

# Digitaliseringens klimat- och miljöeffekter



Perspektiv på digitalisering

Utgåva 1

Datum

25/5-2023

Diarienummer

2023-2197

## Förord

Myndigheten för digital förvaltning Digg har enligt sin instruktion i uppdrag att bistå regeringen med underlag för utvecklingen av digitaliseringen av den offentliga förvaltningen och samhället i övrigt. Som ett led i denna uppgift avser Digg att återkommande genomföra analyser ur olika perspektiv och publicera dessa i en publikationsserie kallad ”Perspektiv på digitalisering”. I denna utgåva fokuserar vi på digitaliseringens klimat- och miljöeffekter, hur dessa kan analyseras och den totala nettoeffekten bedömas. Vi ger en överblick över områden av relevans för dessa effekter där moln och datahallar och deras roll i omställningen mot en mer hållbar ekonomi lyfts fram. Särskilt energiintensiva processer som Bitcoin och AI tas också upp liksom eAvfall, den cirkulära ekonomin samt kommande regleringar och hållbarhetsstandarder.

Rapporten har tagits fram av Theodor Andersson, Sven Lindmark och Joakim Sjunnesson. Ansvarig chef har varit Magdalena Norlin-Schönfeldt.

# Sammanfattning

Vi lever i en tid av stor och genomgripande omställning, en sammansmältning av framstegen inom artificiell intelligens (AI), robotteknik, sakernas internet (IoT), 3D-utskrift, genteknik, kvantdatorer och andra teknologier. Utvecklingen kräver att data i olika former kan lagras, färdas genom nätverk och alltid vara tillgänglig. Detta kräver enorma mängder energi där klimat- och miljöeffekterna av digitaliseringen inte alltid har uppmärksammats på samma sätt som inom andra industrier. En anledning kan vara att det så kallade ”molnet” associeras mer med något fritt flytande och näst intill eteriskt snarare än den fysiska och ofta koldrivna infrastruktur som utgör detta ”moln”.

Olika mätningar och uppskattningar av hur mycket av alla växthusgaser som är resultatet av digitaliseringsprocesser visar att andelen av globala utsläpp som skapas av den informationsteknik som används för att hantera och underhålla digitala tjänster uppgår till mellan 2 och 3 %. Det är dock svårare att beräkna vilka effektiviseringar som digitalisering, maskininlärning med mera har medfört inom olika industrier, branscher och sektorer. Vi känner med andra ord inte till nettoeffekten av digitaliseringens klimatavtryck.

I denna rapport har vi valt att ge en överblick över områden som Digg bedömer har relevans för frågan om dessa nettoeffekter. Betydande uppmärksamhet tillägnas avsnittet med omvärldsexempel om moln och datahallar eftersom det är viktigt att förstå dessas roller i omställningen mot en mer hållbar, och i slutändan, cirkulär ekonomi globalt. Utöver energimixens betydelse för datahallars utsläpp belyser rapporten även möjliga lösningar för minskad klimatpåverkan såsom till exempel att placera datahallar i kallare klimat eller använda vattenkylning snarare än luftkonditionering. Vi konstaterar även att för varje lösning finns det andra och nya potentiella problem som behöver belysas.

Rapporten lyfter också andra aspekter av digitaliseringens klimat- och miljöeffekter än bara energiförbrukning för drift av elektroniska apparater och datahallar. eAvfall är till exempel ett växande problem och har en central roll i den cirkulära ekonomins växande fokus på livslängdshantering och spårning av materialinnehåll, vilket inkluderar miljövänligare utvinning av råmaterial, transport samt bättre återvinningsprecision och möjlighet till ökat återbruk genom sekundära användningsområden. Avslutningsvis tar rapporten även upp kommande reglering och uppföljning via europeiska hållbarhetsrapporteringsstandarder samt möjligheten att nyttja kodningspolicy för att åstadkomma grönare, mer resurseffektiv kodning.

# Innehåll

Förord.....	2
Sammanfattning .....	3
Innehåll.....	4
1    Introduktion.....	5
2    Vilka klimateffekter har digitaliseringen?.....	6
2.1   Hur klimateffekter kan analyseras .....	6
2.2   Digitaliseringens klimateffekter i förhållande till olika sektorer klimatavtryck.....	8
2.3   Digitaliseringens direkta effekter .....	9
2.4   Energimixens betydelse .....	11
2.5   Digitaliseringens potentiella positiva påverkan – indirekta effekter .....	12
3    Moln och datahallar.....	13
3.1   Varför kallas det moln? .....	14
3.2   En etnografisk studie av datahallar.....	15
3.2.1   Små och medelstora datahallar .....	15
3.2.2   Hyperskaliga datahallar .....	16
3.3   Hur stort är problemet?.....	16
3.3.1   Andra relaterade problem - ljudförorening.....	18
3.4   Energiintensiva processer – Chat GPT och Bitcoin.....	19
3.4.1   AI, ett problem men även en lösning.....	21
3.5   De stora företagens ansvar.....	22
3.5.1   Climate Neutral Data Center Pact .....	23
4    En cirkulär ekonomi.....	24
3.6   Konsumtion och materialförbrukning.....	25
3.7   eAvfall .....	26
3.8   Digitala produktpass.....	27
3.9   ESRS - Kravställning, incitament och internationella standarder.....	29
4    Nya områden för energieffektivisering .....	30
4.1   Värmeåtervinning .....	30
4.2   Grön kodning.....	31
4.3   Devops och lean-kodning .....	32
5    Avslutande reflektioner .....	33
Litteraturförteckning .....	35

# 1 Introduktion

Allt vi gör påverkar miljön. Traditionella, analoga medel och arbetssätt anses vara mindre effektiva och ha ett större klimatavtryck än dagens digitala alternativ (till exempel att skicka brev mot att skicka e-post). Det är viktigt att komma ihåg att även en e-postförsändelse har ett klimatavtryck och att lättheten med vilken digitala lösningar tillåter kommunikation i olika former gör att den totala mängden meddelanden ökar.<sup>1</sup> Mike Berners-Lee, en engelsk forskare och författare om koldioxidavtryck beräknade för drygt 10 år sedan att en typisk internetanvändare skapar 135kg CO<sub>2</sub> från att skicka e-post varje år, vilket då motsvarade att köra cirka 200 mil i en familjebil. I hans beräkningar var majoriteten av meddelanden spam eller skräppost vilket genererar 0.3g CO<sub>2</sub>, ett vanligt e-postmeddelande motsvarar 4g och ett långt meddelande med bifogad bild genererar hela 50g CO<sub>2</sub>. Det genomsnittliga e-postmeddelandet har bara en sextiondel av fotavtrycket av ett brev så frågan om denna digitalisering bidragit till en koldioxidbesparing är helt beroende av hur många e-post meddelanden som varje person skickar. Detta är ett bra exempel på rebound-effekten<sup>2</sup> som menar att enskilda handlingar kan ha ett mindre klimatavtryck tack vare digitaliseringen men att den totala mängden handlingar ökar är applicerbar på flertalet områden. Under det senaste decenniet har effektiviteten av datadelning och hantering ökat och genomsnittsfottrycket av e-post meddelande minskat med en faktor av tio till 0,03g CO<sub>2</sub><sup>3</sup> men samtidigt har mängden meddelanden som delas och antalet kanaler för digital kommunikation ökat markant.

Datalagringen som krävs för att information ska finnas tillgänglig när och där den behövs möjliggör vår digitala tidsålder och teknikindustrins fortsatta utveckling. Behovet av lagring ökar kontinuerligt och den installerade basen av global datalagringskapacitet förväntas öka från 6,7 zettabytes<sup>4</sup> (ZB) 2020 till cirka 16 ZB 2025.<sup>5</sup> Detta kräver ökade mängder energi och orsakar ökande nivåer av skadlig klimatpåverkan. Nyttjandet av molntjänster och containerlösningar där flera aktörer kan använda en lagringslösning får ändå anses mer resurseffektivt än att alla har egna lagringslösningar. Den fjärde industriella revolutionen pågår och samtidigt karaktäriseras av maskininlärning, kryptovalutor och en till synes oändlig datalagringskapacitet som möjliggörs av ”molnet”. Klimateffekterna av att överallt och alltid ha tillgång till beräknings- och överföringskapacitet skymms av komplexiteten i de infrastrukturerna och leveranskedjor som är involverade i även de enklaste av digitala transaktioner.

Fler och fler frågor börjar nu ställas om hur nyttjandet av denna beräkningskapacitet bidrar till uppvärmningen av planeten och vilka ekologiska hinder som kan tänkas finnas för ett ständigt expanderande och till stor del koldrivet moln.<sup>6</sup> Kolkonsumtionen ökade globalt med över 6 % 2021 och nådde den högsta nivån sedan 2014. Kina och Indien stod för över 70 % av tillväxten i

---

<sup>1</sup> <https://www.bbc.com/future/article/20200305-why-your-internet-habits-are-not-as-clean-as-you-think>

<sup>2</sup> <https://www.vtpi.org/tadm/tadm64.htm>

<sup>3</sup> <https://carbonliteracy.com/the-carbon-cost-of-an-email/>

<sup>4</sup> Zettabyte är en informationsenhet samt en multipel av byte. SI-prefixet zetta står för en triljard.

<sup>5</sup> <https://www.statista.com/statistics/1185900/worldwide-datasphere-storage-capacity-installed-base/>

<sup>6</sup> <https://www.ft.com/content/c719f655-149c-4ce0-a7a5-18527c7776cf>

efterfrågan och matchade själva efterfrågan med ökad produktion. Noterbart uppvisade både Europa och Nordamerika en ökning av kolkonsumtionen efter nästan 10 år av årligen sjunkande siffror.<sup>7</sup>

## 2 Vilka klimateffekter har digitaliseringen?

Digitalisering, i bemärkelsen införande och användande digital teknik eller IKT (Informations- och kommunikationsteknologi, inklusive hårdvara, mjukvara och data), påverkar miljön såväl positivt som negativt.<sup>8</sup> I detta kapitel koncentrerar vi oss på digitaliseringens energiförbrukning och klimatpåverkan genom utsläpp av växthusgaser (exempelvis koldioxid - CO<sub>2</sub>). Det finns ytterligare ett antal miljöeffekter som till exempel förbrukning av begränsade resurser, material och råvaror; giftiga utsläpp och restprodukter, vattenförbrukning, påverkan på biologisk mångfald, påverkan på ozonlagret, försurning med mera som också behöver beaktas för att göra bilden mer heltäckande.<sup>9</sup> Dessa berörs i avsnitt 3.2 om datahallarnas klimateffekter.

### 2.1 Hur klimateffekter kan analyseras

Digitalisering påverkar, som nämnts ovan, energiförbrukningen och därmed klimatet via utsläpp av växthusgaser. Denna påverkan kan vara såväl positiv som negativ och kan övergripande delas in i direkta och indirekta och ibland systemiska effekter (Figur 1). Direkta effekter (eller första ordningens effekter) härrör från tillverkning, distribution, användning och återvinning/avfallshantering med mera under IKT-hårdvarans livscykel.<sup>10</sup> De direkta effekterna av digitalisering innebär alltid ökad energiförbrukning och större miljöavtryck. Att ladda ned läsa och detta dokument till exempel, förbrukar energi i användarutrustning, näten och datahallar. Utrustningen har också förbrukat energi vid tillverkning och kommer att göra det vid återvinning/skrotning. Det senare exemplet benämns ibland inbäddad energiförbrukning och ger upphov till ett inbäddat klimatavtryck. Härvidlag är det dock viktigt att påpeka att energieffektiviteten hos IKT-utrustning och komponenter förbättras snabbt, vilket allt annat lika medför den direkta effekten av ny teknik är mindre än för gammal. De direkta effekterna behandlas vidare i avsnitt 2.3.

