tidigare mätningar har visat att företag kan spara uppemot 5 ton CO₂-utsläpp per år genom att flytta till molnet, men de resultaten kommer endast från att se hur mycket mindre elräkningen har blivit (Sysco-Cegal 2022). Förutom elförbrukningen skulle det även vara intressant att undersöka miljöpåverkan av att bygga ett datacenter jämfört med en eller flera lokala servrar, hur effektiv användningen av kapaciteten ser ut i båda fallen och annan energiförbrukning såsom exempelvis kylning.

1.1 Syfte och frågeställningar

Syftet med denna studie är att jämföra datacenter och lokala servrar för att se vart man bör lagra program, data och information samt exekvera den för att minska miljöpåverkan så mycket som möjligt. Frågeställningarna som arbetet avser att besvara är följande:

- var ska ett företag ha sina servrar om de vill minska sin miljöpåverkan, i molnet eller lokalt,
- vilka metoder och måttstockar borde man använda sig av för att avgöra det och
- kan man skapa en modell som går att använda för att göra en sådan jämförelse i olika fall?

1.2 Avgränsningar

Några av de avgränsningar och antaganden som har gjorts i denna studie kommer redovisas här. Dessa har tillkommit på grund av att detta arbete skulle kunna göras oändligt stort men på grund av begränsade resurser i form av tid och arbetskraft så har det bara varit möjligt inom en viss omfattning. Avgränsningarna och antagandena kommer även att tas upp senare i rapporten i de delar där de är mest relevanta.

Den viktigaste avgränsningen på detta arbetet handlar framförallt om datacentret. I denna studie har det framförallt varit de större delsystemen i datacentret som tagits med. Detta kan eventuellt exkludera vissa saker som har en mindre betydelse. Eftersom ett datacenter (och en lokal server) är ett stort och komplext system så skulle det inte vara görbart att gå ned på minsta detaljnivå.

Nästa avgränsning angår miljöpåverkan. När det kommer till miljöpåverkanskategorier så finns det väldigt många olika man måste ta hänsyn till. Dessa kan vara exempelvis koldioxidutsläpp, förorening, övergödning, överanvändning av resurser eller ozonnedbrytning (Dubey 2017). I detta arbete har dock endast miljöpåverkanskategorin klimatförändring, och närmare bestämt utsläpp av koldioxidekvivalenter, varit fokus.

De flesta avgränsningarna är framförallt kopplade till arbetets metod; livscykelanalys, och kommer tas upp mer utförligt i den delen. Denna studie går ut på att göra en jämförelse ur en miljömässig synvinkel och har därför bortsett från andra perspektiv såsom exempelvis ekonomi.

2. Bakgrund

2.1 Molntjänster

Många större IT-jättar erbjuder idag molnbaserade lösningar. Molntjänsterna de erbjuder går ut på att mindre IT-företag och privatpersoner då kan ha datalagring, databaser, olika mjukvaror och andra resurser bara genom internetuppkoppling (Frankenfield 2021). Allt detta finns och underhålls på en annan plats geografiskt i så kallade datacenter som dessa IT-jättar bygger och sedan driver. Det mer traditionella alternativet till detta är att man har allt lokalt hos sig själv. Användaren behöver då bygga och sköta driften av sina servrar på egen hand.

Namnen “molntjänster” och “molnbaserade lösningar” kommer ur att tjänsterna och lösningarna finns i det så kallade molnet som är benämningen på det virtuella utrymmet där saker och ting kan lagras på avlägsna servrar (Frankenfield 2021). Detta virtuella utrymme är alltså riktig hårdvara som är lokaliserad på en annan plats och därför bara kan åtkommas via internet. Detta betyder att användaren av molnbaserade lösningar kan vara vart som helst i hela världen så länge denne har internetuppkoppling (ibid.). Det finns både privata och offentliga molntjänster. Privata erbjuder endast sina molntjänster till ett begränsat antal specifika personer eller företag medan du endast behöver betala avgiften för att få tillgång till offentliga tjänster. Exempel på offentliga molntjänster är Apples iCloud.

Molntjänster kan delas upp i tre olika delar: software-as-a-service (SaaS), infrastructure-as-a-service (IaaS) samt platform-as-a-service (PaaS) (Frankenfield 2021). SaaS går ut på att man betalar för en viss sorts mjukvara som man sedan får tillgång till via återförsäljarens servrar genom molnet. Man betalar oftast för det när det behövs och man har tillgång till det via internet. Microsofts Office-paket är ett exempel på SaaS (ibid.). IaaS är att man genom sin IP-adress får tillgång till allt från operativsystem till servrar där du kan lagra filer och annat. Microsoft Azure är ett sådant exempel (ibid.). PaaS liknar SaaS med den stora skillnaden att det fungerar som en plattform för att skapa mjukvara som levereras via internet. Ett exempel på PaaS är Heroku (ibid.).

2.2 Datacenter

Ett datacenter är en byggnad som är till för att lagra stora mängder data och information som ska vara lättåtkomligt via internet. Detta fungerar genom att man installerar flertalet servrar, kylutrustning och andra system inuti byggnaden (OJCO 2021). Det är på dessa servrar som

information lagras och mjukvara körs. Exempel på det som är nödvändigt utöver servrar är serverrack, routers, kablar, batteribackup (UPS), kylsystem samt ett yttre skalskydd för att hålla obehöriga personer borta (ibid.). Datacenter kan också ha andra namn. Exempel på dessa är serverhall, datorcenter och datahall.

Kylsystemet behövs eftersom servrar som används mycket avger mycket värme. Detta beror på att de har en hög energiförbrukning. Den höga energiförbrukningen betyder att ett datacenter drar väldigt mycket el och med elförbrukning kommer klimatpåverkan (Naturskyddsföreningen 2022). Detta har visat sig bland annat genom att utsläppen till följd av världens datacenter idag är större än flygtrafikens (Sjödin 2022). Ett annat potentiellt problem som har diskuterats är att datacentrens etablering i Sverige kan leda till elbrist (Mossige-Norheim 2020). Trots dessa negativa effekterna så råder det ändå konsensus kring att de är bra för miljön (Jakobsson 2018). Dessa faktorer är anledningen till behovet för denna studie då det skulle vara intressant att veta om klimatet gynnas av datacenter eller inte.

3. Metod

3.1 Tillvägagångssätt

En stor del av detta arbete har gått till att undersöka vilka sorters metoder man skulle kunna använda sig av för att mäta miljöpåverkan hos ett datacenter och en lokal server. Ett alternativ som var tillgängligt och som man hade kunnat använda sig av var SPEC:s benchmark som kan användas till att mäta två serversystem för att se vilket som har minst miljöpåverkan (SPEC 2018). En annan väg att gå hade varit att använda sig av IDC:s rapport som förutspår hur mycket utsläpp världen skulle kunna spara genom att helt gå över till cloud computing och använda sig av deras metod att mäta datacenters miljöpåverkan (Shirer 2021). Problemet med dessa två alternativ är att de kostar \$2500 respektive \$4500 vilket är mycket pengar för två rapporter som man på förhand inte vet om man kommer kunna använda. Andra sätt att mäta hållbarheten på datacenter och lokala servrar var att kolla på många olika specifika faktorer för att sedan göra en bedömning. Ett exempel på det är Supermicros metod Total Cost to the Environment (TCE) (Kalodrich 2018). Problemet som visade sig här var att en väldigt omfattande tillgång till ett datacenter var nödvändigt för att ta fram de parametrarna som behövdes. När det visade sig att detta inte var möjligt så föll de alternativen bort.

Valet föll istället på att göra en jämförande LCA-studie mellan en lokal server och ett datacenter. En livscykelanalys, förkortat LCA (från engelskans *Life Cycle Assessment*), är en

metod för att avgöra en produkts eller ett systems miljöpåverkan under hela dess livstid. I en LCA undersöker man det material och råvaror som används och de flöden och processer som dessa går igenom från vaggan till graven (Boverket 2019). Fördelen med en LCA jämfört med de tidigare nämnda alternativen är att det är gratis samt att det är möjligt att göra approximationer när man bara har tillgång till bristfällig data. En jämförande LCA går ut på att flera delar av analysen är densamma för två olika produkter, men att livscykelinventeringen ska visa på vilken produkt som har störst miljöpåverkan (JRC 2010). Livscykelanalys i sin helhet behandlas senare i kapitlet.

För att kunna göra en LCA-studie så måste man ha data och information att tillgå. Tanken från början var att med hjälp av företaget Sysco-Cegal AB (som arbetar med migrering av servrar från lokala “on-prem”-lösningar till datacenter) hitta samarbetsföretag som själva har eller har haft lokala servrar och/eller driver datacenter. Data på material som använts vid byggandet, energi- och vattenförbrukning, systemets kapacitet samt återvinning av värme och annat skulle då komma direkt från källan och en jämförelse mellan ett existerande datacenter och en existerande lokal server skulle kunna göras. Det visade sig dock att detta var svårare än förväntat då de vi kom i kontakt med inte kunde hjälpa till av olika anledningar som bland annat inkluderade att de slutade svara, sekretess eller dåligt med tid. Detta gjorde att de två jämförda systemen istället blev två hypotetiska som togs fram med hjälp av annan data. Denna data har kommit från olika artiklar och dokument som företag har delat med sig av och som innefattat mycket av den informationen som varit nödvändig för studien. Detta kommer redovisas mer i LCA-delen av rapporten.

3.1.1 Verktyg

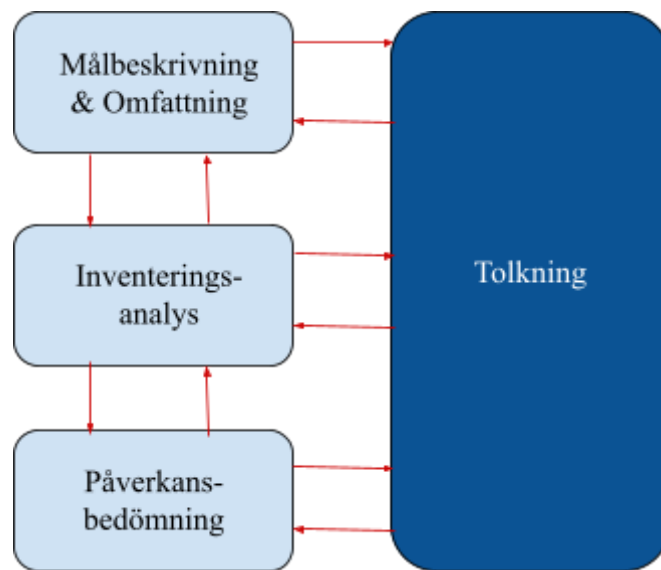
Att göra en LCI (livscykelinventering) går ut på att räkna på utsläpp kopplade till det material som används och de processer det går igenom för att sedan få fram den totala miljöpåverkan. Detta är något man kan göra för hand på ett papper eller på ett enkelt spreadsheet. Det finns dock många redan färdiga program som gör dessa beräkningar åt en och det enda man behöver är kunskap om materialet och dess flöden. Ett sådant program är OpenLCA. OpenLCA är en gratis “open source”-mjukvara för att göra hållbarhets- eller livscykelanalyser (OpenLCA 2022). Förutom vanliga LCA:er kan man också jämföra olika produkters miljöpåverkan vilket är en funktion som har använts i detta arbete. Från deras hemsida kan man ladda ned olika databaser som redan har information om olika processer och material och deras miljöpåverkan. Detta gör att man som användare endast

behöver förse programmet med vilka råvaror och processer som är aktuella och man får tillbaka siffror på hur stor påverkan dessa kan ha på miljön. Under detta arbete användes databaser från *Environmental Footprints*, *New Energy Externalities Developments for Sustainability* och *European reference Life Cycle Database of the Joint Research Center* i en kombination för att få fram det som behövdes.

3.2 LCA

Livscykelanalys, eller LCA, är en metod som man kan använda sig av för att göra en uppskattning av vilken sorts påverkan en produkt eller något annat kan ha över hela dess livstid (SLU 2021). I de flesta fall är det någon sorts miljöpåverkan som ska utvärderas och analysen kan då ge en bild av hur material påverkar miljön under mer än bara användningsfasen. På grund av detta så kan en LCA ge ett underlag för vart man kan minska en produkts miljöpåverkan som mest, exempelvis om det är att hämta en viss resurs från ett annat ställe, byta ut den mot något annat eller återvinna den på ett mer effektivt sätt. Metoden är även en iterativ process där man kan behöva göra om den flera gånger för att få fram den mest kompletta modellen (ibid.).

En LCA kan användas till flera olika saker. Det kan exempelvis ligga till grund för företagsbeslut, vara till för undervisning och forskning eller användas för produktdeklaration. De steg och det man behöver komma fram till när man gör en livscykelanalys är: målbeskrivning, omfattning, funktionell enhet, livscykelinventering (LCI), uppskattning av miljöpåverkan samt tolkning av resultaten (Faludi 2020). *Figur 1* visar dessa steg och hur de hänger ihop.



Figur 1. En förenklad modell av hur en LCA kan se ut.

Den mall som framförallt har använts i denna studie är Europeiska kommissionens Gemensamma Forskningscentrum (JRC) och deras *International Reference Life Cycle Assessment (ILCD) Handbook* vilket är beskrivning av hur man gör en LCA som följer ISO 14040 och ISO 14044 (JRC 2010).

3.2.1 Målbeskrivning

Det första steget i en LCA är att uttrycka varför man gör den. Detta kallas för en målbeskrivning. Här ska man beskriva vad studien har för syfte och vilka den riktar sig till. Målbeskrivningen ska bestämma hur detaljerna i omfattningen ska se ut, det vill säga att omfattningens storlek avgörs av syftet och anledningen till att göra studien (JRC 2010). Är målet att ta fram exakt in i minsta detalj vilken miljöpåverkan en specifik produkt har för att med hjälp av det stifta lagar, eller är det meningen att få en bredare bild av en större miljöpåverkan för att ta ett företagsbeslut så kommer omfattningen av analysen att styras av det. När man i efterhand ska avgöra hur pass bra en LCA har varit så är det också målbeskrivningen som avgör det. Har studien uppfyllt målet eller inte blir en indikator på analysens kvalitet (ibid.). Sista tolkningssteget i en livscykelanalys grundar sig också i målbeskrivningen. Hur man ska tolka resultatet av de tidigare stegen beror mycket på vad man vill ha ut av studien eftersom det är den tolkningen som ska vara själva slutprodukten och det man ska dela med sig av eller använda (ibid.).

En annan del som ska täckas in i en målbeskrivning är olika eventuella begränsningar i användbarheten av studien (JRC 2010). Detta kan bero på olika saker såsom exempelvis

begränsad definition av miljöpåverkan. Om man väljer att bara kolla på miljöpåverkan med hänsyn till koldioxidutsläpp så är det viktigt att det är tydligt eftersom det finns många andra sätt som en produkt kan påverka miljön (ibid.). Andra begränsningar kan ha att göra med metoden och exempelvis hur och vilken information man samlar in i inventeringsdelen. En annan begränsning som resultatet kan ha och som bör specificeras i målet är alla de antaganden som har behövts göras. Även en studie utförd på en väldigt nischad marknad kan ge begränsade resultat och det måste också vara tydligt (ibid.).

En sista sak som målbeskrivningen bör specificera är om LCA-studien ska ligga till grund för något specifikt beslut inom sektorn eller inte. Om det inte är så så kan man precisera om man är mer intresserad av det studerade systemets interaktioner med andra system eller inte. Om det är så så kan man kolla på vilken inverkan det beslutet kan ha på de kringliggande systemen och specifika marknaden (JRC 2010).

3.2.2 Omfattning

I redogörelsen för omfattningen av LCA-studien ska själva objektet som ska analyseras identifieras och definieras (Faludi 2020). Det är också här det ska bli tydligt exakt hur komplex studien ska vara och hur stor del av livscyklerna som ska tas med. Här ska det i grunden vara "från vaggan till graven" men det kan alltid vara svårt att avgöra vart de gränserna går (ibid.). Det kommer alltid kunna tillkomma olika miljöpåverkningsfaktorer ju nogare man undersöker. På grund av detta behöver man sätta kriterier och bestämma vilka tydliga gränser man vill ha. Denna del är tätt sammankopplad med målbeskrivningen eftersom det är uppfyllandet av målet som avgör omfattningen (SLU 2021).

Man behöver också definiera vilken geografisk omfattning studien ska ha. Mängden utsläpp varierar för samma aktiviteter beroende på vart i världen man befinner sig. Tidsperiod kan också vara viktigt att begränsa eftersom olika produkter har producerats på olika sätt genom tiden (SLU 2021). Om en eventuell systemutvidgning kommer att förekomma i LCA-studien är det viktigt att det också nämns i omfattningen. Exempelvis om ett datacenter även producerar värme som används så kan kostnaden för att producera den värmen någon annanstans dras av på centrets miljöpåverkan (ibid.). Den funktionella enheten, som kommer diskuteras mer senare, ska också förekomma här i omfattningen (JRC 2010).

3.2.3 Funktionell enhet

Den funktionella enheten är det man använder för att kunna ha någonting att mäta miljöpåverkan på. En funktionell enhet är framförallt viktig när man ska göra en jämförelse av två produkter eftersom den bara kan vara rättvis om man bedömer dem på samma sätt (Faludi 2020). Detta tar man fram genom att först hitta den primära funktionen för produkten eller produkterna som ska analyseras (Dubey 2017). Efter det kan det också vara fördelaktigt att ta fram en sekundär funktion. Efter det behöver man bestämma hur mycket av den enheten man ska använda. Detta behöver man framförallt om man ska jämföra två produkter (ibid.). När man har dessa nummer kan man även ta fram ett referensflöde som antyder hur mycket som behövs för att ta fram den funktionella enheten, exempelvis i mängd elektricitet, kraft eller liknande. Med det kan man få fram ett förhållande mellan enheten för vad som behövs (watt exempelvis) och enheten för den primära funktionen (exempelvis gigabyte) vilket sedan kan användas för att få fram miljöpåverkan (ibid.).

3.2.4 LCI

En inventeringsanalys handlar först och främst om att hitta de råvaror och produkter som använts för att skapa LCA-objektet samt att hitta de flöden som dessa saker har (SLU 2021). Flödena kan sedan visualiseras med hjälp av figurer och modeller. Detta är den del i en LCA som oftast tar längst tid då informationsinhämtningen kan vara svår och trög. Det handlar ofta om att få ut data från olika företag och sedan ta reda på hur de har tagits fram vilket kan ta tid (Faludi 2020). De delar som behövs är först och främst materialtyper och deras massa. Tillverkningsprocesserna som materialen sedan behöver gå igenom måste också identifieras. Efter det är det oftast olika sorters transporter som måste räknas in. Här är även den geografiska begränsningen viktig att ha med så man räknar på rätt tillverkningsprocesser och transportsträckor. Under själva "konsumtionen" av produkten är det framförallt energianvändningen som mäts och efter det är det bortskaffningsdelen som behövs kollas på. Det kan exempelvis vara hur man återvinner materialet (ibid.).

LCI-delen kan också vara krångligt eftersom allt material kanske inte finns i de databaser som används. Lösningen då är ofta att man får hitta ett bra substitut som har liknande miljömässiga egenskaper som det saknade materialet. Ett annat alternativ kan också vara att byta ut materialet mot en blandning av två andra. Allt är kanske inte registrerat som en enskild komponent och då kan man behöva göra den ihopsättningen själv (Faludi 2020). Man behöver också bestämma vilken sorts data man tänker använda sig av. Målet med

datahämtningen under en LCA bör alltid vara att använda sig av information om just de specifika processerna och flödena som man just vill kolla på och försöka stänga ute mer irrelevanta processer utanför omfattningen (JRC 2010). Som en generell regel bör man därför försöka få fram specifik data från det aktuella företaget, någon återförsäljare eller annat för de processer som arbetet och studien framförallt fokuserar på. I vissa fall kan det dock även behövas sekundärdata som representerar mer bakgrundsprocesser som man även behöver ta hänsyn till. Här kan det fungera lika bra att använda sig av mer generisk eller genomsnittlig data och det kan även visa sig att uppskattad data kan vara lika representativ som något annat i de fallen (ibid.). Ibland kan dock företaget och återförsäljare saknas för det man vill analysera, i dessa fall kan det vara bättre att även för de primära processerna använda sig av generisk eller genomsnittlig data. Denna data måste fortfarande representera rätt teknisk nivå, annars kan LCA:n ge felaktiga resultat (ibid.). Viktigt att tänka på med genomsnittlig data är att vilket tidsperspektiv man använder sig av. Om man tar genomsnittet av ett års mätningar kan det eventuellt ge dålig data om omständigheter har varierat mycket från år till år. Då kan det vara bättre att använda sig av ett genomsnitt på flera års mätningar.

3.2.5 Konsekvensbedömning

Efter att de flöden och processer som behöver analyseras hittats och konstruerats och datan som är aktuell i dessa processer tagits fram så är det dags att uppskatta och räkna på hur stor miljöpåverkan de har. Detta kan göras på många olika sätt. Exempelvis kan man själv hitta materials och processers miljöpåverkan per kilogram och sedan räkna för hand på ett papper hur mycket utsläpp som sker för den aktuella produkten som man analyserar (Faludi 2020). Ett annat alternativ är att använda sig av någon sorts mjukvara för att göra beräkningarna. Det finns många olika datorprogram och även webbaserade program som har egna databaser på materials miljöpåverkan och som kan göra beräkningarna åt en. De kan även ofta ta fram visuella hjälpmedel såsom olika diagram för att göra det lättare att visa ens resultat (ibid.).

Med hjälp av detta så behöver man göra en så kallad miljöpåverkansbedömning för att ta fram exakt vad dessa saker man räknat på betyder. Det finns tre huvudkategorier för miljöpåverkan och dessa är ekosystemens kvalitet, mänsklig hälsa samt ändliga resurser (SLU 2021). Att räkna på dessa tre sker i två steg. Först beräknar du hur stor påverkan den aktuella livscykelanalyserade produkten har på olika delar av miljön. Detta kan vara exempelvis växthuseffekten eller förorening av sjöar och hav. Efter det beräknar man hur mycket som dessa saker kan påverka människans hälsa, ekosystemens kvalitet och de ändliga

resurserna (ibid.). För att göra detta mer specifikt så kan man titta på specifika miljöpåverkanskategorier och se hur mycket det systemet påverkar på olika delar av miljön. Detta kan vara påverkan på landanvändning, abiotiska resurser, humantoxicitet eller utsläpp av koldioxidekvivalenter (ibid.). För att kunna använda och eventuellt jämföra den framtagna totala miljöpåverkan så kommer en viktning att behöva göras. Det betyder att man tar samman påverkan i de olika kategorierna och sätter ihop dem till ett nummer. Detta kan dock göras på väldigt många olika sätt och det finns ingen perfekt metod eftersom betydelsen av olika sorters miljöpåverkan är högst subjektivt (JRC 2010). Man kan även utföra en normalisering av de olika miljöpåverkanskategorierna. Detta betyder att ett normaliserat resultat visar den relativa inverkan som varje kategori har på systemets totala miljöpåverkan per invånare exempelvis. Normaliserad LCA-resultat kan vara bra om man vill se vilken del av miljön som exempelvis en produkt förändrar och försämrar mest (ibid.).

3.2.6 Tolkning av resultat

Tolkningen av resultatet av en LCA-studie sker oftast på två olika sätt (JRC 2010). Den ena är när man fortfarande är inne i den iterativa delen av studien. Det betyder att potentiella förbättringsområden i framförallt LCI-delen lokaliseras och förändras för att göra studien bättre och mer robust. Det andra tillfället man tolkar ett LCA-resultat är när LCI-modellen är färdig och därför inte behöver göra några fler förbättringar. Då kan resultatet börja analyseras och med hjälp av det eventuellt lägga en grund för olika beslut som ska tas (ibid.).

Tolkningsdelen av en LCA handlar om att ta in resultatet från de tidigare delarna och titta på dem med ett perspektiv som grundar sig i hur fullständig, noggrann och precis som studien har varit (JRC 2010). Här ska man då ta in vilken sorts data som använts och vilka antaganden som har gjorts för att sedan avgöra om modellen är tillräckligt bra eller om det kan göras förbättringar. Om modellen då är tillräcklig så behöver man bedöma om studien kan svara på de frågor som ställts i målbeskrivningen och om syftet uppfylls (ibid.).