---

<sup>7</sup> <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

<sup>8</sup> Se exempelvis Berhout & Hertin, J. (2001)

<sup>9</sup> Se exempelvis <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/miljobalken/miljobedomningar/specifik-miljobedomning/>

<sup>10</sup> Detta delkapitel är en syntes av bland annat Berkhout och Hertin (2001), Hilty (2008) Horner m.fl. (2016)

**Figur 1 Ramverk för analys av digitaliseringens energiförbrukning och klimateffekter**

Typ av effekter	Ökar energiförbrukning / klimatpåverkan	Minskar energiförbrukning / klimatpåverkan
<b>Direkta effekter</b>	Energiförbrukning under IKT:s livscykel (produktion, användning mm.) <i>Ex: Videomöten förbrukar energi</i>	(Digital teknik blir allt energieffektivare) <i>(Ex. Energieffektiviteten för komponenter fördubblas varje 2-3 år )</i>
<b>Indirekta effekter användning</b>	<b>Rekyleffekter:</b> Direkta: billigare och bättre varor, tjänster och processer ökar förbrukning. <i>Ex: Tidsvinster och enkelhet hos videomöten ökar antalet möten.</i> Komplementära: Dito ökar förbrukning av komplement. <i>Ex: Ordbehandlingsprogram ökar behovet av skrivare och papper.</i> Ekonomisk tillväxt, ökad köpkraft, ökad tid över energiförbrukning av annat. <i>Ex: Tidsbesparing digitalt distansarbete, medför förbrukning av annat</i>	<b>Effektivisering (eller optimering):</b> Digitalisering effektiviserar produkters, tjänsters, processers och aktivitetens energiförbrukning. <i>Ex: Trafikdata, GPS och digital kartor effektiviserar trafiken, Digitala produktspass möjliggör spårbarhet och bl.a. effektivare återvinning</i> <b>Avmaterialisering:</b> Digitalisering ersätter fysiska (analog) varor, tjänster, processer el. aktiviteter <i>Ex. e-deklaration ersätter pappersdeklaration.</i>
<b>Systemiska effekter</b>	Långsiktig påverkan på beteenden och stora delar av samhällsekonomin. <i>Ex: Digital teknik möjliggör till exempel självkörande fordon, vilket kan förändra fordonsindustrin och hur vi transporterar oss, bor, använder vår tid mm.</i>	

Lättare att mäta och beräkna

Mer långsiktiga och potentiellt större

Källor: Anpassad från Berkhout och Hertin 2001, Hilty 2008 Horner m.fl. 2016

Kommentar: Litteraturen använder olika benämningar för liknande typer effekter.

Indirekta effekter inkluderar hur digitalisering och IKT-applikationer påverkar klimatavtrycket av andra produkter och tjänster, i processer och aktiviteter. Denna påverkan kan vara såväl positiv som negativ för miljön. Några exempel på hur man kan se på indirekta effekter är följande:

- **Effektivisering (eller optimering):** Digitalisering effektiviserar andra produkters och tjänsters energiförbrukning. Inbyggda system i fordon möjliggör till exempel mindre bensinförbrukning, tillgång till trafikdata och GPS effektiviserar trafiken, smart el minskar överföringsförluster och optimerar tidpunkter för elförbrukning, etc. Digitala produktspass möjliggör spårbarhet och bland annat effektivare återvinning och återbruk.
- **Avmaterialisering (eller virtualisering eller substitution):** Digitalisering ersätter fysiska (analog) varor och processer. Digital musik ersätter till exempel tillverkning, distribution och uppspelning av skivor, videomöten ersätter resor, GPS ersätter papperskartor, och så vidare vilket i allmänhet minskar energiförbrukningen.
- **Rekyleffekter** innebär av att effektivisering tjänster och billigare eller bättre varor kan stimulera kan leda till ökad konsumtion av dessa varor och tjänster eller av andra varor och tjänster, vilket i sin tur ökar energiförbrukningen. Dessa rekyleffekter kan också klassificeras som mer eller mindre direkta. Direkta rekyleffekter innebär att digitaliseringens effektivisering leder till billigare produkter och tjänster och därmed ökad efterfrågan på dessa. Billigare e-böcker kan till exempel leda till att man köper/läser mer. Efterfrågan kan också öka för komplementvaror och tjänster. Användningen av ordbehandlingsprogram påverkar efterfrågan på skrivare som påverkar papperskonsumtionen (i alla fall historiskt). Detta gäller inte för andra digitala produkter och tjänster. AI-utvecklingen leder exempelvis på ökad efterfrågan på stora datamängder.

- Vidare kan digitaliseringen och de effektiviseringar som uppstår till följd av den, indirekt leda till ekonomisk tillväxt, ökad köpkraft, ökad tid över till över att förbruka energi på annat. De tidsvinster som tex uppstår från videomöten och distansarbete exempelvis kanske används för andra transporter eller minskade restider som kanske leder till att man utnyttjar tiden till andra resor eller andra aktiviteter som förbrukar energi. Ökad köpkraft kan leda till ökad konsumtion av energiförbrukande varor och tjänster.

Slutligen talar man ibland också om systemiska, strukturella eller transformativa effekter som uppstår på längre sikt och medför långsiktig påverkan på hela samhällsekonomin. Användning av AI, GPS, 5G, sensorer och annan digital teknik möjliggör till exempel självkörande fordon, vilket kan förändra hela fordonsindustrin och i slutändan hur vi transporterar oss, bor, använder vår tid med mera.

Direkta effekter är ofta kortsiktiga och lättare att mäta. Just mer indirekta/systemiska effekterna är desto längre tidshorisont, svårare att mäta men också potentiellt med större påverkan på miljön.

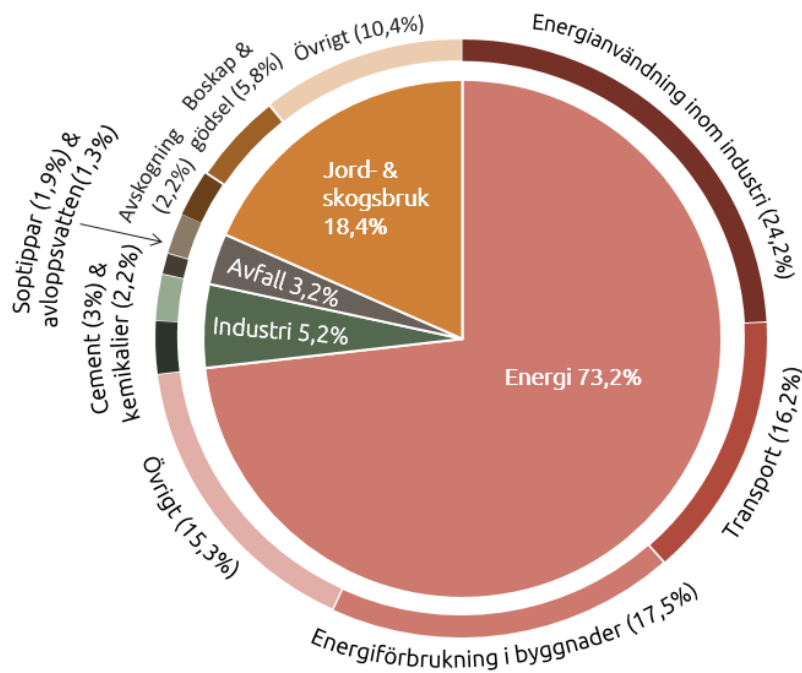
## 2.2 Digitaliseringens klimateffekter i förhållande till olika sektors klimatavtryck

Ett problem är att det inte finns etablerade standarder för hur man beräknar klimatavtrycket av digitala tjänster, moln och datahallar. Detta gör det svårt att jämföra mellan olika lösningar och mellan olika länder. Det finns således många olika uppskattningar på hur mycket av alla växthusgaser som är resultatet av digitalisering. Andelen globala utsläpp som skapas av den teknik som används för att hantera och underhålla digitala tjänster är cirka 2-3 % (se nedan). Observera dock att en stor del av denna andel släpps ut i användningsfasen, vilket innebär att utsläppen från själva IKT-industrin är väsentligt lägre, kanske runt 1 %. I vilket fall som helst är utsläppen från digitaliseringen är i nivå med, historiskt klimatpåverkande och förorenande sektorer som exempelvis (se också Figur 2):

- *Flyg*: Ger som tidigare nämnts upphov till 1,9 % av alla globala utsläpp.
- *Sjöfart*: Sjöfartens utsläpp från förbränning av bensin eller diesel från passagerar- och fraktresor uppgår till 1,7 %.
- *Deponier*: Sektorn för avfallshantering som använder platser för dumpning av avfallsmaterial skapar stora mängder metangas på grund av nedbrytningen av organiskt material. Med 1,9 % av alla utsläpp ligger den nu i nivå med IKT.
- *Avskogning*: Även om avverkning av skog för att omvandla marken avsevärt påverkar utsläppen genom de förlorade och förändrade kolförråden från skogar och jordar, sänks nettoutsläppen genom återplanteringsmetoder. De återstående utsläppen uppskattas till 2,2 %.
- *Kemi och petrokemi*: Växthusgaser produceras som en biprodukt från kemiska processer (som produktion av ingredienser för rengöringsprodukter eller tillverkning av gödningsmedel och bekämpningsmedel). Uppskattningen av dessa ligger på 2,2 % av de totala globala utsläppen även för denna sektor (exklusive dess energianvändning).



**Figur 2 Globala växthusgasutsläpp per sektor (2016)**

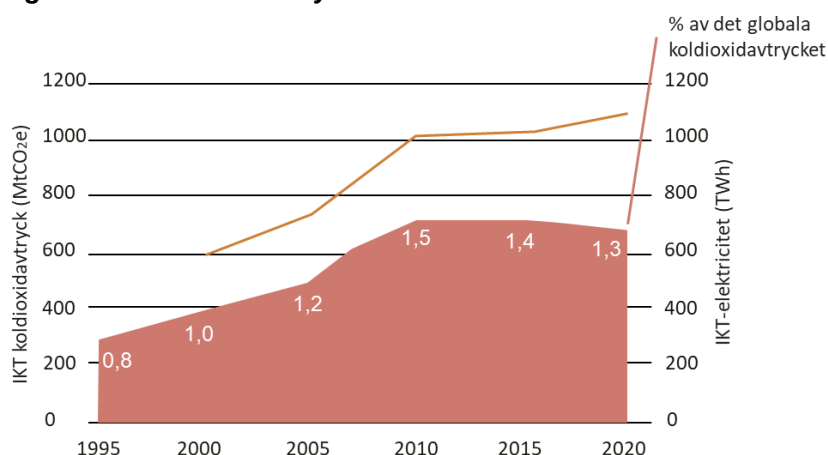


Källa: Översatt från Ritchie, Roser och Rosade 2020

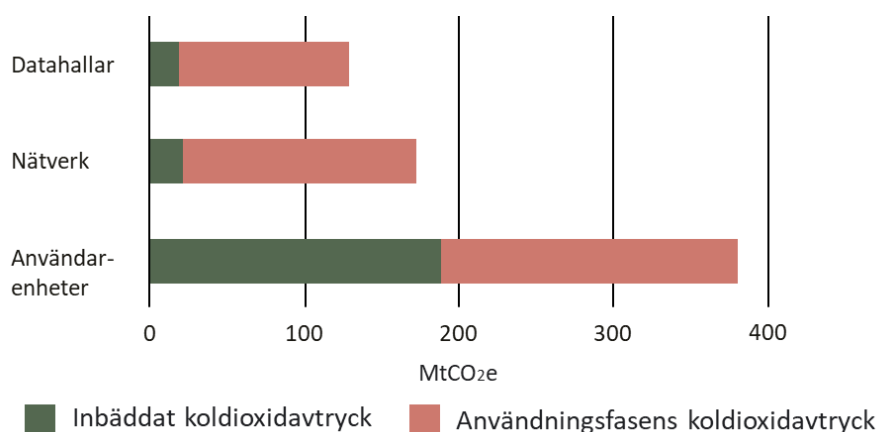
## 2.3 Digitaliseringens direkta effekter

Merparten av studierna om digitaliseringens globala påverkan på miljön fokuserar på digitaliseringens (IKT:s) globala direkta koldioxidavtryck, och kommer, trots skillnader i metod och definitioner av IKT, fram till liknande slutsatser – att koldioxidavtrycket är cirka 2-3 % (av det totala antalet koldioxidkvivalenter).<sup>11</sup> En studie av IKT:s energi- och klimatpåverkan genomfördes av en grupp forskare (J. Malmodin med flera) bland annat på Ericsson. Deras studier visar att IKT-sektorns totala koldioxidavtryck 2015 var 730 megaton koldioxidkvivalenter (MtCO<sub>2</sub>e), motsvarande 1,4 % av det globala avtrycket, samt att elförbrukningen uppgick till 1020 TWh vilket skulle motsvara 4,5 % av den totala elförbrukningen. (Figur 3) Malmodin (2020) uppskattar att detta avtryck var något lägre 2020 (690 MtCO<sub>2</sub>e). Deras studier visar också att det är användningen av IKT som lämnar det största avtrycket med ungefär lika fördelning mellan datahallar, användarutrustning (som till exempel mobiltelefoner och bärbara datorer) och nätverk. Även tillverkning av framförallt användarutrustning har ett stort avtryck. (Figur 4) Observera att dessa uppskattningar exkluderar konsumentelektronik som exempelvis TV-apparater.