Medan studien fortfarande är inne i sin iterativa del så måste man kunna avgöra om det är olika delar av analysen som måste ses över för att ta fram ett nytt resultat. De olika faktorerna som man framförallt kollar på då är de mest relevanta stadierna, processerna, flödena samt miljöpåverkanskategorier (JRC 2010). Dessa sakers bidrag till studien tas fram genom en bidragsanalys där man kvantifierar storleken av bidragandet som varje del har. Förutom detta så bör man även kolla vilka olika beslut under arbetets gång som tagits som kan ha påverkat resultatet. Med detta så syftar man oftast på olika val av metoder,

avgränsningar, data och eventuella viktningar och normaliseringar som har gjorts (ibid.). De helhetsfaktorer som ofta kan leda till att man behöver en bidragsanalys kan exempelvis vara att man identifierat behovet av mer datainsamling eller förbättring av datan i ett visst fokusområde. Efter det behöver man göra en utvärdering av ens LCA-studie. Detta görs med hjälp av tre olika kontroller; fullständighetskontroll, känslighetskontroll samt konsekvenskontroll (JRC 2010). Fullständighetskontrollen används för att kontrollera om inventeringen har varit tillräcklig och om de så kallade “cut-off criterias” (det vill säga riktlinjer för när man slutar följa flöden (SLU 2021)) har möts. Känslighetskontrollen finns till för att avgöra hur precis och pålitlig studien och dess resultat kan anses vara. Konsekvenskontrollen används för att kolla om de metoder och antaganden har använts konsekvent under hela studien (ibid.). När en LCA-studie gått igenom dessa kontroller och “klarat” dem så är det dags att dra slutsatser från studien och ta fram eventuella beslutsunderlag som arbetet jobbat mot. Dessa slutsatser ska vara baserade på målbeskrivningen och omfattningen och ska även ta hänsyn till de begränsningar som analysen visat sig ha (ibid.).

4. Teori

4.1 Miljöpåverkan

4.1.1 Klimatförändring

Klimatförändring är en benämning på de långsiktiga förändringarna i väder och temperatur och något som sker just nu i världen. Det visar den senaste IPCC rapporten AR6 (Assessment report 6) och den visar på att det bland annat de senaste fyra årtiondena har blivit successivt varmare än något tidigare årtionde sedan 1850-talet (Masson-Delmotte, V. et al. 2021). Man har även kunnat observera att jordens medeltemperatur mellan 2011 och 2020 var 1,09 grader högre än medeltemperaturen mellan 1850 och 1900 samt så har den totala nederbörden i världen ökat. Den största anledningen till detta har visat sig vara mänsklig aktivitet som resulterat i utsläpp av växthusgaser. Förutom detta så beskriver rapporten (Masson-Delmotte, V. et al. 2021) att havsnivån stiger snabbare än någonsin, glaciärer drar sig tillbaka, den arktiska inlandsisen har inte varit lägre sen åtminstone 1850 samt att värmeböljor har blivit vanligare, extremt kallt väder har blivit ovanligare och torka har blivit vanligare.

Huvudfaktorn till även detta är enligt AR6 utsläpp av växthusgaser till följd av människans och hennes aktiviteter (Masson-Delmotte, V. et al. 2021).

4.1.2 Miljöpåverkanskategorier

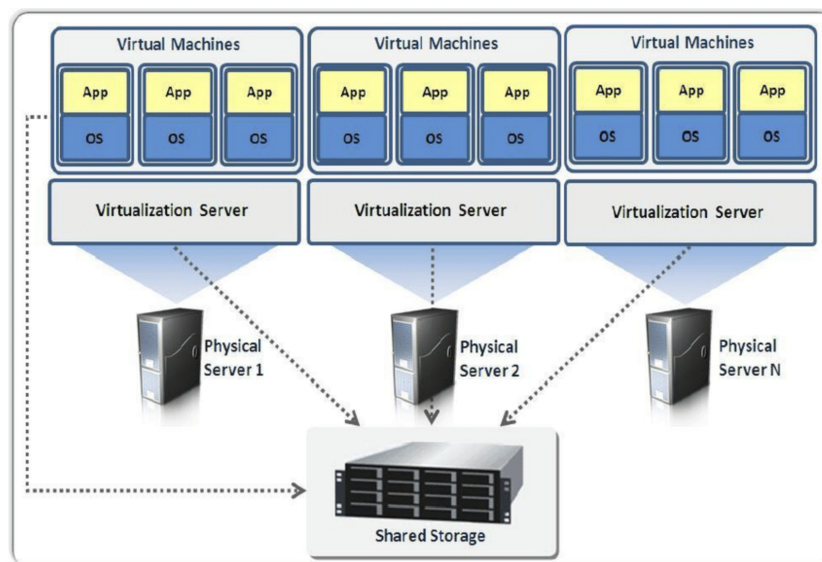
När man gör en LCA finns det många miljöpåverkanskategorier att ta hänsyn till. Påverkan i dessa kategorier kan man vikta eller normalisera för få ett enhetligt resultat respektive få en bild av hur mycket systemet påverkar i varje kategori (SLU 2021). Några exempel på kategorier man kan ta med är global uppvärmning, ozonlager reducering, landanvändning, utarmning av naturresurser, försurning, övergödning, mänsklig toxicitet och ekotoxicitet (Dubey 2017). Dessa kategorier kan sedan också delas in i olika skadekategorier beroende på vilken sorts skada de gör. Mänsklig hälsa är en sådan som exempelvis skulle innehålla mänsklig toxicitet och ozonlager reducering samtidigt som skadekategorin ekosystemkvalitet kan innehålla försurning och ekotoxicitet (Dubey 2017). En annan skadekategori som skulle kunna användas i en LCA är klimatförändring. Här skulle exempelvis global uppvärmning innefattas men även förändringar i nederbörd och torka skulle kunna tas med. Eftersom att IPCC-rapporten från 2021, AR6, säger att mycket av det som ligger bakom dessa klimatförändringar är utsläpp av växthusgaser av människor så är just de utsläppen något att titta på för att avgöra hur mycket påverkan på klimatförändringen det analyserade systemet har i en LCA.

4.1.3 Koldioxidekvivalenter

För att kunna avgöra hur mycket klimatpåverkan som mänskliga aktiviteter har stått för behöver man veta hur mycket växthusgaser som släppts ut till följd av det människor har gjort. Växthusgaser inkluderar många olika gaser såsom exempelvis koldioxid som kommer från förbränning och metan som kommer från djur, men metan bidrar till växthuseffekten och global uppvärmning cirka 21 gånger mer än koldioxid (Johan 2019). Därför kan det finnas en fördel att sammanföra dessa gaser och deras påverkan på klimatet till en enhet eftersom man annars behöver ta med alla växthusgaser och hur mycket de påverkar individuellt. En lösning på detta är koldioxidekvivalenter. Man kan då uttrycka utsläppen av alla växthusgaser som koldioxidekvivalenter där då ett ton koldioxid motsvarar ett ton koldioxidekvivalenter medan ett ton metangas motsvarar 21 ton koldioxidekvivalenter (ibid.). Med detta kan man alltså slå ihop alla gasers påverkan på klimatet alternativt jämföra dem med varandra.

4.2 Virtuella Maskiner

Om ett företag använder sig av molntjänster så ligger deras fysiska server någon annanstans än just där de själva sitter. Om detta är ett så kallat offentligt moln så betyder detta att servern delas av flera. Varje företag eller part tillhandahåller då en virtuell maskin som de använder för att utföra det som de vill (Softwarekeep 2022). Virtuella maskiner fungerar genom virtualisering. En virtuell maskin kan inte på egen hand interagera med en dator utan behöver ett lager emellan. Detta kallas för hypervisor och är ett program som allokerar fysisk plats på servern åt respektive virtuell maskin så att inte maskinerna interagerar med varandra (ibid.). Detta visualiseras i *Figur 2*. IT-företag som inte använder sig av molntjänster utan har egna lokala servrar i ett serverrum eller liknande använder sig också av virtuella maskiner. Skillnaden här är att dessa ofta är sammankopplade på plats och att man därför inte nödvändigtvis behöver internet för att få tillgång till sin virtuella dator.



Figur 2. Modell på hur virtualisering fungerar (Softwarekeep 2022).

5. Livscykelanalys

Den utförda LCA-studien som redovisas här är en så kallad komparativ LCA som jämför två olika produkter med samma funktion. I detta fall är det servrar och dess CPU-användning som jämförs i form av molnet i ett datacenter samt en lokal server. Målbeskrivningen, omfattningen, konsekvensbedömning samt tolkningen kommer här vara densamma för båda systemen medan livscykelinventeringen kommer att skilja sig mellan dem. Hela

livscykelanalysen är gjord enligt International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook av Gemensamma Forskningscentrumet (JRC) i Europeiska kommissionen och Institute for Environment and Sustainability (IES) vilket är en manual för hur man gör en LCA enligt de internationella standarderna ISO 14040 och ISO 14044 (JRC 2010).

5.1 Målbeskrivning och omfattning

5.1.1 Mål med studien

Det finns olika fördelar och nackdelar till att välja molnbaserade lösningar jämfört med att bygga och använda sig av egna lokala servrar. Ett av de områden där molnet sägs ha en fördel är miljön och det eftersom användningen av molntjänster ska spara mycket energi jämfört med alternativet (Jakobsson 2018). Detta är något som är lätt att säga eftersom elräkningen för IT-företaget går ned när man migrerar sina servrar från sitt egna kontor. Det man inte alltid tar med är att användningen av servrar fortfarande existerar och energin det kräver har bara flyttats från en plats till en annan. Om man aldrig hade byggt datacentret och alternativet att flytta till molnet inte fanns så kanske det hade sparats på miljön exempelvis. Denna LCA-studies syfte är att försöka ge ett större perspektiv på just dessa frågor och ett mer välgrundat svar på frågan vart IT-företag i Sverige bör ha sina servrar för att ha så lite miljöpåverkan som möjligt. Resultatet ska sedan kunna användas för att svara på denna studies frågeställningar men även kunna användas som underlag av företag som arbetar med migrering av servrar till molnet för att kunna motivera att deras tjänster är bra ur ett miljöperspektiv.

5.1.2 Användning

LCA-studien som sådan och rapporten i sin helhet kommer endast kunna användas på ett begränsat sätt. Exempelvis är det inte meningen att detta arbete ska ligga som grund för enskilda företag att välja om de ska bygga en egen serverhall eller använda sig av molntjänster när de är nystartade. Det beror på att studien endast fokuserat på ett specifikt geografiskt område och två specifika hypotetiska system. Om ett företag står inför ett sådant val så bör de titta på många andra faktorer som är mer utmärkande för dem. Exempel på det skulle kunna vara geografisk plats, val av produkter eller storlek på datacenter och lokalt serverrum. Livscykelanalysen riktar sig istället till de intressenter som vill ha en bild av hur stor miljömässig skillnad det skulle *kunna* vara om man gjorde en omställning eller valde

molnet från början. Först och främst är användningen för LCA:n att svara på denna rapports frågeställningar. I andra hand skulle användningen även begränsa sig till företag i Sverige som själva jobbar med migrering av servrar och som vill ha något att visa sina potentiella klienter. Förutom att visa på specifika siffror skulle de kunna visa upp de olika områdena där det skiljer sig och använda det för att visa hur det skulle se ut för deras kunder. Beroende på LCA-studiens resultat skulle detta ge en bredare uppfattning om varför det är bättre eller sämre att använda sig av molnlösningar ur ett miljömässigt perspektiv.