<sup>11</sup> Se t.ex. Freitag mfl. (2021) som går igenom tre större studier: Andrae and Edler (2015); Belkhir and Elmehri (2018) och Malmodin & Lundén (2018) och kommer fram till att dessa studier pekar på att IKT:s (inklusive konsumentelektronik) CO<sub>2</sub> ligger mellan 1,8-2,8% år 2020. Enligt Freitag mfl. (2021) underskattar dock alla dessa tre studier avtrycket, på grund av så kallade så kallade trunkeringsfel och borde. Enligt deras beräkning det globala avtrycket ligger i spannet 1.2–2.2 GtCO<sub>2</sub>e (vilket motsvarar 2.1%–3.9% av de totala utsläppen) in 2020

**Figur 3 IKT koldioxidavtryck över tid**


Källa: Översatt från Carbon Trust (2021, s. 24) baserat på Malmodin, 2020

**Figur 4 IKT koldioxidavtryck nedbrutet per produktslag**


Källa: Översatt från Carbon Trust (2021, s. 30) baserat på Malmodin, 2020

Kommentar: Med inbäddat koldioxidavtryck menas hur mycket växthusgaser som släpps ut genom hela leveranskedjan och inkluderar energiförbrukning i tillverkningsprocessen och för logistiken. Vad gäller datahallar räknas även byggnaden som huserar datahallarna (om de byggts särskilt för ändamålet).

De flesta studier påpekar energiförbrukningen har ökat över tid, men mer långsamt under senaste decenniet. Enligt Malmodin (2020) har utsläppen av växthusgaser legat ganska still och på senare år kanske till och med minskat något (även om andra studier har påvisat en viss ökning), samtidigt som elförbrukning har ökat långsamt, trots att exempelvis datatrafiken mångdubblats under samma period. Detta beror i stor utsträckning på att den digitala tekniken blir allt mer energieffektiv. Energieffektiviteten för många IKT-komponenter har fördubblats varje två till tre år. Därutöver finns trender mot skalfördelar hos datahallar (trend mot större, effektivare sådana), mer energieffektiva skärmar, att användare tenderar att byta utrustning mer sällan, samt att datorförsäljningen minskar och så vidare.<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Malmodin, 2020

De digitala växthusgasutsläppen kan alltså ha stabiliserats eller kanske rent av börjat minska i alla fall enligt Ericssons forskning. Det finns dock ett antal möjliga frågetecken och faktorer som kan tänkas verka i motsatt riktning, exempelvis finns det tecken på att IKT-utrustningens energieffektivitetsförbättringar saktar ned och därmed minskar dess energieffektivitet. Nya applikationer kommer också med krav på högre datahastigheter, allt kortare svarstider, och på mer distribuerad databehandling. Utvecklingen av artificiell intelligens (AI), analys av stora datamängder (Big data), blockkedjor (Blockchain), 5G-applikationer och sakernas internet (Internet of Things – IoT) driver alla på i den riktningen.<sup>13</sup> Omfattningen av denna påverkan och i vilken utsträckning den kompenseras av exempelvis effektivitetsförbättringar är dock osäker. Vidare har användningen av förnyelsebar energi betydelse, vilket behandlas i nästa avsnitt.

## 2.4 Energimixens betydelse

Det är värt att notera att relationen mellan elförbrukning och klimatavtryck beror på vilken fördelning av kraftslag som används för elproduktionen. För företag och industrier som driver sin verksamhet på lokala elnätverk så har den här mixen betydelse för hur grön deras verksamhet kan anses vara. I vissa fall kan den lokala energimixen kompletteras med att företagen själva installerar förnyelsebara energikällor såsom solpaneler för att förse verksamheten med en större andel grön energi.

I Sverige lämnar elproduktionen ett mycket lågt klimatavtryck i ett internationellt perspektiv. 2022 var vattenkraftens andel av elproduktionen 41 %, kärnkraft 29 %, vindkraft 19 %, värmekraft 9 % och solkraft 1 %.<sup>14</sup> Som jämförelse var EU:s totala fördelning av elektricitetsproduktionen 2022: 22,3 % Vind och solkraft, 21,9 % kärnkraft, 19,9 % gas, 16 % kolkraft och 10,1 % vattenkraft.<sup>15</sup> Motsvarande fördelning i USA 39,8 % gas, 19,5 %, 0,9 % olja och andra fossila bränslen, 18,2 % kärnkraft och 21,5 % förnyelsebara energikällor.<sup>16</sup>

Om hela världen hade haft samma mix av kraftslag som i Sverige så skulle det globala klimatavtrycket ha varit ungefär hälften så stort.<sup>17</sup> Detta innebär också att en av (i första hand norra) Sveriges konkurrensfördelar, är att det är fördelaktigt att förlägga energiintensiv verksamhet som datahallar där då energimixen är grön och billig, det är kallt och finns gott om vatten. Samtidigt är detta förknippat med andra utmaningar, vilket vi kommer att visa nedan.

---

<sup>13</sup> Fretag m.fl., 2021

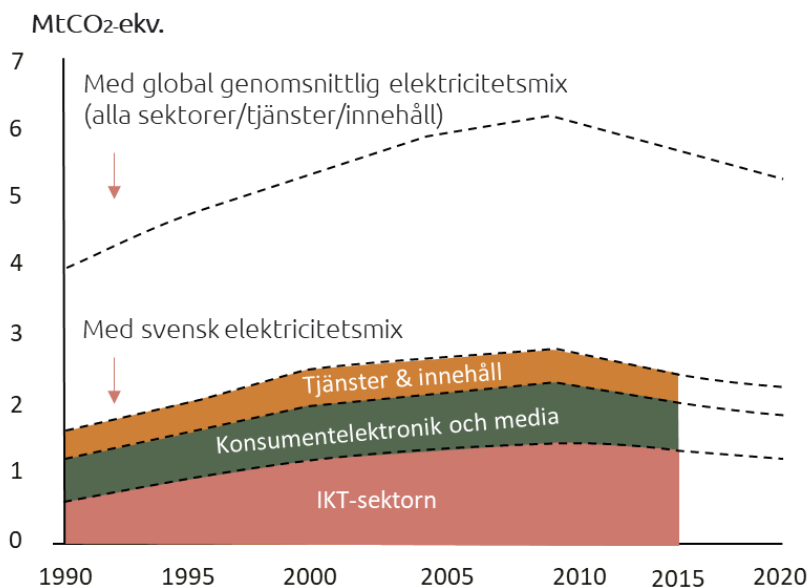
<sup>14</sup> <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2023/minskad-elanvandning-under-2022-i-sverige/>

<sup>15</sup> <https://www.carbonbrief.org/wind-and-solar-were-eus-top-electricity-source-in-2022-for-first-time-ever/>

<sup>16</sup> <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=427&t=3>

<sup>17</sup> <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/research-papers/historical-development-of-ict-footprints>

**Figur 5 Koldioxavtryck från IKT-, konsumentelektronik- och mediasektorerna i Sverige med svensk respektive global för fördelning på kraftslag**



Källa: Översatt från <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/research-papers/historical-development-of-ict-footprints>

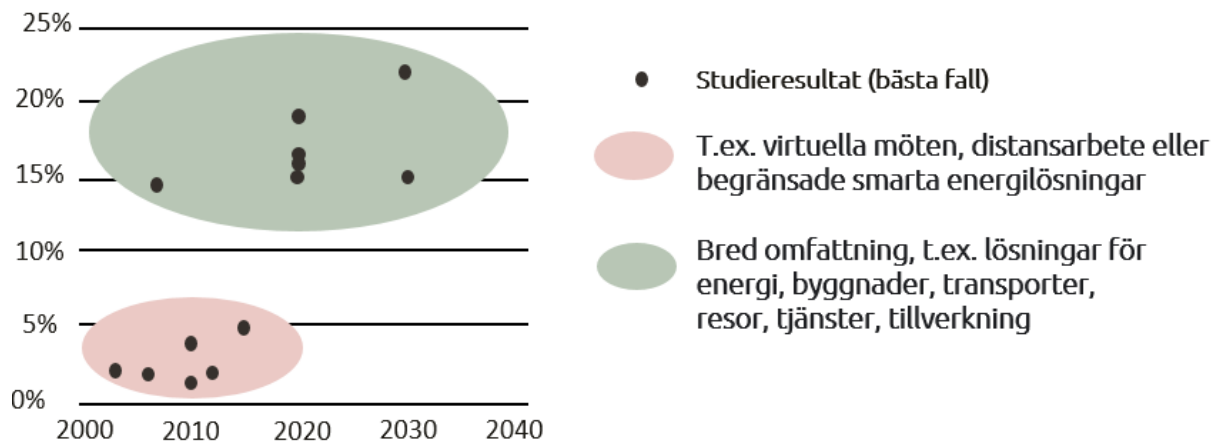
## 2.5 Digitaliseringens potentiella positiva påverkan – indirekta effekter

Ännu viktigare än direkta effekter är hur de indirekta effekterna av digitaliseringen påverkar klimat och miljö. För att ta ett aktuellt exempel – ökat distansarbete. Detta leder till en viss ökning av IKT-användning och energiförbrukning (direkt effekt), men samtidigt minskad energiförbrukning för transporter till och från arbetet (men något ökade privata transporter). Energiförbrukningen på arbetsplatsen går ned, vilket sin tur beror på i vilken utsträckning man kan begränsa den, samtidigt som den ökar i hemmet. I det långa perspektivet kan ökat hemarbete leda till större, mer svårbedömda, förändringar i hur vi bor och transporterar oss med mera.<sup>18</sup>

Givet denna osäkerhet finns det ändå stora förhoppningar om att digitaliseringen skall kunna möjliggöra en väsentligt minskad energiförbrukning och klimatpåverkan. Överlag visar de studier som gjorts av indirekta effekter på en minskning av det totala CO<sub>2</sub>-avtrycket på mellan 1 och 22 % (i bästa fall), beroende på omfång, metod, vilken typ av förändringar man inkluderat samt tidshorisont.