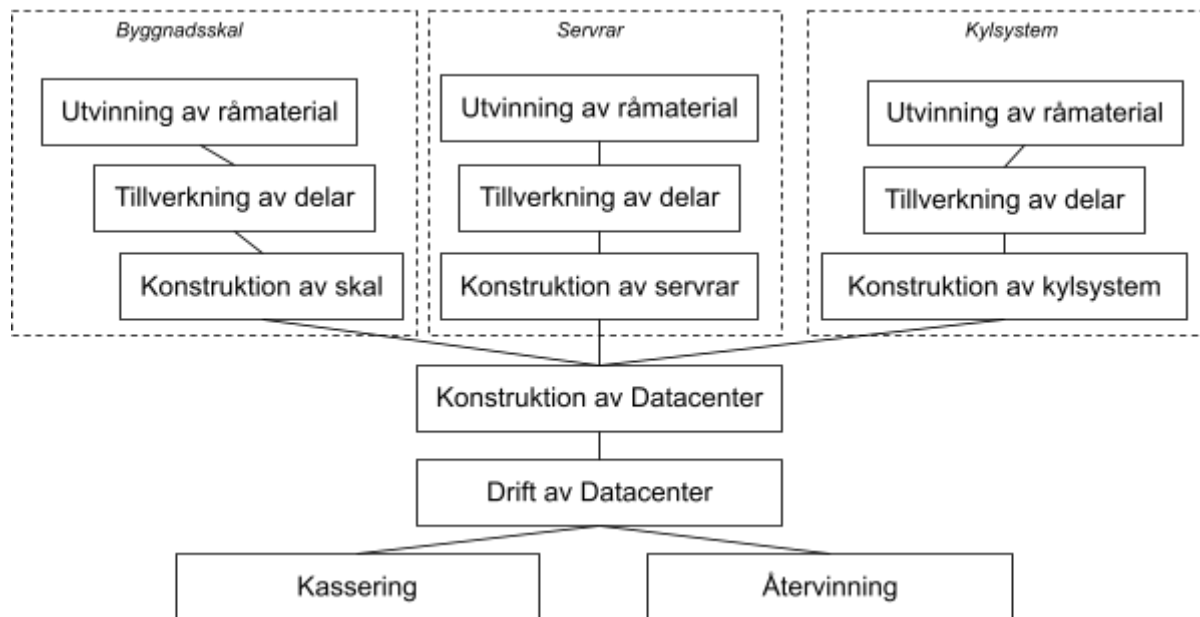
En annan sak att ha med sig när man läser resten av studien är att endast en miljöpåverkanskategori har använts. Skadekategorin som syftas på är klimatförändring med global uppvärmning som huvudfokus. För att få fram måtvärden på detta så har framförallt utsläpp undersökts och mer specifikt mängden koldioxidekvivalenter. Koldioxidekvivalenter är ett bra mått för att mäta all växthusgasutsläpp livscyklerna stått för och hur mycket de har påverkat den globala uppvärmningen tillsammans. Eftersom LCA-studien endast tar hänsyn till global uppvärmning när det kommer till miljöpåverkan så är det bara slutsatser om just det som kan dras. Skillnaden i miljöpåverkan mellan ett datacenter och en lokal server kan skilja sig väldigt mycket inom andra områden såsom exempelvis ekotoxicitet eller resursutarmning.

5.1.3 Systembeskrivning

Datacenter

Skapandet av ett datacenter kan delas upp i tre huvudprocesser. Den första processen är produktionen av själva byggnaden, eller skalet för datacentret. Den andra delen är själva hårdvaran, eller servern som är datacentrets funktion. Den tredje processen är kylsystemet som är viktig för att ett datacenter ska fungera. Det finns många andra delar i ett datacenter som inte kommer tas med i denna studie då omfattningen stannar här.

Modellen för datacentrets livscykel består av flera parallella processer som följer samma mönster. Utvinning av råmaterial, tillverkning av delar samt konstruktion av huvuddelarna är tre steg som är gemensamma för skal-, server- och kylsystemprocessen. Efter det är det konstruktion och drift av datacentret som följer och avslutningsvis är det återvinning och kassering av dess material, se *Figur 3*. Denna modell är löst baserad på Stanislava Borisovas (2021) modell från hennes livscykelanalys på ett datacenter i Boden.

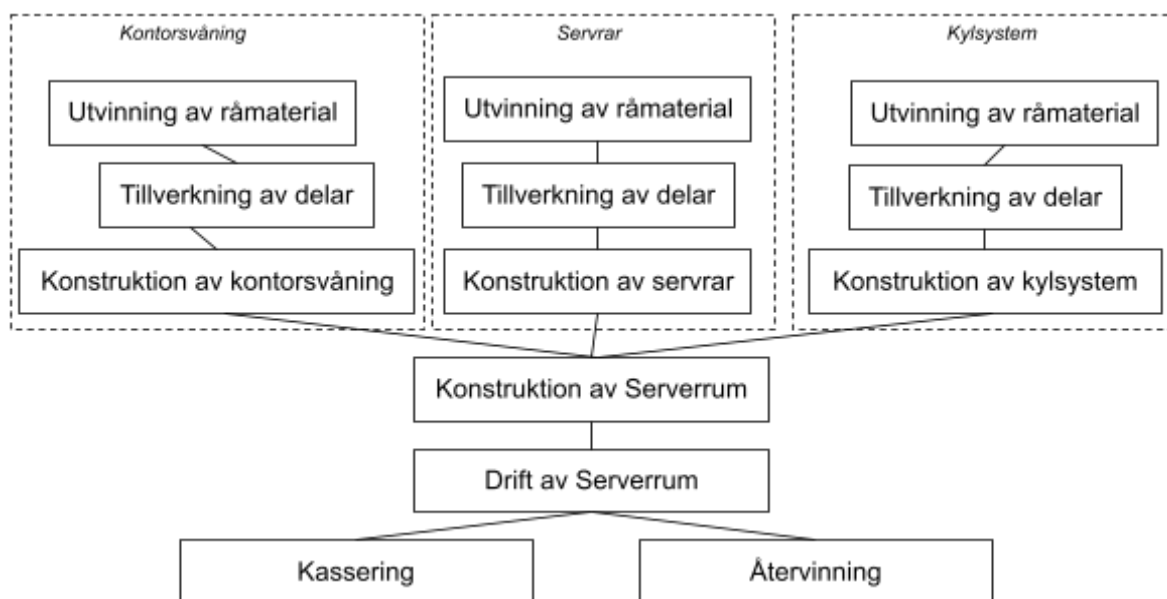


Figur 3. Modell på datacentrets livscykel.

Mellan varje del i modellen tillkommer även transport vilket också har en påverkan på miljön. En annan del som dock räknas bort i detta är eventuell lagring av de olika delarna mellan transporterna.

Lokal server

Den lokala servern som kommer användas i detta arbete är, precis som datacentret, hypotetiskt. Det kommer därför att ha en väldigt liknande form och följa en liknande skapandeprocess, vilket blir tydligt i *Figur 4*. Den stora skillnaden är att det kommer vara mycket mer småskaligt.



Figur 4. Modell av den lokala serverns livscykel.

Samtidigt är en av de stora skillnaderna mellan molnet och lokala servrar att man kan skala upp och ned vid behov om man använder sig av molnlösningar (Jakobsson 2018). Därför är det lättare att optimera användningen i ett datacenter. Andra skillnader är bland annat möjligheten till återvinning av spillvärme från datacenter samt möjligheten att placera ett datacenter där det är kallt i världen och därför inte behöva samma energiförbrukning till att kyla serverna.

5.1.4 Geografisk omfattning

Livscykelanalysens geografiska omfattning begränsas till Sverige. Detta betyder att datacentret och den lokala servern båda befinner sig i landet och därför använder sig av svensk elmix och svenskt vatten till sina kylsystem. Transporterna har också räknats ut genom att ta ett av världens vanligaste producent av respektive material och sedan frakta det sträckan mellan det landets huvudstad och Stockholm. Ett undantag här är att utsläppen från byggandet och livstiden för kontorsbyggnaden grundar sig i data från Skottland. Detta är dock ett europeiskt land med många likheter med Sverige så bedömningen är att den datan är bättre än något som skulle tas fram på egen hand.

5.1.5 Funktionell enhet

Enligt Alissa, Lio och Sinistore (u.å.) från Open Compute Project så är ett datacenters primära funktion att skapa och tilldela virtuella maskiner till användarna. Detta är även en av

funktionerna med ett IT-företags lokala servrar. Den funktionella enheten som de då föreslår är 1 ton CO₂-ekvivalenter per VM, alltså miljöpåverkan per virtuell maskin. Denna funktionella enhet kommer även användas i detta arbete då den ger en bra möjlighet att visa hur mycket utsläpp per användning respektive system har.

5.1.6 Påverkanskategorier

Detta arbete har begränsats till att kolla närmre på global uppvärmning och se om det är datacenter eller lokala servrar som bidrar mest till den sortens klimatförändring. Enligt senaste IPCC rapporten är det framförallt utsläpp av växthusgaser till följd av mänskliga aktiviteter som påverkar den globala uppvärmningen (Masson-Delmotte, V. et al. 2021). Detta går att mäta på ett smidigt sätt genom koldioxidekvivalenter vilket är den enhet som kommer att användas i denna LCA.

5.2 LCI - Datacenter

Datainsamlingen för material och annat till datacentret var från början tänkt att ske med hjälp av ett externt företag som skulle kunna tillhandahålla förstahandsdata. När det visade sig att detta inte var möjligt så har andrahandsdata från företag via artiklar eller andra dokument blivit den primära informationen som använts. För att komplettera detta så har många mindre kvalificerade gissningar gjorts när det kommer till råmaterialets ursprung samt de olika formaten de har förekommit i och varje formats andel. Datacentrets storlek är 20 000 kvadratmeter och 16 megawatt (förkortat MW) vilket utgår från byggnadsskalet (NCC 2013). Drifttiden är på 10 år och där ingår två utbyten av IT-utrustning vilket är antaganden som kommer från informationen om servrarna (Boulay 2011).

5.2.1 Servrar och Kylsystem

Servrarna och kylsystemet har baserats på ett "white paper" från Schneider Electric skriven av Dennis Boulay (2011). Här har de kvantifierat materialet, el- och vattenförbrukningen som behövs för att ha servrar med tillhörande ställningar och kylsystem för ett datacenter på 1 MW som är i bruk under 10 år. Under dessa 10 år ingår två stycken IT-uppdateringar. Eftersom vårt datacenter är på 16 MW så är materiallistan för det samma fast 16 gånger större.

Tabell 1. kvantifiering av ett datacenter på 1 MW under 10 år (utan byggnad) (Boulay 2011).

Material (1 MW i 10 år)	Mängd
Elektricitet	177 GWh
Vatten	227 000 m ³
Koppar	65 771 kg
Bly	9 525 kg
Plast	14 968 kg
Aluminium	33 112 kg
Löd	5 443 kg
Stål	171 004 kg

Stål

Stålet som används vid tillverkning och konstruktion av servrarna och dess tillhörande system har antagits komma från Sverige då Sverige är en relativt stor producent av detta. Jämfört med de riktigt stora stålproducenterna i världen såsom exempelvis Kina (ca 800 miljoner ton per år (Murphy 2022)) är Sverige långt efter med sina 4,7 miljoner ton per år (Ternell 2022). Per capita är man dock närmare och det är därför rimligt att stålet skulle kunna komma från Sverige i detta fall. Transporten har därför satts till noll för just stål eftersom räkneseättet som använts för transport är huvudstad till Stockholm.

Majoriteten av stålet här har gått till hyllorna till servrarna och andra konstruktioner som är till för att hålla fast och hålla upp andra system. Detta har fått representerats av “Steel Sections” i OpenLCA som rimlig ersättare till stålhyllor. Även armeringsjärn som med stor sannolikhet har använts har räknats in i LCI:n.

Sverige har en återvinningskvot på 90% för stål (Borneke 2020). Detta har lagts in i LCA-modellen inom återvinning vilket betyder att man har kunnat reducera mängden utsläpp genom produktion och användning av stål.

Löd

Löd används i elektronik och elektroniska komponenter för att de ska kunna fungera. En av världens största producenter av löd är Tyskland och de var 2020 tvåa på världsrankingen av exportländer (OEC 2020).

Med rätt utrustning så kan man återvinna upp emot 90% av den löd som används (Seika 2020). Detta blev därför modellens återvinningsgrad för löd och utsläppen kommer således kunna reduceras markant.

Aluminium

År 2020 var Kina världens största exportland för aluminium och därför kommer det vara landet aluminiumet är hämtat från i denna studie (Statista 2022a).

Enligt Sveriges Geologiska Undersökning (SGU u.å.) så återvinner man 73% av det aluminium som används i Sverige idag. I byggnads- och transportsektorn kan den vara betydligt högre egentligen men eftersom 73% är den genomsnittliga återvinningsgraden så är det den mängden modellen använts sig av.

Plast

Plasten som framförallt har använts i denna studie är polymetylmetakrylat, eller PMMA, samt ABS, som är en sampolymer av akrylnitril-, butadien-, och styrenmonomer. Även plasten kommer från Kina då de även här är väldigt överlägsna i världen när det kommer till mängd plast exporterat (Statista 2022b).

När det kommer till återvinning av plast är det framförallt plasten i pantflaskor som blir återanvänd. Förutom det så är det ganska lite plast som blir återvunnet och enligt IVL Svenska Miljöinstitutet så är totala plasten som återvinns endast 10% (2020).

Bly

Enligt Internationella Bly och Zink-gruppen (refererad av Government of Canada 2019) är Storbritannien en av världens största producenter av bly. Denna studie har därför använt sig av just det landet för blyet i datacentret. Idag återvinns upp till 99% av det bly som används vilket betyder att miljöpåverkan för denna komponent är marginell i sammanhanget (Leblanc 2018).