<sup>18</sup> Se text <https://www.iea.org/commentaries/working-from-home-can-save-energy-and-reduce-emissions-but-how-much>

**Figur 6. Översikt över studier av digitaliseringens potentiella positiva påverkan (% minskning av CO<sub>2</sub>-avtrycket)**



Källa: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/research-papers/estimating-the-enabling-potential-of-ict--a-challenging-research-task>

GeSI (2015) uppskattade år 2015 att digitaliseringen redan hade en positiv nettoeffekt (hade minskat utsläppen) och hade ytterligare potential att sänka de totala globala växthusgasutsläppen med 20 % fram till 2030, motsvarande 12 GtCO<sub>2</sub>e, vilket är ungefär en faktor 10 gånger mer än digitaliseringens egna utsläpp. Detta förväntas ske genom smart mobilitet, smart industri, smart jordbruk, smarta byggnader och smart energi. GeSI har dock kritiserats för att vara för optimistiska.<sup>19</sup> Google (2023) menar, efter att ha analyserat 18 fallstudier, att digitaliseringen kan leda till väsentlig minskning av utsläpp och energiförbrukning inom fyra studerade sektorer: transport, byggnader, tillverkning och jordbruk. Horner m.fl. (2016) visar slutligen att de även om det råder enighet kring att digitaliseringen har en stor energibesparande potential så är indirekta och systemiska effekterna alltför för svårbedömda för att kunna fastställa digitaliseringens nettoeffekt.

### 3 Moln och datahallar

Få ifrågasätter att datahallar har en miljöpåverkan men frågan är hur stor den är, i vilken takt den ökar och hur de områden och samhällen där molnets fysiska infrastruktur befinner sig påverkas? Ur ett hållbarhetsperspektiv påverkar denna infrastruktur inte enbart klimatet utan även de ekologiska ekosystemen, samhällenas ekonomiska utveckling, samt arbetsmarknadspolitik, avfallshantering, realpolitiska intressen mellan länder och en mängd andra samhälleliga intressen.

Själva benämningen på denna infrastruktur, som möjliggör allt från att skicka ett meddelande, till att streama filmer, söka efter en ny soffa eller sälja en gammal, lyssna på musik och poddar och så vidare, är vilseledande. Ett moln ger associationer till något eteriskt som svävar omkring utan fast form. Den första rapporterade offentliga användningen av frasen var i augusti 2006 vid en sökmotorkonferens i Kalifornien, när Eric Schmidt, dåvarande VD för Google, beskrev ett

<sup>19</sup> Se tex Freitag mfl. 2021

tillvägagångssätt för datalagring som "cloud computing". Tankar om nätverksbaserade beräkningar går dock tillbaka till 1960-talet och termen har använts inom industrin sedan dess, till exempel hade Compaq nedtecknade visioner om "moln-aktiverade applikationer" redan 1996 (Compaq Computer Corporation, 1996).

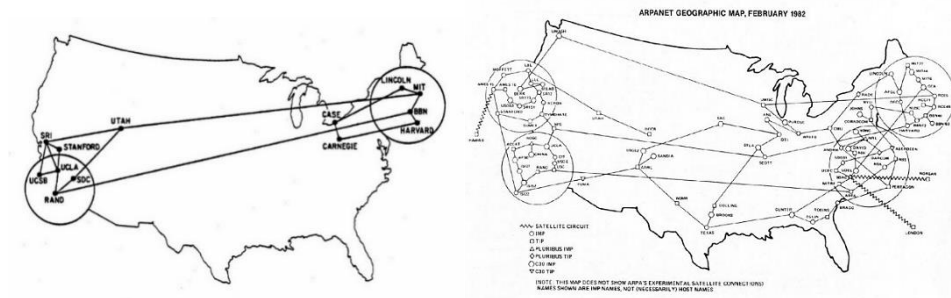
*"It starts with the premise that the data services and architecture should be on servers. We call it cloud computing – they should be in a cloud somewhere!."*

*Eric Schmidt, CEO, Google*

### 3.1 Varför kallas det moln?

Att det blev just ordet "moln" som kom att beskriva detta nätverk av olika typer av infrastrukturer för att föra över och tillgängliggöra data kan ha att göra med att nätverket expanderade så fort att en symbol behövdes för att förenkla denna framväxande komplexitet. För att illustrera detta kan man visualisera ARPANET:s framväxt. ARPANET (Advanced Research Projects Agency) var det amerikanska försvarets och världens första fungerande paketväxlande nätverk<sup>20</sup> och en föregångare till dagens globala internet.

**Figur 7. ARPANET 1970 - 1982, från 13 till ca 100 noder**



Källa: <https://www.vox.com/a/internet-maps>

**Figur 8. Visualisering av internet 1998<sup>21</sup> och sedan "molnet"**



Källa: H. Burch and B. Cheswick, Mapping the internet. Computer, 32(4):97-98, 1999

<sup>20</sup> Ett paketförmedlande nätverk är ett datornät där data överförs uppdelade på datapaket. Stora datafiler eller långvariga videoströmmar som ska skickas delas upp i segment som överförs i var sitt paket och sedan sammanfogas på mottagarsidan.

<sup>21</sup> H. Burch and B. Cheswick, Mapping the internet. Computer, 32(4):97-98, 1999

I olika flödesscheman och diagram började man använda moln-ikonen för att symbolisera internet, och den fortsatte att användas som en symbol för hur utvecklingen sedan kunde göra beräkningskraft, applikationer och filer tillgängliga för datorer genom den datadelningsinfrastruktur som växte fram.

## 3.2 En etnografisk studie av datahallar

Att få tillgång till digitala tjänster kräver mycket energi av de nyttjade enheterna oavsett om de är inkopplade eller laddade, av kommunikationsnätverken som skickar data fram och tillbaka och av serverna som lagrar dess data. Över hela världen finns datacenter och hallar (lagerlokaler på upp till 40 000 kvadratmeter) fyllda med servrar som kontinuerligt förbrukar energi. Nyttjandet av förnybar energi ökar men en stor andel av den behövda elen genereras fortfarande genom fossila bränslen och kraftverk som eldar kol.<sup>22</sup>

Forskare har beräknat att en timmes videokonferens kan släppa ut upp till 157 gram kol.<sup>23</sup> Om en person med 15 timmar möten i veckan skulle stänga av videon och bara använda ljud i en månad, skulle deras månatliga koldioxidavtryck minska med drygt 9 kilo, vilket motsvarar att ladda en smartphone varje natt i över tre år. Det finns med andra ord mycket som kan göras för att minska på digitala tjänsters klimatavtryck.

Den etnografiska studien ”The Cloud Is Material: On the Environmental Impacts of Computation and Data Storage” som publicerades 2022, tar upp flera aspekter av molnets hållbarhetsfaktorer, ekologiska men även sociokulturella där författaren säger sig ha utfört etnografiskt fältarbete genom besök i ett antal datahallar i Nordamerika. (Monserrate, 2022)

Studien identifierar inledningsvis värmen som genereras inom datahallarna som ett problem som måste hanteras alla timmar på dygnet, alla dagar i veckan. Luftkonditionering är ofta en standardlösning på problemet men sådan kräver stora mängder energi. Källan till den energi som driver luftkonditioneringen (energimixen) är ett centralt problem som man behöver komma till rätta med. Även om det finns olika lösningar på detta har alla olika grader av negativa effekter.

### 3.2.1 Små och medelstora datahallar

De flesta datahallar drivs av elnätverk som baseras på så kallad ”smutsig energi” vad Jeffrey Moro kallat ”elemental irony”<sup>24</sup>. De flesta datahallar är dessutom huserade i byggnader som inte byggts specifikt för ändamålet vilket betyder att kylning kräver mycket energi.

Det finns datahallar som nyttjar en stor andel förnyelsebar energi men man måste även se till hur stor andel av världens internettrafik dessa hanterar. 2019 gick ca 70 % av världens trafik genom ”data-

---

<sup>22</sup> <https://mit-serc.pubpub.org/pub/the-cloud-is-material/release/1>

<sup>23</sup> Artikel i tidskriften Resources, Conservation & Recycling

<sup>24</sup> Exempel på energiuppsättning i Nord Amerika

[https://www.eia.gov/electricity/monthly/epm\\_table\\_grapher.php?t=table\\_1\\_01](https://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grapher.php?t=table_1_01)

center alley”, ett datacenterområde i norra Virginia som förnyelsebara energikällor utgör en mycket liten del av den lokala energimixen.

En årlig lista på de största och mest attraktiva platserna för datahallar visade 2023 att norra Virginia för första gången delar första platsen (med Portland, 8 av 10 är amerikanska städer med Singapore och Hong Kong på tredje respektive fjärdeplats).<sup>25</sup> Men norra Virginia har fortfarande den största kapaciteten på 2.5 gigawatts det vill säga 2.5 miljarder watt, eller tillräckligt för att ständigt driva cirka 1,9 miljoner hem.<sup>26</sup>

### 3.2.2 Hyperskaliga datahallar

*“Across the tech sector we need to recognize that data centers will rank by the middle of the next decade among the large users of electrical power on the planet”.*

*Brad smith, President, Microsoft*

Sedan 2016 då Brad Smith gjorde ovan utlåtande<sup>27</sup>, har företag som Google, Amazon och Meta med flera åtagit sig att bli klimatneutrala i linje med målen satta i Parisavtalet, det vill säga att hålla den globala uppvärmningen långt under 2 °C och sträva efter att begränsa den till 1,5 °C. Även om pågående utvärdering av stora globala företags framsteg visar på betydande brister i strategierna och/eller i implementering av strategier<sup>28</sup>, så har ovan företag med byggandet av egna hyperskaliga datahallar som en del av dessa strategier. Detta har vissa positiva effekter, till exempel har företagen lovat att göra dessa hallar koldioxidneutrala genom att antingen investera i infrastruktur för förnyelsebar sol- och vindenergi eller nyttja koldioxidkompensation. Att nyttja byggnader byggda för ändamålet sänker dessutom kostnaderna för kylning per enhet vilket lockar mindre datahallar att antingen bygga nya byggnader eller hyra in sig i större ändamålsenliga byggnader. Ett problem är att detta kräver investeringar och andra kostnader som många inte har råd med och det saknas statliga och andra incitament för att omlokalisera verksamhet. Om hela det globala molnet skulle drivas av hyperskaliga datahallar skulle dagens totala energibehov dock sjunka med upp till 25 %.<sup>29</sup>

## 3.3 Hur stort är problemet?

Datahallar konsumerar globalt cirka 200 terawattimmar (TWh) årligen vilket betyder att de tillsammans har ett större energibehov än flera länder. Några av världens största datacenter kan var och en innehålla många tiotusentals IT-enheter och kräva mer än 100 megawatt (MW) strömkapacitet, tillräckligt för att driva cirka 80,000 amerikanska hushåll.<sup>30</sup> Datahallar tillsammans

---

<sup>25</sup> <https://www.cushmanwakefield.com/en/insights/global-data-center-market-comparison>

<sup>26</sup> <https://wtop.com/virginia/2022/10/why-is-northern-va-becoming-the-worlds-data-center-capital/>

<sup>27</sup> <https://blogs.microsoft.com/on-the-issues/2016/05/19/greener-datacenters-brighter-future-microsofts-commitment-renewable-energy/>

<sup>28</sup> [https://newclimate.org/sites/default/files/2023-04/NewClimate\\_CorporateClimateResponsibilityMonitor2023\\_Feb23.pdf](https://newclimate.org/sites/default/files/2023-04/NewClimate_CorporateClimateResponsibilityMonitor2023_Feb23.pdf)

<sup>29</sup> <https://mit-serc.pubpub.org/pub/the-cloud-is-material/release/1>

<sup>30</sup> <https://energyinnovation.org/2020/03/17/how-much-energy-do-data-centers-really-use/>



med energibehoven av de produkter som nyttjar data såsom mobiler och datorer står för cirka 2 % av de globala koldioxidutsläppen som nämnts tidigare men för att bättre förstå utvecklingen behöver man även se på hur energikosumtionen för denna industri utvecklats i takt med växande efterfrågan.

2021 ökade internettrafiken globalt med 23 % (lägre än den pandemidrivna ökningen på 40–50 % år 2020). GSMA-medlemmar<sup>31</sup> rapporterade att deras nätverksdatatrafik ökat med 31 % 2021 medan operatörernas totala elanvändning ökade med bara 5 %. Data från stora europeiska telenätoperatörer analyserade av Lundén et al. (2022)<sup>32</sup> speglar dessa globala effektivitetstrender. Elförbrukningen hos rapporterade företag ökade med endast 1 % mellan 2015 och 2018, medan datatrafiken tredubblades.

Sedan 2010 har datahallars energianvändning alltså endast ökat måttligt trots den starka tillväxten i efterfrågan på datacentertjänster och detta är delvis tack vare effektivitetsförbättringar inom IT-hårdvara och kylning och en övergång från små, ineffektiva företagsdatahallar till mer effektiva moln- och hyperskaliga datacenter. Den energi som går till kylning är i själva verket en ganska liten del av den totala energiförbrukningen. Merparten går till att hålla igång de reservsystem som kan behöva sättas in om någonting skulle gå fel med det primära kylningssystemet. Dessa system måste kunna ta över kylning utan att det blir märkbart för datahallarnas kunder, privatpersoner måste kunna fortsätta surfa, företag fortsätta med sina verksamheter och data måste fortsätta finnas tillgängliga för finansiella institutioner och så vidare. Likt Fords löpande bandet-princip så måste driftstopp, det vill säga störningar i internettrafik orsakade av överhettning och omstart av system, undvikas till varje pris.

Den globala elanvändningen för datahallar 2021 var 220-320TWh, eller cirka 0,9-1,3% av det globala elbehovet. Detta exkluderar energi som används för ”brytning” av kryptovalutor vilket är en betydande del (mellan 100-140TWh för samma år). Den totala energianvändningen för datahallar verkar sannolikt fortsätta växa måttligt under de närmaste åren, men långsiktiga trender är mycket osäkra.<sup>33</sup> En mognande men fortsatt växande sektor är kryptovalutor vars ökande energiförbrukning som sagt exkluderats från beräkningarna samt den nu i närmast exploderande marknaden för genererade AI-tjänster som ChatGPT som inte fanns för bara några månader sedan. Mer om dessa i nästa avsnitt.

---

<sup>31</sup> Groupe Speciale Mobile Association (GSMA) är en förening som företräder 1200 mobiloperatörers intressen

<sup>32</sup> <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/5/2637>

<sup>33</sup> <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks>

**Figur 9. Ökningar av antal användare, internettrafik och energiåtgång 2015-2021**

	2015	2021	Ändring
Internetanvändare	3 miljarder	4,9 miljarder	+60%
Internettrafik	0,6 ZB	3,4 ZB	+440%
Datahallars arbetsbelastning	180 millioner	650 millioner	+260%
Datahallars energiförbruk (exkl. kryptovalutor)	200 TWh	220-320 TWh	+10-60%
Energiförbruk för brytning av kryptovalutor	4 TWh	100-140 TWh	+2,300-3,300%
Dataöverföringsnätets energianvändning	220 TWh	260-340 TWh	+20-60%

Källa: <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks>

Genom att etablera datahallar i Norden, till exempel i Sverige eller på Island, kan det naturligt kalla klimatet göra att mindre energi behövs för nerkyllning av datahallarna. Problemet med att placera många datahallar på avlägsna ställen i Norden är att detta skapar så kallad nätverkssignallatens<sup>34</sup> då man befinner sig långt ifrån de stora amerikanska och asiatiska marknaderna och majoriteten av signalerna behöver skickas genom Europas noder i till exempel Frankfurt, Amsterdam, London och Paris vilket orskar extra nätverkshopp. Med tanke på att signalhastighet räknas i millisekunder (det vill säga tusendelar av en sekund) så kan detta tyckas vara ett mindre problem i sammanhanget. Faktum är dock att laddningshastighet för en sida är betydande för om en produkt eller tjänst som säljs på sidan kommer granskas och därmed öka troligheten för en lyckad försäljning. I finansbranschen finns det beräkningar som visar på att om till exempel en aktiemäklares elektroniska handelsplattform ligger 5 millisekunder efter konkurrenterna, kan detta resultera i minst 1 % av förlorat flöde vilket motsvarar 4 miljoner dollar i intäkter per millisekund.<sup>35</sup>

Konsortiet Sydostasien-Mellanöstern-Västra Europa 6 (SEA-ME-WE 6) har börjat bygga ett 19,200 km långt undervattenskabelsystem som förbinder flera länder mellan Singapore och Frankrike i syfte att reducera latens och öka överföringskapacitet. Projektet som förväntas vara klart 2025 kostar cirka USD 500 miljoner<sup>36</sup> och är bara ett av ett antal sådana pågående eller planerade projekt runt om i världen.

### 3.3.1 Andra relaterade problem - ljudförorening

Ett problem som växer men som inte nämns ofta i samband med digitalisering och datahallar är ljudförorening. Datahallar avger ”akustiskt avfall” som i vissa fall, ju närmare datahallarna befinner sig hushåll, kan orsaka mer än bara irritation, det kan också orsaka fysisk och mental ohälsa.<sup>37</sup> Det konstanta brummandet av datahallar kan orsaka stress, sömnsvårigheter, förhöjt blodtryck, ökade kortisolnivåer (stresshormon som produceras av binjurarna), ångest och mer. Det kan vara svårt att protestera mot ljudet datahallarna producerar eftersom denna form av ljudförorening oftast inte är

<sup>34</sup> Latens är den väntetid som introduceras av en signals resa på grund av det geografiska avståndet till mottagaren samt hur många extra nätverkshopp som måste göras på vägen.

<sup>35</sup> <https://research.tabbgroup.com/report/v06-007-value-millisecond-finding-optimal-speed-trading-infrastructure>

<sup>36</sup> <https://www.ft.com/content/8f35bf1e-fe32-4998-9e13-a13bac23506d>

<sup>37</sup> <https://computing.mit.edu/news/the-staggering-ecological-impacts-of-computation-and-the-cloud/>

reglerbar av till exempel kommuner eller andra offentliga aktörer. Där det finns decibelnivåer satta för att skydda invånare mot ljudförorening (till exempel från närliggande vägar) så är decibelnivåerna från datahallar oftast för låga för att bryta mot relevanta regelverk som inte tar hänsyn till andra störande effekter av det monotona, aldrig upphörande hummandet. Detta kan bli ett ökande problem för stadsbor då det enligt RISE, förväntas ske en ökad efterfråga på beräkningskraft i takt med att datadrivna tjänster blir allstädes närvarande. För det krävs nya typer av datacenter som ligger närmare användarna, till exempel i storstäder.<sup>38</sup>

### 3.4 Energiintensiva processer – Chat GPT och Bitcoin

Den nuvarande energianvändningen av datahallar i Sverige uppskattades av RISE till 2,8-3,2 TWh år 2022 (kryptobrytning ej inräknat). Trenden med ökad energianvändning förväntas fortsätta, om än i långsammare takt, på grund av nya skatteregler och konjunkturnedgången. Studien förutspår att 2025 kommer energianvändningen av datacenter i Sverige att nå 4,0-4,4 TWh, med en mer försiktig uppskattning på 4,4-5,2 TWh år 2030.<sup>39</sup> All digital verksamhet genererar inte lika mycket värme eller är lika resursintensiva. Det finns vissa processer som är särskilt intensiva och värmegenererande. Dessa är bekymmersamma eftersom de också är del av växande användningstrender.

Maskininlärning och utvecklingen av olika AI-modeller sades redan innan Open AI:s ChatGPT-modell vara ett växande problem ur miljösynpunkt. Att träna en enskild AI-modell enligt forskning publicerad 2019, kan släppa ut motsvarande mer än 284 ton koldioxid, vilket är nästan fem gånger så mycket som hela livslängden för en genomsnittlig amerikansk bil, inklusive dess tillverkning. Dessa utsläpp förväntas växa med nästan 50 % under de kommande fem åren samtidigt som arbete med att nå klimatmålen intensifieras.<sup>40</sup>

De beräkningsresurser som behövs för att producera de bästa AI-modellerna har i genomsnitt fördubblats varje 103 dagar vilket innebär en ökning på 300 000 gånger mellan 2012 och 2018.<sup>41</sup> Tillsammans med brytning av kryptovalutor är maskininlärning ett av de mest resursintensiva processerna och utvecklingen har intensifierats sedan ovan estimat gjordes.

Även om varken OpenAI eller Google har sagt vad beräkningskostnaden för deras produkter är, uppskattar tredjepartsanalyser av forskare att träningen av GPT-3, som ChatGPT delvis bygger på, förbrukade 1,287 MWh och ledde till utsläpp på mer än 550 ton koldioxidekvivalenter. Detta motsvarar 550 tur och retur flyg mellan New York och San Francisco. Efter träningen av modellen ska den även användas och som fristående produkt hade ChatGPT cirka 13 miljoner användare om dagen. Med Microsofts köp av Open AI och integrering av ChatGPT i sökmotorn Bing ökar användningen och initialt skapades en halv miljard sökningar varje dag.<sup>42</sup> Modellen tränas dessutom

---

<sup>38</sup> <https://www.ri.se/en/our-stories/how-ai-can-make-data-centres-energy-efficient>

<sup>39</sup> <https://www.ri.se/en/the-status-of-data-center-and-crypto-mining-energy-use-in-sweden>

<sup>40</sup> <https://www.theguardian.com/technology/2023/mar/16/the-stupidity-of-ai-artificial-intelligence-dall-e-chatgpt>

<sup>41</sup> <https://www.forbes.com/sites/robtoews/2020/06/17/deep-learning-climate-change-problem/?sh=649ea3cc6b43>

<sup>42</sup> <https://www.wired.com/story/the-generative-ai-search-race-has-a-dirty-secret/>

om för att förbättra genererade svar på frågor med mera. GPT-4 som släpptes i mars 2023 förväntas ha 500 gånger mer kraftfull beräkningskraft än GPT-3<sup>43</sup> vilket innebär att den kan användas för mer komplexa uppgifter och applikationer. Bearbetning av större textblock och generering av längre svar kräver mer energi. Till detta kan man dessutom konstatera att det finns konkurrenter till Open AI:s tjänster både för textgenerering och för deras bildgenererade tjänste som Dall-E. Redan nu används dessa lösningar för att generera allt från spel till musik och film vilket av naturliga skäl är än mer energiintensiva processer än att generera, läsa och dela texter.

På grund av vetenskapen om hur energiintensiva dessa processer är och vilken påverkan detta kan ha på elförsörjningskapacitet och på klimatet, så efterfrågas ökad transparens från företagen bakom utvecklingen. Större transparens kan leda till mer granskning, och kryptovalutaindustrin kan ge en försmak av vad som komma skall även för dessa generativ AI-företag som Open AI.

Enligt Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index har Bitcoin kritiserats för att förbruka för mycket el, lika mycket som Argentina varje år. Denna omätliga efterfrågan på el fick till exempel delstaten New York att godkänna ett tvåårigt förbud mot licensiering av kryptovalutagruvarbetare som driver sin verksamhet med fossilbränslekraft.<sup>44</sup>

Processen för att ”bryta” Bitcoin och till dessa kopplade transaktioner i blockkedjan är så resursintensiv att det i princip krävs billig energi för att det ska vara lönsamt. En datahall för ändamålet kan generera vinst om energin tas från förnyelsebara källor som till exempel Islands geotermiska elnät. Även i Kina är elen billig men där utgjorde fossila bränslen cirka 83 %<sup>45</sup> av den nationella energimixen (kol stod för cirka 55 %)<sup>46</sup>, vilket i sin tur ger ett större klimatavtryck. Kina undertecknade Parisavtalet 2015 och trots att cirka 75 % av all brytning av Bitcoin då skedde i Kina (Lehdonvirta, 2022) blev brytning av Bitcoin illegalt där 2021. Enligt den kinesiska regeringen strider Bitcoins höga energikrav mot nationens plan för en miljövänlig framtid<sup>47</sup> även om detta inte var den enda eller tyngst vägande anledningen bakom beslutet.