Koppar

Världens största kopparproducent är idag Chile (Statista 2022c). Kopparn i denna studie har därför tagits därifrån. I Sverige idag återvinner vi cirka 80% av den koppar som används (PreZero 2020).

El och Vatten

Den elmix som användes i denna studie var Sveriges. Enligt SCB så består den framförallt av vattenkraft och kärnkraft men även en del vindkraft (Holmström 2021). Det är alltså förhållandevis "gröna" energikällor men miljöpåverkan har det oavsett. När det kommer till vattnet till framförallt kylarutrustningen så användes siffror som kom från medelvärde för hur det ser ut i Europa.

5.2.2 Byggnadsskalet

Byggnadsskalet till datacentret kommer från NCC och är ett eget hypotetiskt koncept de tagit fram i marknadsföringssyfte. Det tillhör alltså inget riktigt datacenter men materiallistan är siffror på ett byggnadsskal som de skulle kunna bygga och som skulle ha en storlek på 20 000 kvadratmeter och skulle kunna vara värd till servrar på 16 MW (NCC 2013). De nödvändiga tekniska installationerna såsom kyla och IT ingår inte i detta koncept och utsläppen de bidrar med behöver därför beräknas separat (ibid.). Stålet till byggnaden antas precis som innan vara från Sverige och kunna återvinnas till 90%. Det återfinns dock i lite fler former såsom olika plåtar, reglar och balkar. Förutom det är det framförallt betong och cement, olika sorters träskivor, gipsskivor, mineralullsisolering och cellplast som använts för att bygga datacentret hölje. Här har färre antaganden gjorts angående producenter av materialet då NCC själva nämner i materiallistan vilken producent de avser i vissa fall.

Betong

Det som använts överlägset mest i byggandet av skalet till datacentret var betong. Det antogs komma framförallt från Danmark då det är en stor producent av cement som används i Sverige. När det kommer till betong återvinns cirka 28% medan resten framförallt deponeras (Tinnerstedt et al. 2020).

Trä

Trämaterialet som använts var framförallt tall, plywood och träfiber. Detta har antagits komma från Sverige och inte återanvändas alls.

Mineralullsisolering

Mineralullen som använts här kommer från Sverige då Isovers fabrik i Billesholm är en av de större producenterna till mineralull i landet tillsammans med Ecophon från Skåne (Isover 2018). Det går idag att återvinna upp emot 40% av det jungfruliga materialet i mineralull vilket är en siffra som använts i denna LCA (Anneroth 2016).

Cellplast

I NCC:s hypotetiska datacenter använder de framförallt Sundolitt cellplast. Sundolitt har en av sina större fabriker i Enköping i Uppland (Sundolitt 2020). Återvinningsgraden går in under samma återvinningsgrad som plasten i serverna och kylsystemet vilket låg på 10%.

Gips

Gipsskivorna i denna studie har antagits komma från Gyproc i Bålsta och deras gips består av 50% återvunnet material (Gyproc 2012). Eftersom detta är siffror från tidigt 2010-tal så kan vi anta att det inte är mindre återvunnet material idag. Eftersom det är just gammalt gips som är det återvunna som används i Gyprocs produkter så är det naturligt att de använder sig av sitt egna använda gips när de skapar nytt och därför sätts återvinningsgraden för gipsskivorna till 50%.

Värme

En av de stora fördelarna med datacenter jämfört med lokala servrar är möjligheten till att återvinna den producerade värmen. Enligt NCC ska deras datacenter kunna värme upp ett samhälle på 10 000 personer (NCC 2013). Detta motsvarar då 336 miljoner kilowattimmar (kWh) om man räknar med att ett hushåll på 150 kvadratmeter använder 18000 kWh per år och att 67% (två tredjedelar) av det går till värme (Bülow 2021). Det betyder att det går 80 kWh per kvadratmeter till värme och enligt SCB (2022) bor den svenska medelpersonen på en 42 kvadratmeter stor yta. Detta ger en elanvändning på 3360 kWh/år för värme per person i Sverige. Tar vi detta för 10 000 personer i 10 år får vi alltså 336 miljoner kWh som sparas genom värmeåtervinning. Ekvation (1) visar tydligare på denna uträkning.

$$((18\,000 * \frac{2}{3}) / 150) * 42 * 10\,000 * 10 = 336\,000\,000 \text{ kWh} \quad (1)$$

5.2.3 Transport

Transporterna har framförallt uppdelats mellan tåg, lastbil och flyg. Det var framförallt flygen från Asien och mer specifikt Kina som bidrog till utsläppen från alla transporter. Distanserna togs fram med hjälp av Google Maps.

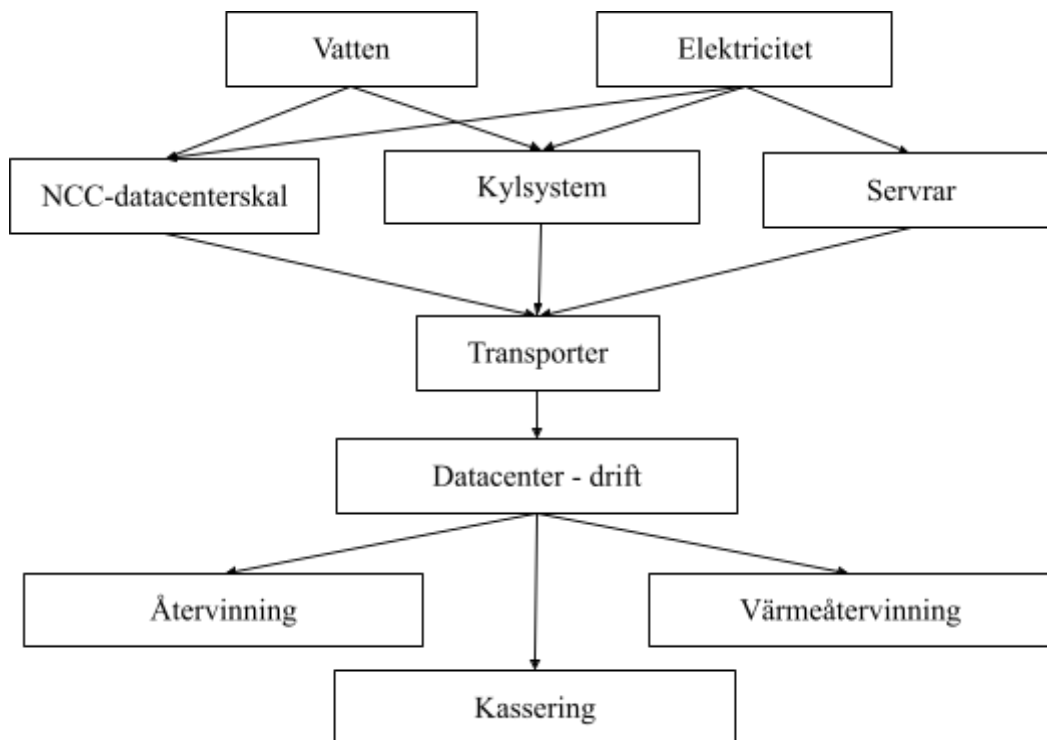
5.2.4 Virtuella maskiner

Enligt Racksolution (2020) så finns det olika sätt att göra en uppskattning på hur många servrar ett datacenter eller ett serverrum har. Ett av dem är att räkna ut det genom storleken. Antagandena är då att man använder ca 65% av ytan till just servrar, 52 servrar får plats i ett rack, ett rack får plats på två "tiles", en tile är 4 kvadratfot samt att förhållandet mellan de tiles som har servrar på sig och de som inte har är 28/44. Detta ger oss 26 servrar per tile och ett datacenter innehållande 22 220 tiles med servrar på sig, vilket ger en total på 577 726 servrar. Med $20\,000\text{ m}^2 \approx 215\,000\text{ ft}^2$ så kan vi i ekvation (2) se beräkningen på detta.

$$215\,000 * 0,65 * \frac{1}{4} * 0,636 * \frac{52}{2} \approx 577\,726 \text{ servrar} \quad (2)$$

Ett företag som gör program för virtuella maskiner är VMware och enligt dem kan man som mest ha 128 virtuella maskiner på en av deras servrar (Kharbin 2007). Det kan dock vara lite för många för att kunna upprätthålla en hyfsad funktionalitet och enligt Ian Kaufman från University of California, Jacobs school of Engineering (Zaharoff 2014) så är 48 en bra siffra då det ger ingen negativ förändring i serverns funktion samt att det finns utrymme för att börja på nya projekt och dylikt. Med 48 virtuella maskiner per server och antagandet att datacentret inte har fler servrar än de behöver så har vårt datacenter 27 730 872 virtuella maskiner.

I *Figur 5* kan man se en förenklad slutgiltig modell av datacentrets flöden och processer. Transporterna tillkommer på fler än ett ställe samt att mindre flöden som hänger ihop på fler än ett sätt men det skulle göra modellen svårtolkad.



Figur 5. Förenklad modell av datacentrets processer och flöden.

5.3 LCI - Lokala servrar

Datan till de lokala serverna är till viss del samma som den till datacentret och detta beror på avsaknaden av ett riktigt företags lokala server. Det har gjort att materialet och antagandena till serverna och kylsystemet är baserade på samma källa med skillnaden att storleken är på 1 megawatt jämfört med datacentrets 16. Förutom det är det även andra artiklar om utsläpp och kontorsbyggnader som har fungerat som andrahandsdata. Antaganden som har gjorts är även här en livslängd på 10 år med två stycken byten av IT-utrustningen.

5.3.1 Servrar och Kylsystem

Servrarna och kylsystemet är även det baserat på Dennis Boulays (2011) white paper från Schneider Electronics. I *Tabell 1* kan vi se den materiallista som använts. Eftersom de lokala serverna antas vara på 1 MW och ha en livslängd på 10 år så är det exakt de siffrorna där som ingått i livscykelinventariet. I LCI-delen om datacentret finns flera beskrivningar av datan och de antaganden som gjorts och det kommer därför inte upprepas här.

5.3.2 Kontorsvåning

Kontoret som använts i denna undersökning är från en skotsk undersökning från 2006 där de bland annat går igenom ett fyra våningar högt kontorshus utsläpp genom dess livstid (Burnett 2006). Detta har använts istället för att på egen hand försöka hitta på hur mycket utsläpp ett kontorshus skulle kunna ge ifrån sig under hela sin livstid. Fastän undersökningen är från Skottland och från 2006 så är bedömningen att den stämmer mer överens med verkligheten i Sverige idag än något jag själv skulle kunna ta fram. Byggnaden har fyra våningar och en total golvyta på 530 kvadratmeter vilket betyder att den har en yta på 132,5 kvadratmeter per våning (ibid.). *Tabell 2* visar vilka material som använts och hur mycket de bidragit till utsläppen.

Tabell 2. Mängden CO₂-ekvivalenter som kontorsbyggnaden bidragit med (Burnett 2006).

Byggnadsmaterial	Ton CO ₂
Grund: betong	4,7
Golv: betongplatta, spånskiva, extruderad polystyrenisolering	39,9
Innertak: gipsskiva	2,3
Strukturer: stål	15,44
Yttre väggar: ytterblad av tegel med blockinnerblad, glasullisolering, gipsskiva	32,1
Inre väggar: trästomme, gipsskiva	8,7
Trappor: betong	1,1
Fönster: glas, PVC-ram	0,59
Innerdörrar: paneldörrar (spånskiva)	– 0,4
Ytterdörrar: PVC	0,6
Yttertak: träbjälkar, fiberullisolering, takpannor	23,4
Totalt	128,3

Den lokala servern antas i detta fall att endast uppta en av våningarna, alltså 132,5 kvadratmeter och kommer därför bara stå för 25 % av de totala 128,3 ton utsläpp.

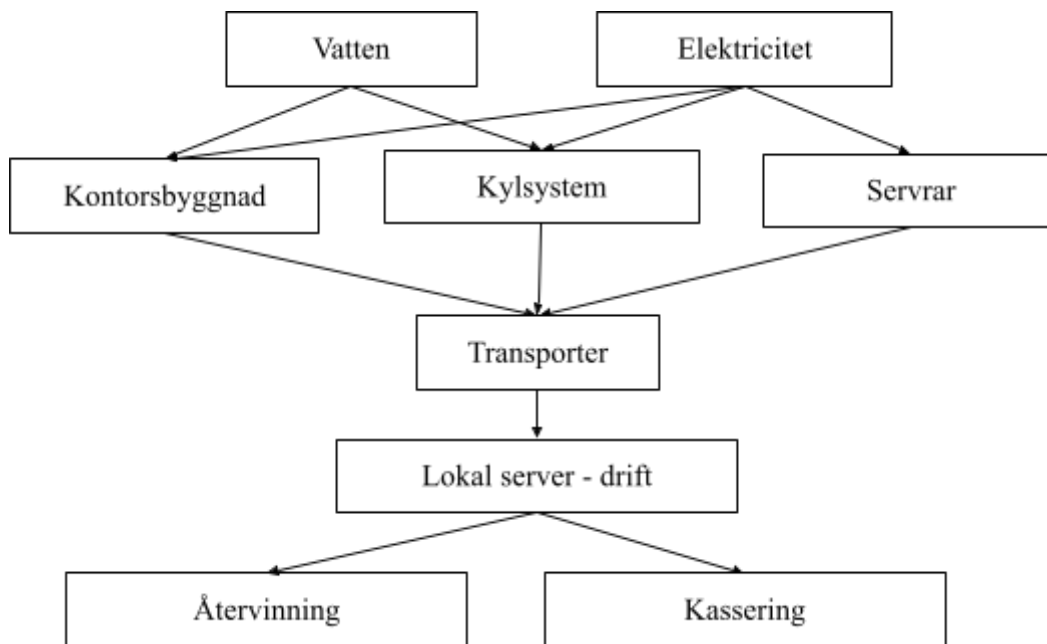
5.3.3 Virtuella maskiner

Använder vi även denna gång Racksolutions (2020) sätt att beräkna antal servrar i ett datacenter visar det sig att 3832 servrar får plats i kontorets serverrum. Eftersom serverrummet dock inte är ett datacenter utan endast just ett serverrum kan vi istället anta att 100% av ytan är till för servrarna jämfört med datacentrets 65%. Eftersom $132,5 \text{ m}^2 \approx 1\,426 \text{ ft}^2$ betyder det att 5 895 servrar får plats i kontorhusets serverrum. Uträkningen visualiseras i ekvation (3).

$$1\,426 * \frac{1}{4} * 0,636 * \frac{52}{2} \approx 5\,895 \text{ servrar} \quad (3)$$

Eftersom exakt samma materiallistor för servrarna har använts för datacentret och den lokala servern så kan vi anta att de i detta fall har exakt samma sorts utrustning och därför har samma antal virtuella maskiner på sina servrar. Skillnaden här, och en av anledningarna till denna studies uppkomst, är att lokala servrar sällan använder hela sin kapacitet. Enligt Oracle så har lokala “on-prem”-lösningar 30% så kallad “zombie-servrar” som alltså bara står och inte använts (Sysco-Cegal 2022). När vi då ska beräkna den lokala serverns antal virtuella maskiner så använder vi bara 70% av de servrar som de har tillgång till. 70% av 5 895 är 4 127 och om varje då har 48 virtuella maskiner (Zaharoff 2014) så blir det totala antalet ca 198 072 stycken.

De största skillnaderna mellan en lokal “on-prem”-serverlösning och ett datacenter ligger framförallt i storleken och mängden förbrukade resurser. I den slutgiltiga modellen av båda systemen är det dock framförallt saknaden av återvinning av värme hos den lokala servern. Detta kan observeras i *Figur 6* om man jämför den med *Figur 5*.



Figur 6. Förenklad modell av den lokala serverns processer och flöden.

5.4 Konsekvensbedömning

I denna del kommer en bedömning av miljöpåverkan av systemen att göras. Fastän denna livscykelanalys är en jämförande sådan så kommer ingen viktning eller normalisering av resultatet behöva göras. Detta beror på att vi endast kommer ta hänsyn till en miljöpåverkanskategori och det är global uppvärmning. Genom att ta fram hur mycket koldioxidekvivalenter de båda systemen släppt ut under hela sin livstid kommer vi få fram vilket av de båda som påverkar den globala uppvärmningen mest negativt.

5.4.1 Datacenter

Enskilt släppte datacentret ut mest koldioxidekvivalenter av de båda systemen och detta var framförallt på grund av den höga elförbrukningen. Elen stod ungefär för 86,5% av de totala utsläppen här. *Tabell 3* visar på vart förhållandena mellan processerna. Förutom elanvändningen var det vattenförbrukningen samt transportererna som släppte ut det mesta av växthusgaserna. Kylsystemet, servrarna och NCC:s byggnadsskal släppte ungefär ut liknande mängder alla tre. Intressant var hur mycket energi och utsläpp som värmeåtervinningen kunde spara.

Tabell 3: Mängd CO₂-ekvivalentutsläpp från de större processerna i datacentrets livscykel.

Process (16 MW i 10 år)	Ton CO ₂ -ekvivalenter
Elanvändning	301 900
Vattenanvändning	24 120
Transport	12 780
Kylsystem	3 353
Serverar (två byten)	3 352
Byggnadsskal (20 000 m ²)	3 175
Värmeåtervinning	– 35 820
Totalt	312 860

För att få en mer representativ bild av hur stor del av utsläppen som faktiskt elförbrukningen står för så kan man kolla på *Diagram 1* nedan. Där ser man att hur mycket det faktiskt står för och hur mycket mer de totala utsläppen också hade varit utan värmeåtervinningen.

Utsläpp (Ton koldioxidekvivalenter)

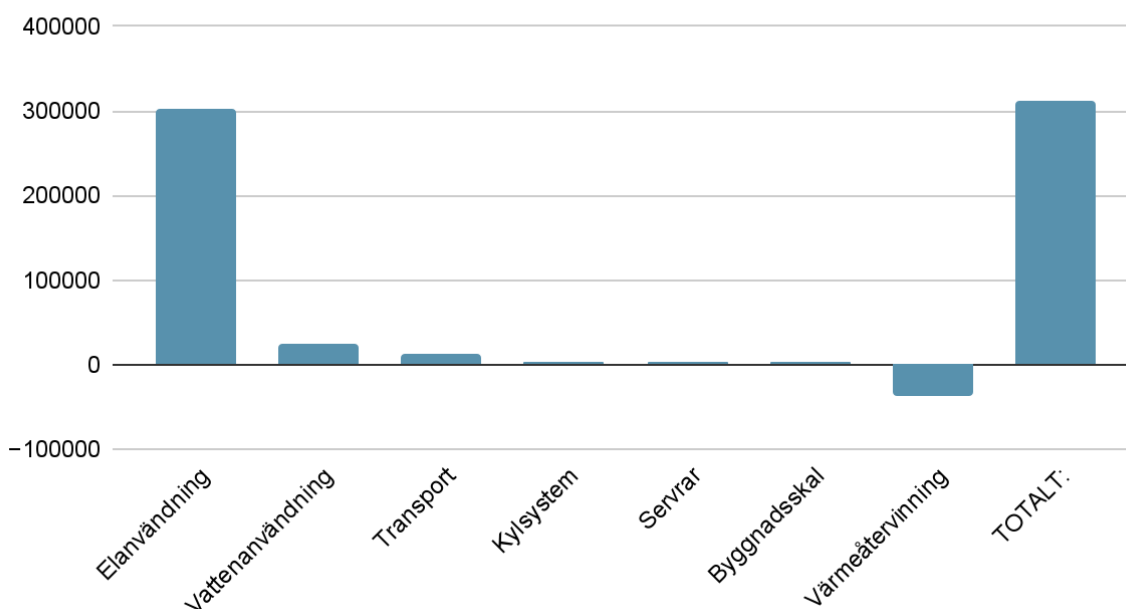


Diagram 1. Mängden utsläpp av CO₂-ekvivalenter i ett stapeldiagram.

5.4.2 Lokala servrar

Även hos de lokala serverna så är det elförbrukningen som står för majoriteten av utsläppen. Eftersom de jämförande systemen är så pass lika i allt förutom storlek så ser utsläppsförhållandena väldigt lika ut för båda. Den största skillnaden är att lokala servrar i regel inte återvinner sin avfallsvärme och därför inte får räkna bort de utsläppen. I *Tabell 4* kan man se utsläppen från de större processerna i en lokal servers livstid.

Tabell 4. Mängd CO₂-ekvivalentutsläpp från den lokala serverns livscykel.

Process (1 MW i 10 år)	Ton CO ₂ -ekvivalenter
Elanvändning	18 870
Vattenanvändning	1 507
Transport	303,5
Servrar (två byten)	239,5
Kylsystem	231,2
Kontorsvåning (132,5 m ²)	32
Totalt	21 183

Stapeldiagrammet *Diagram 2* ser väldigt lik ut *Diagram 1* på grund av de liknande förhållandena mellan utsläppen. Det som framförallt skiljer är mängderna samt inga negativa utsläpp i *Diagram 2*. Noterbart är att elförbrukningen står för 89% av de totala utsläppen.

Utsläpp (Ton koldioxidekvivalenter)

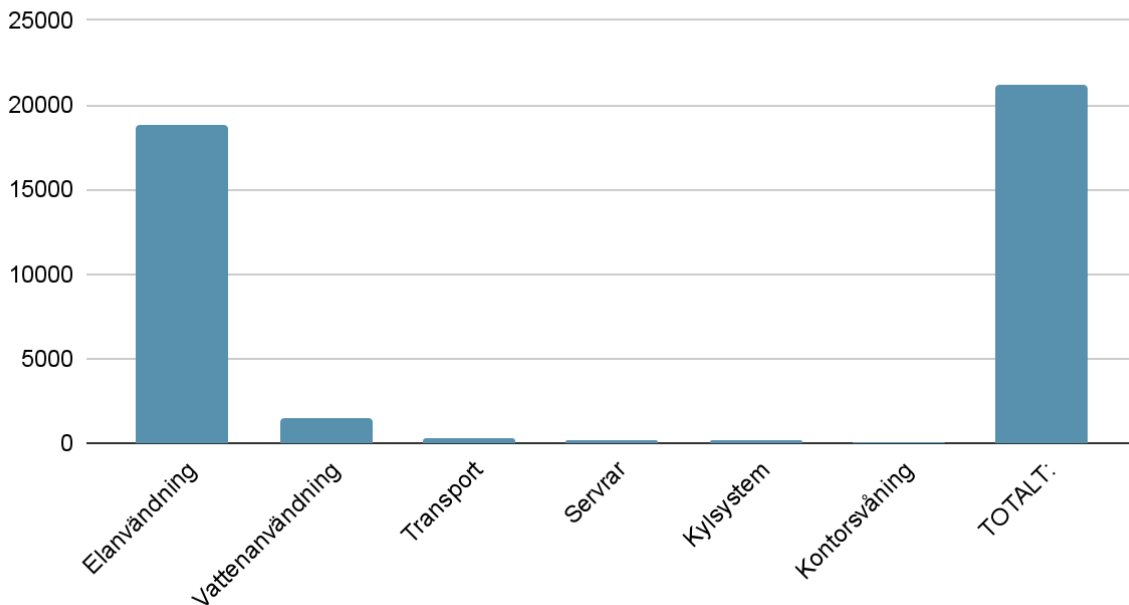


Diagram 2. Mängden utsläpp av CO₂-ekvivalenter i ett stapeldiagram

5.4.3 Jämförelse

Eftersom datacentret är så mycket större än den lokala servern är det uppenbart att den kommer påverka den globala uppvärmningen mer. Den kan dock fungera som server till bra många fler människor med hjälp av denna LCA:s funktionella enhet: virtuella maskiner. Totalt släpper alltså ett datacenter ut 312 900 ton CO₂-ekvivalenter och den lokala servern 21 183 ton CO₂-ekvivalenter. Datacentret är även värd för 27 730 848 VMs och den lokala servern 198 072 stycken. Per virtuell maskin blir det alltså 0,01128 ton CO₂-ekvivalenter för datacentret och 0,1069 ton CO₂-ekvivalenter för den lokala servern. Det betyder att med detta sättet att räkna är användandet av molntjänster genom datacenter ungefär 9,5 gånger mer hållbart än att använda sig av en egen lokal server ur ett globalt uppvärmningsperspektiv. I ekvationerna (4), (5) och (6) blir beräkningarna tydligare.