Det tar uppskattningsvis 1 449 kWh att bryta en enda bitcoin. Det är samma mängd energi som ett genomsnittligt hushåll i USA förbrukar på cirka 13 år.<sup>48</sup> Det billigaste stället att bryta bitcoin på är i Kuwait. Det kostar cirka USD 1,394 att bryta en enda bitcoin i Kuwait, vilket innebär en möjlig vinst på USD \$19,470. Anledningen är att landet har världens billigaste el där 1 kWh kostar i genomsnitt 3 cent (den genomsnittliga kostnaden för 1 kWh i Nordamerika är 21 cent). I juli 2022 beräknades kostnaden att bryta en Bitcoin i Sverige till cirka SEK 215,497 vilket skulle ge en förlust på SEK 9,927.

Det råder olika uppfattningar om storleken på kryptovalutors klimatavtryck eftersom brytning sker på så många olika ställen och man då måste ta hänsyn till de olika lokala energikällorna som utgör mixen i elnätet, men man kan göra uppskattade jämförelser mellan brytning av Bitcoin och verklig

---

<sup>43</sup> <https://blog.gitnux.com/chat-gpt-statistics/>

<sup>44</sup> <https://www.techgoing.com/industry-focus-how-much-power-is-consumed-to-train-out-chatgpt/>

<sup>45</sup> <https://ourworldindata.org/energy/country/china#how-much-of-the-country-s-energy-comes-from-fossil-fuels>

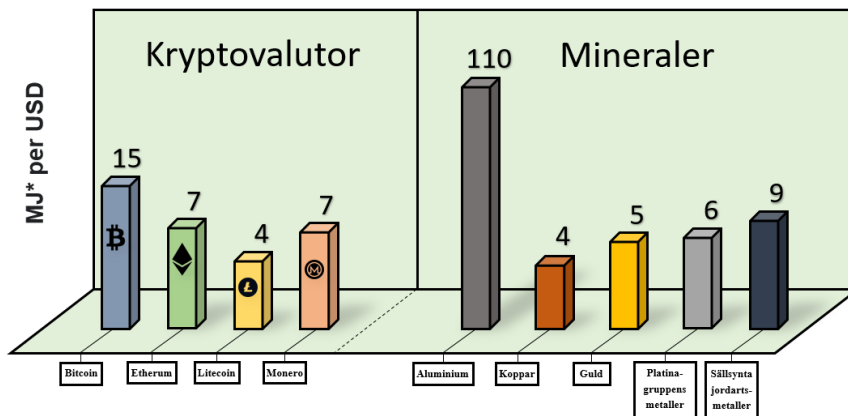
<sup>46</sup> <https://ourworldindata.org/grapher/coal-energy-share?tab=chart&country=~CHN>

<sup>47</sup> <https://worldcoin.org/articles/china-crypto-ban>

<sup>48</sup> <https://www.visualcapitalist.com/cp/the-cost-of-mining-bitcoin-in-198-different-countries/>

gruvverksamhet. Uppskattningsvis är den energi som krävs för att utvinna motsvarigheten till 1 USD i Bitcoin dubbelt så stor som den energimängd som krävs för att utvinna 1 USD från gruvbrytning av koppar, guld eller platina (Krause & Tolaymat, 2018).

**Figur 9. Energiåtgång för brytning av kryptovalutor respektive mineraler, 2017**



Källa: Quantification of energy and carbon costs for mining cryptocurrencies, Nature Sustainability Vol 1, November 2018, [www.nature.com/natsustain](http://www.nature.com/natsustain)

Kommentar: \*Energi kan beskrivas i joule. En megajoule (MJ) är 1000kJ. 3,6 MJ är 1 kWh

### 3.4.1 AI, ett problem men även en lösning

AI förändrar hur vi arbetar, lever och löser utmaningar. Vi har sett hur dataförvaring, tillgång till data, träning av modeller och nyttjande av AI-baserade tjänster skapar ett enormt behov av energi och har ett betydande klimatavtryck. Men, AI kan bland annat även förbättra vården, skydda utrotningshotande arter från till exempel tjuvjägare och utarbeta hur bredband ska distribueras på mer effektivt sätt. Inte minst kan AI hjälpa oss att bekämpa klimatförändringen genom att till exempel förbättra klimatmodeller och prognoser, möjliggöra smartare beslutsfattande för industrier som minskar koldioxidutsläppen från byggnader till transporter, och ta reda på hur man bäst allokera förnybar energi.<sup>49</sup> AI kan troligen även nyttjas för att göra sin egna energikrävande process mer klimatneutral och forskning pågår inom området. Till exempel menar RISE att trenden för IT-sektorn, som redan är en av de största elkonsumenterna på planeten accelererar och förbrukningen beräknas ha ökat till drygt 20 procent av all elkonsumtion år 2030. En av huvudorsakerna enligt forskningsinstitutet är att elförbrukningen i datacenter förväntas fyrdubblas under den tiden. Att göra datacenter mer energieffektiva är möjligt men processen är komplex och omfattar en rad olika parametrar som måste beaktas. Maskininlärning och AI erbjuder möjligheter och gör det möjligt att inte bara styra själva datacentret utan även de datorprocesser som kräver ström och serverladdning. I ett nästa steg ser man möjligheter att nyttja realtidsinformation om väderprognoser, elpriser och förväntade belastningar på elnätet för att effektivisera elförbrukning ytterligare i datahallar. Artificiell

<sup>49</sup> <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/ai-can-help-us-fight-climate-change-it-has-energy-problem-too>

intelligens kan därmed bli ett kraftfullt verktyg för energibesparing i framtida datahallar men tekniken kommer också att kräva ökad beräkningskraft, vilket i sin tur kräver mer energi.<sup>50</sup>

AI-problematiken exemplifierar väl frågan om hur man ska räkna på digitaliseringens klimatavtryck. Avsaknaden av transparens i hur energikrävande olika företags AI-baserade tjänster är samt avsaknaden av globala standarder gör det svårt att fastställa storleken på problemet och därför även att ställa det i relation till de potentiellt positiva klimateffekter som AI och digitalisering kan medföra.

### 3.5 De stora företagens ansvar

Nya hyperskaliga datahallar planeras som exempelvis Metas satsning i Arizona där företaget expanderar och där det första nya byggnadsprojektet förväntas vara klart under 2023. Hela projektet väntas vara färdigställt under 2026.<sup>51</sup> Perioder av torka och sjunkande vattennivåer i viktiga vattenreservoar har blivit en politisk fråga i samhällen i Arizona och även i Utah där datahallen för the National Security Agency (NSA) konsumerar cirka 26,5 miljoner liter vatten dagligen samtidigt som befolkningen drabbats av vattenransonering och strömavbrott.<sup>52</sup> Att kyla vatten och sedan använda vattnet för att kyla de ytor och servrar som utgör datahallarna är billigare och en mer effektiv användning av energi än luftkonditionering.<sup>53</sup> Problemet är att vatten inte är en okontroversiell resurs, speciellt inte på de platser där dessa datahallar är placerade.

Som svar på kritiken lovar nu många stora tech-företag att de ska bli ”vattenpositiva” det vill säga att de ska bidra till att vatten tillförs ekosystemen snarare än tas ifrån desamma. Google har till exempel lovat att man 2030 kommer att ersätta 120 % av det vatten som deras byggnader och kontor konsumerar.<sup>54</sup>

Det finns flera sätt att effektivisera hanteringen av vatten för kylningsbehovet. Till exempel kan man investera i processer som tar om hand en större andel av det vatten som annars dunstar bort under kylningsprocessen. Det går också att investera i bättre lokala faciliteter för vattenhantering i de områden man är verksam i, som en del av sitt företags sociala ansvarspolicy. Att rena vattnet efter bruk och återinföra det i originalkällan är en metod bland flera. Att kompensera för vattenförbrukningen, och som i Googles fall ge tillbaka mer än man förbrukat, kan innebära att nytt vatten måste in i systemet. För att undvika att tömma planetens begränsade tillgång på färskvatten kan det i praktiken betyda att företagen behöver investera i sätt att rena icke-drickbart vatten genom

---

<sup>50</sup> <https://www.ri.se/en/our-stories/how-ai-can-make-data-centres-energy-efficient>

<sup>51</sup> <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/meta-expanding-mesa-arizona-data-center-campus-with-three-new-buildings/>

<sup>52</sup> <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/2053951715592429>

<sup>53</sup> <https://www.cti.org/blogs/posts/the-benefits-of-water-cooled-vs-air-cooled-systems-for-air-conditioning-application-copy>

<sup>54</sup> <https://www.greenbiz.com/article/diving-water-positive-pledges-facebook-google>

avsaltning av havsvatten och rening av kommunalt eller industriellt avloppsvatten. På så sätt bidrar man även till de globala hållbarhetsmålen.<sup>55</sup>

Enligt FN:s klimatprogram förväntas de globala temperaturerna stiga med cirka 2,7 grader till århundradets slut, vilket förorsakar smältande glaciärer och höjda havsnivåer. I och med att glaciärer smälter försvinner källan till återkommande smältvatten som människor och jordbruk är beroende av och behovet av avsaltning kommer öka lavinartat för ersätta denna källa. Frågan är om det kommer att finnas tillräckligt med investeringsmedel för avsaltning för industriellt bruk av vatten, till exempel nerkylning av datahallar, när avsaltat vatten även kommer behövas för människors överlevnad och jordbruk med mera. Det är också tveksamt om företagen som lovat bli både klimatneutrala och vattenpositiva kommer hålla sina löften då det handlar om frivilliga och ej reglerade eller tvingande avtal.

### 3.5.1 Climate Neutral Data Center Pact

Climate Neutral Data Center Pact är en nyskapad europeisk branschorganisation som satt tydliga mål för alla medlemmar. Målen visar vilka områden som bör prioriteras för datahallars gröna omställning.<sup>56</sup> Områden och målsättningar är följande:

- *Energieffektivitet:* Power use effectiveness (PUE) är det mått på effektivitet som används och senast 2025 ska nya datahallar i svala klimat ha årliga PUE-mål<sup>57</sup> på 1,3 PUE för full kapacitet (1,4 i varmt klimat). Redan existerande hallar ska uppnå samma mål senast 2030.
- *Ren energi:* Datahallar ska matcha sin elförsörjning genom köp av ren energi. 75 % av behovet ska täckas av förnyelsebar energi senast under 2025 och 100 % under 2030.
- *Vatten:* Datahallar ska uppvisa en hög grad av vattenbesparing och hög standard för vattenanvändning. Detta mäts via Water usage effektivitet (WUE), ett mått på plats- och källkänslig vattenanvändning. Senast 2025 ska nya datahallar som använder sötvatten för kylning utformas för att möta en maximal WUE på 0,4 l/kWh i områden under vattenstress. Gränsen för WUE kan ändras baserat på klimat, stress och vattentyp för att uppmuntra användning av hållbara vattenkällor för kylning.
- *Cirkulär ekonomi:* Återanvändning, reparation och återvinning av servrar, elektrisk utrustning och andra relaterade elektroniska komponenter ska vara en prioritet för datahallsoperatörer. 100 % av den använda serverutrustningen ska värderas för återanvändning, reparation eller återvinning. Återanvändning av datacentervärme ger en möjlighet till energibevarande och datacenteroperatörer ska utforska möjligheter att kopplas samman med fjärrvärmesystem om det bedöms praktiskt, miljövänligt och kostnadseffektivt.