$$\frac{312\,900}{27\,730\,848} = 0,01128 \text{ ton CO}_2\text{-eq/VM} \quad (4)$$

$$\frac{21\,183}{198\,072} = 0,1069 \text{ ton CO}_2\text{-eq/VM} \quad (5)$$

$$\frac{0,1069}{0,01128} \approx 9,477 \quad (6)$$

5.5 Tolkning

Efter att ha kontrollerat och förändrat omfattningen, datan, flödena och processerna har slutsatsen blivit att LCA-studien i sin nuvarande form är det bästa som går att få fram. Målet med livscykelanalysen var att ge en större bild över om man skulle kunna minska miljöpåverkan genom att flytta sina servrar till molnet hos ett datacenter istället för att använda sig av egna lokala “on-prem”-servrar. Slutsatsen är att om man har ett nystartat företag och väljer molnlösningar istället för att bygga sina egna servrar så kommer man garanterat att minska miljöpåverkan. Om man dock är ett äldre företag som redan har egna servrar och väljer mellan att flytta dem till molnet eller behålla på plats så är svaret inte lika uppenbart. Livscykelanalysen visade att elförbrukningen stod för nästan 90% av de totala utsläppen för båda systemen. Om ett företag då har byggt ett eget “on-prem”-serverrum och väljer mellan att behålla det eller flytta betyder den potentiella minskade elförbrukningen av att välja molnet att man med stor sannolikhet kommer minska miljöpåverkan genom att stänga ned sina egna servrar. Detta förutsätter dock att datacentret man flyttar till använder högre andel av sin kapacitet än vad de lokala serverna gjorde. Skulle man flytta till ett helt nybyggt center som heller inte har några andra inkommande “hyresgäster” så skulle det inte vara positivt för den globala uppvärmningen. En av fördelarna med datacenter är dock att de är mer flexibla och kan skala upp och ned beroende på behov vilket skulle kunna betyda att om behovet för datacentret är litet skulle energiförbrukningen kunna vara proportionerlig (Jakobsson 2018). Det finns alltså en stor sannolikhet att ett företag skulle minska sin miljöpåverkan om man använde sig av molntjänster istället för egna servrar, men den är inte garanterad. Användningen för denna LCA-studie skulle vara att visa för IT-företag i Sverige som stod inför dessa val om de skulle *kunna* spara miljön genom att välja att ha sina servrar på ett datacenter istället för hos sig själva. Eftersom studien har resulterat i ett tydligt svar på just detta så skulle den komma till användning för företag som jobbar med migrering av servrar och som vill ha siffror att visa nya potentiella kunder.

6. Diskussion

Denna studie har, med hjälp av en livscykelanalys, jämfört utsläppen som ett datacenter respektive en lokal server står för. Arbetet grundade sig i att det är vanligt att man slentrianmässigt säger att molnlösningar via datacenter är bättre för miljön än egna servrar på grund av mer effektiv energiförbrukning (Jakobsson 2018). Det som gjorde studien nödvändig var att det trots dessa uttalanden inte funnits några ordentliga undersökningar som givit ordentliga resultat på detta. Denna rapport har däremot visat på en riktig undersökning och fastän det finns förbättringsmöjligheter så har ett tillvägagångssätt tagits fram samt ett svar på frågan om molnlösningar är bättre för miljön än alternativet. I detta avsnitt kommer dessa förbättringsmöjligheter att diskuteras tillsammans med potentiella framtida studier.

6.1 Funktionella enheten

Ett av tidigare nämnda förbättringsområden är den funktionella enheten. Att skapa virtuella maskiner är ett av ett datacenters huvuduppgifter vilket är en förutsättning för att ha med det i en funktionell enhet. Det fungerar också bra om man bara gjorde en LCA på ett system istället för en jämförelse. I detta fall, när det är en jämförelse som har gjorts, så har dock virtuella maskiner sina begränsningar. Skulle man ha två riktiga system att jämföra och få fram hur många VM:s de hade så hade det kunnat ge en missvisande bild av hur mycket de används. Detta beror på att virtuella maskiner "delas ut" efter behov vilket betyder att ett företag kan behöva många VM:s med mindre kapacitet medan ett annat kan behöva få VM:s med större kapacitet. I det första fallet så tilldelas då varje VM en mindre del av hårdvaran och fler får då plats på en och samma server medan i andra fallet får varje VM en större del av hårdvaran och färre virtuella maskiner får plats på den servern. Eftersom en viktig funktion för ett företag som erbjuder molntjänster är att kunna erbjuda servrar och virtuella maskiner efter kundens behov så skulle detta kunna bli ett problem om man jämförde två riktiga system och deras respektive mängd VM:s.

Eftersom vi i detta fall har två hypotetiska system som vi jämför så fungerar det dock bra att räkna på hur många virtuella maskiner de skulle kunna ha. Skulle man ha två verkliga datacenter eller lokala servrar man vill jämföra och ändå tycker att VM:s är det bästa alternativet i en funktionell enhet så skulle man kunna räkna på hur många de båda systemen skulle kunna ha också.

Det skulle eventuellt kunna finnas någon ersättare till virtuella maskiner som skulle vara bättre och från början var tanken att utforska detta tillsammans med ett företag som äger ett datacenter. Idén var då att fråga dem hur de mätte sin användning och genom det få fram en bra funktionell enhet. Eftersom det inte gick att upprätta en kontakt med ett molnföretag, trots återupprepade försök, så blev det istället Open Compute Projects Alissa, Lio och Sinistores (u.å.) förslag på funktionell enhet som användes.

6.2 Servrarna

En annan del i studien som hade varit bättre om tillgång till ett riktigt datacenter och en riktig lokal server fanns skulle vara informationen om servrarna och dess hårdvara. Vilka sorts servrar och vilken teknik de använder kan göra stor skillnad. Ny, uppdaterad hårdvara skulle kunna vara värd för många fler och effektivare virtuella maskiner per kvadratmeter jämfört med äldre teknik. Nyare utrustning är oftast även mer energieffektivare och därmed bättre för miljön. Det skulle också betyda att komponenterna de olika servrarna var uppbyggda av skulle skilja sig vilket hade varit intressant.

En av de stora fördelarna med att välja molntjänster för ett mindre IT-företag är att de själva slipper uppdatera och underhålla sina servrar. Molnföretagen är istället de som tar hand om utrustningen och ser till att det håller hög och modern standard. Det är viktigt för deras affärsidé att det är bra kvalitet på de servrar som företag hyr in sig på och det finns därför ett stort behov för dem att alltid ha bra hårdvara tillgänglig för kunden. På grund av detta är det alltså osannolikt att ett mindre IT-företag med eget serverrum och en datorjätte som driver ett datacenter använder sig av exakt samma utrustning, som har förutsatts i denna studie. Hade två riktiga system gått att studera så hade man kunnat ta reda på exakt vilka sorts servrar de använder sig av och på så sätt få fram skillnaden.

6.3 Kontorsbyggnaden

Ett tredje område som skulle kunna förbättras om man gjorde en liknande studie fast med tillgång till verkliga system är kvaliteten på datan om kontorsbyggnaden. I detta arbete har informationen kommit från en rapport från Edinburghs koldioxidhanteringscenter från 2006. Detta betyder alltså att det som kontorsbyggnaden är baserad på i livscykelanalysen är en kontorsbyggnad som är byggd med skotsk standard för 16 år sedan. Just tidsskillnaden

behöver eventuellt inte vara något större problem eftersom få kontorsbyggnader i Sverige är byggda i år och de flesta har några år på nacken.

En större skillnad skulle dock kunna vara att sättet man bygger kontor på skiljer sig mellan Sverige och Skottland. Eftersom det inte fanns någon tillgång till ett svenskt kontor för detta arbete så har det varit svårt att ta reda på exakt hur de eventuellt skiljer sig, men eftersom det är två europeiska länder med liknande infrastruktur så har det antagits att det inte skiljer sig nämnvärt.

En del där det dock är väldigt stor sannolikhet att det skiljer sig är frakten av råmaterial. Eftersom Sverige och Skottland skiljer sig mycket när det kommer till naturresurser så finns det en stor risk att länderna har olika sorters importbehov. Trä och timmer är det osannolikt att Sverige importerar medan man eventuellt kan behöva göra det till Skottland då de har sämre tillgång till skog. Vi har också gott om järn i Sverige vilket gör importbehovet av det lågt medan det skulle vara svårare att få tillgång till andra metaller utan att importera. Liknande gäller Skottland, det finns resurser de har mycket av och det finns material de behöver hämta från andra ställen. När det kommer till import så skulle även sträckorna som råvarorna fraktas variera. Detta skulle eventuellt vara marginellt men en skillnad skulle det bli.

6.4 Framtida studier

Att göra denna studie fast tillsammans med två företag som äger ett datacenter respektive har ett eget lokalt serverrum skulle vara väldigt intressant. Det skulle då göra att några eller alla av de förbättringsområden som diskuteras tidigare skulle kunna åtgärdas och en mer komplett LCA skulle kunna utföras. Om man gjorde arbetet på detta sätt skulle det dock fortsatt kunna uppstå problem. Exempelvis är det inte säkert att båda företagen mäter sin användning på samma sätt eller har lika stor tillgång till materiallistor. De har också eventuellt olika policys på vad de lämnar ut vilket också skulle kunna leda till att utföraren av livscykelanalysen skulle ha all data på ena systemet men behöva gissa eller approximera på det andra. Det skulle inte vara optimalt. Om de båda samarbetsparterna var konkurrenter skulle även det kunna skapa en del hinder. Alla inblandade skulle kunna ha en rädsla för vilken information den andra parten får tillgång till vilket skulle göra att otillräcklig data blev utelämnat. Det skulle också kunna uppstå en situation där det ena företaget inte vill erkänna att deras tillvägagångssätt har högre miljöpåverkan än det andra och att informationen de lämnar ut därför är bristfällig.

Ett sätt att motverka alla dessa potentiella problem skulle vara att samarbeta med ett företag som äger både lokala “on-prem”-servrar samt datacenter. Flera stora IT-jättar såsom Oracle eller Microsoft har en verksamhet där de erbjuder molnbaserade tjänster samt “on-prem”-servrar där de sköter driften på företags egna lokala servrar. Med hjälp av ett sådant företag skulle man kunna utföra en liknande studie som denna samtidigt som man kommer runt de tidigare nämnda förbättringsområdena. Man skulle heller inte riskera att studien blev viktad åt något håll eftersom man antagligen skulle få exakt samma kvalitet på datan från både datacentret och den lokala servern. Detta är även något som verkligen skulle vara en möjlighet för en anställd på ett sådant företag som sysslar med hållbarhetsfrågor. De skulle antagligen kunna göra en studie från insidan som är mer välgjord än något någon från utsidan skulle kunna göra.

Framtida studier skulle också kunna utöka systemomfattningen. Först och främst hade man kunnat kolla närmre på flera olika påverkanskategorier förutom just klimatförändring. Det skulle även vara intressant att gå ned mer på detaljnivå inom ett datacenter och det som ingår i skapandet, driften och end-of-life av dess livscykel. Förutom att ta med mer detaljer skulle man också kunna bredda studien och exempelvis beräkna hur många arbetare varje system skulle behöva under sin livstid och hur mycket miljöpåverkan de skulle ha. Man skulle även kunna kolla med entreprenörerna för att se vilken sorts utrustning de har använt vid byggandet och på så sätt eventuellt få fram en skillnad i utsläpp.

Rapporter som i framtiden kan vara gjorda på liknande sätt men med mer tillgång till riktig data och detaljer skulle kunna ligga som grund för många framtida beslut som skulle kunna gynna oss och vår planet. Förhoppningsvis kan denna studie fungera som en mall på hur man skulle kunna göra en framtida jämförande LCA mellan ett riktigt datacenter och en riktig lokal server.

Slutsatser

En av frågeställningarna i denna studie var vart ett företag ska ha sina servrar för att ha så lite miljöpåverkan som möjligt. Resultatet av detta arbete har inte kunnat ge ett rakt svar på den frågan som till 100% alltid kommer stämma. Det har dock visat sig att om ett företag skulle använda sig av molnet istället för sina egna lokala servrar så skulle de med stor sannolikhet minimera sina utsläpp. Detta är dock beroende på många olika faktorer som kan variera från fall till fall och därför är det inte helt garanterat.

I researchen till denna rapport så har många olika metoder för att mäta miljövänlighet på datacenter gått igenom. De alla har inte diskuterats ingående i texten men de flesta var antingen beroende av pengar och resurser eller obegränsad tillgång till ett datacenter. Metoden och måttstocken som tillslut blev det slutgiltiga valet var LCA och koldioxidekvivalenter. Detta beror på att en LCA var något man kunde göra utan att betala pengar och som är erkänt som ett bra sätt att mäta hur mycket miljöpåverkan en produkt eller system har under hela sin livstid. Att kunna mäta över hela livstiden och inte bara under användningsfasen var en viktig del då andra faser kan ha stor påverkan. Koldioxidekvivalenter blev det slutgiltiga valet då det bestämdes att omfattningen skulle begränsas till klimatförändring. Global uppvärmning är en av de viktigaste delarna i klimatförändring och en av de största faktorerna till det är utsläpp av växthusgaser. Ett bra sätt att mäta det på är att använda sig av koldioxidekvivalenter då det tar in alla växthusgaser och omvandlar det till en enhet baserad på koldioxidens påverkan.

Den sista frågeställningen utgår från om det är möjligt att skapa en modell som gör en jämförelse mellan molnet och lokala servrar och denna studie har visat att så är fallet. Fastän just denna livscykelanalys har sina begränsningar på grund av kvaliteten på datan så är det en tydlig modell som någon i framtiden skulle kunna använda sig av. De skulle då kunna ta sina egna system och dela upp dem på ett liknande sätt och då få ut ett resultat på vilket av dessa alternativ som har minst miljöpåverkan.

Referenser

Advania. 2022. *Fördelar och nackdelar med molntjänster*. [Blogg]. 29 mars.
<https://www.visolit.se/artiklar/fordelar-och-nackdelar-med-molntjanster> (Hämtad 2022-04-05).

Alissa, Husam; Sinistore, Julie och Lio, Kari; u.å. *Guidelines: Life Cycle Assessment*. Open Compute Project.

Anneroth, Marcus. 2016. *Framgångsfaktorer för ökad återvinning av mineralull från byggprojekt*. Examensarbete, LTH, Lunds Universitet.
<https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=8896178&fileId=8896179> (Hämtad 2022-04-24).

Ascue, Katia. 2015. *Avfallshanteringens miljöpåverkan - Fem avfallstypers koldioxidutsläpp i SÖRABs återvinningsprocess*. Examensarbete, KTH.
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:899310/FULLTEXT01.pdf> (Hämtad 2022-04-24).

Borisova, Stanislava. 2021. *Datacenterets livscykel, var börjar vi?* 23 juni.
<https://www.ri.se/sv/datacenterets-livscykel-var-borjar-vi> (Hämtad 2022-03-14).

Borneke, Amanda. 2020. *Återbruka byggnader: 10 Byggmaterial att Återanvända efter Rivning*.
<https://www.amandaborneke.com/post/aterbruka-byggnader-10-byggmaterial-att-ateranvanda-efter-rivning> (Hämtad 2022-04-23).

Boverket. 2019. *Introduktion till livscykelanalys (LCA)*. 20 februari.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/> (Hämtad 2022-04-12).

Bouley, Dennis. 2011. *Estimating a Data Center's Electrical Carbon Footprint*. Schneider Electric.
https://download.schneider-electric.com/files?p_File_Name=DBOY-7EVHLH_R0_EN.pdf&

[p_Doc_Ref=SPD_DBOY-7EVHLH_EN&p_enDocType=White%20Paper](#) (Hämtad 2022-04-15).

Bülow, Elias. 2021. *Normal elförbrukning för villor*.
<https://hemsol.se/vanliga-fragor/elforbrukning-villa/> (Hämtad 2022-04-25).

Burnett, Jill. 2006. *Forestry Commission Scotland Greenhouse Gas Emissions Comparison Carbon benefits of Timber in Construction*. ECCM Report 196.

Daleke, Ola och Gustafsson, Johan. 2013. *NCC Construction Sweden presents: NCC Data Center*. NCC.

Dubey, Brajesh. 2017. *LCA - A detailed Methodology*. [Video]
<https://www.youtube.com/watch?v=W9sAmc0Svbg> (Hämtad 2022-02-24).

Faludi, Jeremy. 2020. *LCA lecture*. [Video].
<https://www.youtube.com/watch?v=uXj3M9Z4B4g> (Hämtad 2022-02-24).

Frankenfield, Jake. 2021. Cloud Computing. *Investopedia*. 7 september.
<https://www.investopedia.com/terms/c/cloud-computing.asp> (Hämtad 2022-05-15).

Government of Canada. 2019. *Lead facts*.
<https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/minerals-mining/minerals-metals-facts/lead-facts/20518> (Hämtad 2022-04-23).

Gyproc Saint-Gobain. 2012. Gyproc satsar på miljöarbete. *Gyproc Solutions*. #1.
https://www.gyproc.se/sites/gypsum.nordic.master/files/gyproc-site/page-images/Media-SE/Solutions/Gyproc%20Solutions%201_12.pdf (Hämtad 2022-04-24).

Holmström, Christian. 2022. *Elproduktion*. 22 februari.
<https://www.ekonomifakta.se/fakta/energi/energibalans-i-sverige/elproduktion/> (Hämtad 2022-04-10).

Isover Saint-Gobain. 2018. *Isolering från Isover*.
<https://www.isover.se/hallbarhet-och-miljo/en-hallbar-framtid/isolering-fran-isover> (Hämtad 2022-04-24).

IVL Svenska Miljöinstitut. 2020. *Lättläst rapport ger fakta och tips om plast*. 21 februari.
<https://www.ivl.se/toppmeny/press/pressmeddelanden-och-nyheter/nyheter/2020-02-21-lattlas-t-rapport-ger-fakta-och-tips-om-plast.html> (Hämtad 2022-04-22).

Jakobsson, Peter. 2018. *9 fördelar med molntjänster (cloud computing)*. [Blogg]. 27 februari.
<https://www.squad.se/blogg/fordelar-med-molntjanster-cloud-computing> (Hämtad 2022-04-05).

Johan. 2019. *Vad är CO2-ekvivalenter (koldioxidekvivalenter)?*. WWF. 8 mars.
<https://kontakt.wwf.se/org/wwf/d/koldioxidekvivalenter-co2e/> (Hämtad 2022-03-23).

JRC. 2010. *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance*. European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability. First edition March 2010. Publications Office of the European Union; 2010.

Kalodrich, Michael. 2018. *“Mission: Green Computing” by Supermicro Introduces Total Cost to the Environment (TCE) for Leading Data Centers*. 20 augusti.
<https://www.supermicro.com/nl/pressreleases/mission-green-computing-supermicro-introduces-total-cost-environment-tce-leading-data> (Hämtad 2022-05-15).

Kharbin. 2007. *How many VMs can run on a single host*.
<https://communities.vmware.com/t5/Enterprise-Strategy-Planning/How-many-VMs-can-run-on-a-single-host/td-p/1951280> (Hämtad 2022-05-03).

Leblanc, Rick. 2018. The amazing story of lead recycling. *The Balance*. 7 oktober.
<https://www.thebalancesmb.com/the-amazing-story-of-lead-recycling-2877926> (Hämtad 2022-04-23).

Malmqvist, Mattias. 2021. AWS accelererar - står för nästan hälften av Amazons vinst.

ComputerSweden. 30 april.

<https://computersweden.idg.se/2.2683/1.750304/aws-accelererar--star-for-nastan-halften-av-amazons-vinst> (Hämtad 2022-04-05).

Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K.

Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou. 2021. IPCC, 2021. Summary for Policymakers. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

Mossige-Norheim, Thea. 2020. Nätjättarnas serverhallar hotar elförsörjningen. *Expressen*. 6 oktober. <https://www.expressen.se/nyheter/natjattarnas-serverhallar-hotar-elforsorjningen/> (Hämtad 2022-05-15).

Murphy, Freda. 2022. Topp 10 stålproducerande länder i världen. *Ripleybelieves*. januari. <https://sv.ripleybelieves.com/top-10-steel-producing-countries-in-world-1612> (Hämtad 2022-04-20).

Naturskyddsföreningen. 2022. *Miljöpåverkan från el- och värmeproduktion*. [Faktablad]. <https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/miljopaverkan-fran-el-och-varmeproduktionen/> (Hämtad. 2022-05-15).

NCC. 2022. *Serverhall Facebook, Luleå*.

<https://www.ncc.se/vara-projekt/serverhall-facebook-lulea/> (Hämtad 2022-05-01).

OECD. 2020. *Soldering and Welding Machinery*.

<https://oec.world/en/profile/hs/soldering-and-welding-machinery> (Hämtad 2022-04-21).

OJCO. 2021. *Vad är ett datacenter?*. 22 oktober. <https://www.ojco.se/vad-ar-ett-datacenter/> (Hämtad 2022-05-16).

OpenLCA. 2022. *The world's leading, high performance, open source Life Cycle Assessment software*. <https://www.openlca.org> (Hämtad 2022-05-11).

PreZero. 2020. *Koppar - ett perfekt material för återvinning*. [Blogg]. 21 maj. <https://atervinningsblogg.se/koppar-ett-perfekt-material-for-atervinning/> (Hämtad 2022-04-23).

RackSolutions. 2020. How many servers does a data center have? *RackSolutions Blog*. [Blogg]. 23 september. <https://www.racksolutions.com/news/blog/how-many-servers-does-a-data-center-have/> (Hämtad 2022-05-03).

SCB. 2022. *Boende i Sverige*. <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/manniskorna-i-sverige/boende-i-sverige/> (Hämtad 2022-04-25).

Seika. 2022. *Solder paste recycling system: SPR*. <https://seikausa.com/electronics-mfg-equipment/recycling-systems/solder-paste-recycling-system/spr> (Hämtad 2022-04-21).

Shirer, Michael. 2021. *Cloud Computing Could Eliminate a Billion Metric Tons of CO2 Emission Over the Next Four Years, and Possibly More, According to a New IDC Forecast*. 8 mars. <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS47513321> (Hämtad 2022-03-03).

Sjödin, Jörgen. 2022. Datacenter riskerar att bli miljöbovar - forskare söker lösningar. *Energimyndigheten*. 15 februari. <https://www.energimyndigheten.se/arkiv-for-resultat/Resultat/datacenter-riskerar-att-bli-miljo-bovar-/> (Hämtad 2022-05-15).

SLU. 2021. *Vad är livscykelanalys?*. 5 november. <https://www.slu.se/institutioner/energi-teknik/forskning/lca/vadar/> (Hämtad 2022-03-14).

Softwarekeep. 2022. *Datacenter & Virtual Machines: How do they work?*
<https://softwarekeep.com/help-center/datacenter--virtual-machines-how-do-they-work>
(Hämtad 2022-04-21).

Standard Performance Evaluation Corporation (SPEC). 2018. *SPEC Cloud IaaS 2018*.
https://www.spec.org/cloud_iaas2018/ (Hämtad 2022-05-15).

Statista. 2022. *Distribution of global plastic materials production in 2020, by region*.
<https://www.statista.com/statistics/281126/global-plastics-production-share-of-various-countries-and-regions/> (Hämtad 2022-04-21).

Statista. 2022. *Major countries in copper mine production worldwide in 2021*.
<https://www.statista.com/statistics/264626/copper-production-by-country/> (Hämtad 2022-04-23).

Statista. 2022. *The world's leading primary aluminum producing companies in 2020, based on production output*.
<https://www.statista.com/statistics/280920/largest-aluminum-companies-worldwide/> (Hämtad 2022-04-21).

Sundolitt. 2020. *Vi växer med ny fabrik*.
<https://www.sundolitt.com/sv/om-oss/nyhetsarkiv/vi-vaxer-med-ny-fabrik/> (Hämtad 2022-04-24).

Sveriges Geologiska Undersökning (SGU). u.å. *Stål- och Metallindustriavfall*.
<https://www.sgu.se/mineralnaring/metall--och-mineralatervinning/stal--och-metallindustriavfall> (Hämtad 2022-04-21).

Sysco-Cegal AB. 2022. *Molnet sparar tonvis av CO2-utsläpp*. [Blogg]
<https://sweblogg.sysco.no/molnet-sparar-tonvis-av-co2-utslapp> (Hämtad 2022-04-05).

Ternell, Mathias. 2022. *Produktion*. 28 januari.
<https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/branschfakta-och-statistik/produktion/> (Hämtad 2022-04-20).

Tinnerstedt, Gustaf och Winsnes Sunnemark, Gustav. 2020. *Återvinning av betong - för en cirkulär materialanvändning*. Examensarbete. SLU.

https://stud.epsilon.slu.se/15525/14/winsnes_sunnermark_g_tinnerstedt_g_200513.pdf

(Hämtad 2022-04-24)

TT. 2019. Datacenter - en ny svensk basindustri: "Vi börjar stick ut". *NyTeknik*. 30 augusti.

<https://www.nyteknik.se/industri/datacenter-en-ny-svensk-basindustri-vi-borjar-sticka-ut-6969731> (Hämtad 2022-05-01).

Zaharoff, Sharon. 2014. *How many VMs per host is too many?*

<https://www.techtarget.com/searchdatacenter/feature/How-many-VMs-per-host-is-too-many>

(Hämtad 2022-04-25).