---

<sup>55</sup> <https://idadesal.org/water-positive-the-time-for-water-esg-criteria/>

<sup>56</sup> <https://www.climateneutraldatacentre.net/working-groups/>

<sup>57</sup> PUE är förhållandet mellan den totala mängden energi som används av en datacenteranläggning och den energi som levereras till datorutrustning

”3,4 % av Sveriges ekonomi är för närvarande cirkulär enligt RISE – det innebär att vi har en lång väg att gå. För att ha något att jämföra med: världsekonomin är 8,6 % cirkulär och Nederländerna, som toppat ligan, ligger på 24,5 % cirkularitet!

Trendrapport Grön Omställning, Kairos Future och Science Park Jönköpings Län, 2022

## 4 En cirkulär ekonomi

Det pågår en omställning mot en mer hållbar värld för att bemöta klimatförändringarna. Insikten att vi står inför en dubbel omställning, en grön och en digital, har lett till att man måste se på dessa två omställningar tillsammans för att förstå hur de båda kan bidra till ett mer hållbart samhälle men också hur de eventuellt påverkar varandra. Denna dubbla omställning benämns ofta som *twin transition* och är det centrala temat i Joint Research Centres (Europeiska kommissionens vetenskaps- och kunskapsstjänst) 2022 rapport Towards a green and digital future.<sup>58</sup> Däri poängteras att även om dessa två samtidiga omställningarna kan förstärka varandra på många områden, är de inte automatiskt allierade. Digital teknik har till exempel betydande miljövtryck som går emot målen för den gröna omställningen. Rapporten fastslår att proaktiv och integrerad förvaltning kommer att behövas för att maximera nyttan av båda omställningarna.

Kraftsamling för ett hållbart digitaliserat Sverige<sup>59</sup> var ett regeringsuppdrag för att föreslå utformningen av ett strategiskt program för att leda i den digitala strukturomvandlingen där myndigheterna Vinnova, Myndigheten för digital förvaltning (Digg), Post- och telestyrelsen (PTS) och Vetenskapsrådet (VR) medverkade. Myndigheterna föreslog en nationell digital kraftsamling i form av ett strategiskt program som väsentligt skulle stärka Sveriges digitala förmåga, konkurrenskraft och innovationssystem för ekologisk, social och ekonomisk hållbarhet. Efter uppdragets slut skrev samma myndigheter en policyöversikt som fokuserade på det ökade behovet av att kunna spåra produkters innehåll och hur de har tillverkats, och likaså hur Sverige behöver förhålla sig och förbereda sig på att digitala produktpass (DPP) införs<sup>60</sup> (mer om DPP i avsnitt 3.8).

I likhet med många andra rapporter runt om i världen, ligger det stora fokuset på spårbarhet, resurseffektivitet och kraftigt minskade utsläpp av växthusgaser, nyttjande av förnyelsebara råvaror och energikällor samt återanvändandet av material. Även i länder där andelen energikällor med låga utsläpp av fossil koldioxid ökar kraftigt är materialanvändningen fortsatt hög. Slutsatsen blir att konsumtionen måste minska för att Sverige ska bli ett föregångsland inom hållbarhet i enlighet med Regeringens proposition 2019/20:188 gällande Sveriges genomförande av Agenda 2030.<sup>61</sup>

---

<sup>58</sup> <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC129319>

<sup>59</sup> <https://www.vinnova.se/publikationer/kraftsamling-for-ett-hallbart-digitaliserat-sverige/>

<sup>60</sup> <https://www.vinnova.se/m/strategisk-omvarldsanalys/ny-europeisk-produktpolicy-kraver-okat-fokus-pa-sparbarhet/>

<sup>61</sup> <https://www.regeringen.se/contentassets/378ab5cbd6b148acaecce9413cc0e1ba/sveriges-genomforande-av-agenda-2030-prop.-201920188.pdf> sid.37



## 3.6 Konsumtion och materialförbrukning

Rapporten *The Circularity Gap Report Sweden*<sup>62</sup> belyser vikten av att ta hänsyn till hela tillverknings-, konsumtion- och återvinningskedjans klimatavtryck i hållbarhetsanalyser. Indikatorn konsumtion och inhemsk materialförbrukning (DMC) används för att mäta konsumtion i absoluta tal och i termer av konsumtionens klimatavtryck.

DMC är en miljöindikator som täcker flöden av både produkter och råvaror genom att redovisa deras massa. Arbetet med att ta fram indikatorer på konsumtion bygger vidare på en tidigare EU-rapport som bland annat tittat på *the Consumption Footprint* (spårning av den övergripande miljöpåverkan av konsumtionen i EU) och *the Consumer Footprint* (bedömning av miljöpåverkan av hushållens konsumtion i EU). Här introduceras idén om att titta på nettoflöden av import och export för att avgöra om konsumtionen i EU har en negativ miljöpåverkan och om denna påverkan primärt sker inom eller utom EU. Studien visade att en större del av miljöpåverkan i samband med EU:s konsumtion genereras utanför EU:s gränser. EU kan därför huvudsakligen betraktas som en "nettoimportör" av miljöpåverkan, det vill säga vår efterfrågan och konsumtion driver på negativ klimatpåverkan utanför EU.<sup>63</sup>

I *The Circularity Gap Report* placeras Sverige i kategorin "Shift countries" tillsammans med USA, andra EU-medlemsländer, Japan och Argentina. För dessa länder anser rapportskrivarna att den primära lösningen för en mer hållbar ekonomi är att skifta livstil mot mer hållbara konsumtionsval och mindre konsumerande generellt.

*"Om alla på jorden skulle leva som svenskarna skulle detta kräva nästan fyra planeters totala resurser"*

Om Sveriges materiella fotavtryck ska minskas samtidigt som en socialt rättvis och välmående nation upprätthålles, kommer det att innebära stora livsstilsförändringar, från förändringar i kost, konsumtionsmönster och resebeteende. Flygskamrörelsen (skam över att flyga på grund av klimatpåverkan) har enligt rapporten bidragit till att svenskars flygresor har minskat med 4 % (9 % för inrikesresor) vilket är en sällsynt trend för ett europeiskt land. Rapporten lyfter även fram att de senaste åren sett en kraftig ökning i antalet unga vuxna som minskat sin köttkonsumtion eller antagit en vegetarisk kost.

Hur liknande livstilsval ska åstadkommas på bredare front finns det ingen konsensus kring på europeisk nivå. Diskussioner om ägande och konsumtionsmönster förs i olika forum såsom till exempel World Economic Forum (WEF)<sup>64</sup>, där hållbar konsumtion ställs mot hållbara affärsmodeller. Den senaste rapporten från WEF:s mellanstatliga panel om klimatförändringar visade till exempel på att förändringar på efterfrågesidan har potential att minska växthusgaserna med upp till 70 % på 20 år.<sup>65</sup>

<sup>62</sup> <https://resource-sip.se/en/circularity-gap-report-sweden-en/>

<sup>63</sup> <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC113607>

<sup>64</sup> <https://www.weforum.org/platforms/shaping-the-future-of-consumption>

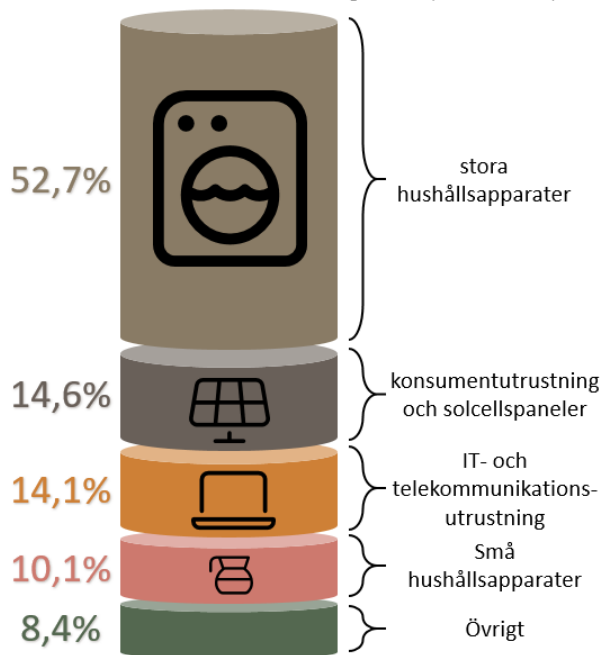
<sup>65</sup> <https://www.weforum.org/agenda/2023/01/davos23-consumers-key-to-tackling-global-crises/>

### 3.7 eAvfall

Avfall från elektrisk och elektronisk utrustning (WEEE) ökar kraftigt.<sup>66</sup> Denna typ av avfall innehåller en komplex blandning av material, varav några är farliga och kan orsaka stora miljö- och hälsoproblem om de kasserade enheterna inte hanteras på rätt sätt. Dessutom innehåller modern elektronik sällsynta och dyrbara resurser som kan återvinnas och återanvändas om avfallet hanteras korrekt.

**Figur 10. Elektroniskt och elektriskt avfall i EU**

Total andel insamlad elektronisk utrustning i EU i % (Eurostat 2020)



Källa:

[https://www.europarl.europa.eu/resources/library/images/20201210PHT93524/20201210PHT93524\\_original.jpg](https://www.europarl.europa.eu/resources/library/images/20201210PHT93524/20201210PHT93524_original.jpg)

Förbättring av insamling, behandling och återvinning av elektrisk och elektronisk utrustning vid slutet av deras livslängd bidrar till den cirkulära ekonomin och EU har infört WEEE-direktivet (samt RoHS-direktivet för begränsning av användningen av vissa farliga ämnen i elektrisk och elektronisk utrustning<sup>67</sup>) för att ta itu med frågan om den växande mängden WEEE.

WEEE-direktivet uppmuntrar bland annat tillverkare och materialåtervinningsföretag att samarbeta så att återvinningen kan öka och effektiviseras och att ekodesignkrav följs så att återanvändning underlättas. Ett problem som vi berört tidigare är dock de högt satta kraven på en kontinuerlig serviceleverans utan driftstopp i till exempel datahallar. Detta gör att utrustning såsom generatorer

<sup>66</sup> [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee_en)

<sup>67</sup> Direktivet har införts i svensk lagstiftning genom förordning (2012:861) om farliga ämnen i elektrisk och elektronisk utrustning och genom Kemikalieinspektionens föreskrifter (KIFS 2017:7).

och luftkonditionering som är byggda för att hålla 35-40 år, ofta byts ut efter cirka 20 år. Detta gör också att man inte gärna återbrukar använda apparater även om man vet att de har flera år kvar med full prestation.

Ett annat problem i äldre datahallar är att många har byggts om under åren och utrustning såsom koppartrådar, automatiska växlar, ställverk och stora generatorer som skulle behöva tas om hand kostar för mycket att forsla bort eftersom de måste monteras ned och tas isär för att kunna transporteras ut ur lokalerna. Det kan då vara ekonomiskt fördelaktigt att låta dem stå kvar i övergivna bunkrar och liknande lokaler som en gång använts som datahallar.<sup>68</sup> Huruvida detta orsakar betyfande föroreningar genom till exempel läckta metaller som förorenar grundvatten har varit svårt att finna information om. Det är ett generellt problem dock för elektroniskt avfall som inte omhändertas ordentligt och som läggs på soptippar runt om i världen. När elektronikskrot deponeras på soptippar är läckage till yt- och grundvatten i omgivningen vanligt, samt att avdunstning sker till atmosfären (här är det kvicksilver och dess metylerade derivat som är mest problematiska). Läckage kan förväntas ske för de flesta ämnen eftersom deponering berör så långa tidsperioder, men särskilt problematiskt är läckaget av bly.<sup>69</sup>

Naturvårdsverket konstaterar att det idag inte finns någon helt säker metod för att ta hand om elektronikskrot eftersom det innehåller så stora mängder giftiga ämnen. För att minska riskerna krävs att mängden giftiga ämnen i de ursprungliga elektronikprodukterna minskas ytterligare samtidigt som mängderna elektronikskrot minskas. Detta kan uppnås genom en allmänt minskad konsumtion, utvecklandet av produkter med längre livslängd och som är enklare och säkrare att reparera, uppdatera och återvinna. Genom den förordning för ekodesign för hållbara produkter som EU-kommissionen föreslog den 30 mars 2022 förväntas flertal elektroniska produkter omfattas av nya design- och tillverkningskrav för detta ändamål.<sup>70</sup>

### 3.8 Digitala produktpass

Digitaliseringen kan bidra till en mer hållbar ekonomi som tar hänsyn till olika produkters livscykelhantering. Här spelar produkters spårbarhet en viktig roll vilket möjliggörs av digitalisering och hantering samt delning av data.<sup>71</sup> Digitala produktpass (DPP) är digitala representationer av fysiska produkter som visar hållbarhetsdata under hela livscykeln. Produktpasset syftar till att öka spårbarheten och underlätta en cirkulär ekonomi genom att varumärkesägare måste dela med sig av olika hållbarhetsdata för sina produkter.<sup>72</sup>

---

<sup>68</sup> <https://www.datacenterdynamics.com/en/analysis/what-happens-mechanical-and-electrical-equipment-during-data-center-decommissioning/>

<sup>69</sup> <https://www.naturvardsverket.se/globalassets/media/publikationer-pdf/6400/978-91-620-6417-4.pdf>

<sup>70</sup> [https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/sustainable-products/ecodesign-sustainable-products\\_sv](https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/sustainable-products/ecodesign-sustainable-products_sv)

<sup>71</sup> <https://www.vinnova.se/m/strategisk-omvarldsanalys/ny-europeisk-produktpolicy-kraver-okat-fokus-pa-sparbarhet/>

<sup>72</sup> <https://www.axfoundation.se/projekt/propare>

DPP tillhandahåller konsekvent och digital produktrelaterad information inklusive data om hållbarhet och cirkularitetsprestanda. DPP ingår i en ny ramlagstiftning från EU – Ecodesign Sustainable Products Regulation (ESPR), som är en del av EU gröna giv, med syfte att uppfylla Europas åtagande i Parisavtalet och FN:s globala mål för hållbar utveckling. Behovet av ett sådant pass uttrycks även i EU:s nya Circular Economy Action Plan (CEAP).<sup>73</sup> Lagen förväntas träda i kraft tidigt 2024 och därefter rullas reglerna ut successivt fram till 2030. När trovärdiga data om produkters innehåll och komponenter kan delas så effektiviseras kapaciteten för återvinning och återbruk markant.

Projektet CIRPASS, finansierat av Digital Europe Programme, sammanför ett kärnnätverk av ledande organisationer för att bygga den europeiska visionen för en enhetlig DPP över flera värdekedjor.<sup>74</sup> Det initiala fokuset ligger inom tre prioriterade områden: el- och elektronik-, batteri- respektive textilsektorerna samtidigt som grunden läggs för ett tvärsektorielt DPP baserat på gemensamma regler, principer, taxonomier och standarder.<sup>75</sup> Informationen kan handla om produktens hållbarhetsprestanda, ursprung, garanti, återvinning och instruktioner för montering eller reparationer.

I Sverige pågår ett antal initiativ som syftar till att förbereda marknadsaktörer i olika delar av värdekedjan på kravställningar från EU. Initiativen syftar till att säkerställa att data samlas in, att olika aktörer hanterar data likvärdigt, att interoperabilitet mellan olika system hanteras och att delning av data möjliggörs. Området har belysts särskilt i rapporten ”Datadelning för hållbarhet - en ny europeisk produktpolicy för sammanlänkad grön och digital omställning” från tidigare nämnda kraftsamlingsuppdrags analysgrupp.<sup>76</sup>

Lagring, hantering och delning av den data som krävs för ökad spårbarhet kräver även den energiförbrukning. Svenskt Näringsliv har uttalat sig om detta och påpekar att om ett fullt utvecklat centralt system för produktpass utvecklas, kommer energiåtgången för att dela alla information öka flerfald utan att mervärdet ökar. De förespråkar därmed en decentraliserad lösning.<sup>77</sup> Denna rekyleffekt, oavsett storlek bör ställas i paritet till den totala energibesparing som tekniken möjliggör. Förväntade positiva effekter inkluderar mer miljövänlig utvinning av råmaterial, mer klimatvänlig transport och logistik samt bättre återvinningsprecision och möjlighet till ökat återbruk genom sekundära användningsområden (inklusive andrahandsmarknaden) för material och produkter som inte presterar tillräckligt väl för sitt primära användningsområde.

---

<sup>73</sup> [https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan\\_en](https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en)

<sup>74</sup> [https://hadea.ec.europa.eu/news/hadeas-project-cirpass-feature-cop27-session-their-concept-digital-product-passport-2022-11-09\\_en](https://hadea.ec.europa.eu/news/hadeas-project-cirpass-feature-cop27-session-their-concept-digital-product-passport-2022-11-09_en)

<sup>75</sup> <https://www.digitaleurope.org/digital-product-passport/>

<sup>76</sup> <https://www.vinnova.se/contentassets/ce8db133af534a90b3813af7d453836c/den-sammanlankade-omstallningen-slutlig-korr.pdf>

<sup>77</sup> [https://www.svensktnaringsliv.se/bilder\\_och\\_dokument/3zup8f\\_utveckladpositionproduktpasspdf\\_1184868.html/Utvecklad%252Bposition%252Bproduktpass.pdf](https://www.svensktnaringsliv.se/bilder_och_dokument/3zup8f_utveckladpositionproduktpasspdf_1184868.html/Utvecklad%252Bposition%252Bproduktpass.pdf)

### 3.9 ESRS - Kravställning, incitament och internationella standarder

European Sustainability Reporting Standards (ESRS) är EU:s kommande hållbarhetsrapporteringsstandarder. ESRS är ett nyckelelement i EU:s nya Corporate Sustainability Reporting-direktiv (CSRD).<sup>78</sup> Detta är ett led i att nyttja den redan etablerade mekanismen för att på EU-nivå standardisera rapportering av miljö-, social- och styrningsinformation så kallad ESG (en finansiell branschstandard som används för att mäta hur hållbart ett företag är och som även kan påverka företags tillgång till kapital).<sup>79</sup> Företagens hållbarhet kan därmed rapporteras i ett standardiserat, jämförbart och mer konsekvent format.

Rapportering enligt ESRS kommer att vara obligatorisk för alla företag som omfattas av EU:s hållbarhetsrapporteringsdirektiv från och med 2024. Det finns för närvarande 13 stycken ESRS-utkast där EU har föreslagit att lägga till små och medelstora företagsspecifika och sektorspecifika utkast till standarder 2023. ESRS kommer att anpassas till redan befintliga europeiska policyer och internationella standarder för att undvika dubbelrapportering.

ESRS tidslinje<sup>80</sup>:

- *1 januari 2024*: Företag som för närvarande är skyldiga att rapportera enligt EU:s direktiv om icke-finansiell rapportering (NFRD), det vill säga stora börsnoterade företag med fler än 500 anställda, kommer att behöva börja rapportera enligt ESRS för räkenskapsåret 2024 (det vill säga rapporter utfärdade 2025).
- *1 januari 2025*: Stora företag som omfattas av CSRD måste rapportera enligt ESRS från och med räkenskapsåret 2025 (det vill säga rapporter utfärdade 2026).
- *1 januari 2026*: Små och medelstora företag och andra små och icke-komplexa institutioner måste implementera CSRD och anpassa sig till ESRS från och med budgetåret 2026. De kommer dock att ha möjlighet att välja bort rapporteringsreglerna fram till den 1 januari 2028.

---

<sup>78</sup> [https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/company-reporting-and-auditing/company-reporting/corporate-sustainability-reporting\\_en](https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/company-reporting-and-auditing/company-reporting/corporate-sustainability-reporting_en)

<sup>79</sup> <https://kpmg.com/se/sv/home/tjanster/hallbart-foretagande/rapportera/esrs.html>

<sup>80</sup> <https://blog.worldfavor.com/what-are-the-esrs-the-eus-new-mandatory-sustainability-reporting-standards>

## 4 Nya områden för energieffektivisering

Digitaliseringens möjliga påverkan på klimatet diskuteras ofta utifrån de positiva effekter det kan ha i form av ökad resursoptimering och annan effektivisering som till exempel maskininlärning kan ge upphov till. Under senare tid har digitaliseringens egna klimatavtryck hamnat mer i fokus. Frågan har fått ökad uppmärksamhet i takt med att fler elektroniska apparater tillverkas (och slängs) och fler och större datahallar konstrueras. Även AI och blockkedjeteknikens möjliggörande av fler digitala tjänster inklusive energikrävande kryptovalutor som Bitcoin har skapat intresse för frågan.

För all industriell produktion, inklusive för elektroniska apparater, utvecklas mer hållbara tillverkningsprocesser och nya, mer hållbara material tas fram. Alla delar i produktionskedjan bör ses över för de som vill bidra till ökad hållbarhet.<sup>81</sup> Inom anskaffning bör hållbarhet värderas för råmaterial och återvinningsbara material. Inom produktion bör driftseffektivitet öka och slöseri i tillverkningsprocessen elimineras samt att förnybara energikällor borde användas mer. Logistikenheter bör sätta koldioxidmål för sina transportleverantörer och tillverkare bör tillhandahålla reservdelar, reparations- och kasserings-tjänster och jobba för att förbättra återvinningen och effektiviteten av sina produkter. En del av lösningen är digitala system, smarta material och robotisering och automatisering, vilket även bidrar till spårbarhet i tillverkningsprocesser.<sup>82</sup>

För datahallar bör hänsyn ges den lokala energimatrisen där hallarna placeras och andelen energi från förnyelsebara källor bör vara så hög som möjligt. Oavsett kylningsmetod som används (vatten- eller luftkylning) måste lokala miljöaspekter tas hänsyn till för ökad hållbarhet. Långsiktiga planer för drift och underhåll bör även tas med i ett tidigt skede när en ny hall ska etableras eller en gammal ska uppdateras så att e-avfall och användning av åldrande utrustning planeras för.

### 4.1 Värmeåtervinning

Kraven på företag att ta ett ökat socialt och miljömässigt ansvar har fått ökad genomslagskraft i och med några av de rapporteringskrav och index som nämns i avsnitt 4.4 ovan. Aktörer som World Economic Forum propagerar för intressentkapitalism (stakeholder capitalism) kontra aktieägarkapitalism (shareholder capitalism) där ökat och långsiktigt ansvar för alla som påverkas av ett företags verksamhet (investorare, medarbetare, kunder och människor i allmänhet) bör ges mer betoning än enbart kortsiktiga, ekonomiska intressen av företagets investerarare och ägare.<sup>83</sup>

Sedan 2010 har Greenpeace uppmanat stora internetföretag att driva sina datahallar på förnybar energi. 2017 publicerades en rapport där världens största internet-, plattforms- och IT-företag utvärderades och rankades utifrån deras åtaganden för hållbar verksamhet utifrån ett klimat- och

---

<sup>81</sup> <https://knowhow.distrelec.com/sv/tillverkning/hallbarhet-inom-industriell-automation/>

<sup>82</sup> <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/produktion-och-tillverkning>

<sup>83</sup> <https://www.weforum.org/agenda/2021/01/klaus-schwab-on-what-is-stakeholder-capitalism-history-relevance/>

miljöperspektiv.<sup>84</sup> Företag rangordnades i rapporten utifrån olika verksamhets kategorier med energiranking och deras olika policybeslut på området granskades och kommenteras. Både Apple och Google sades leda ansträngningar att matcha tillväxt med ett motsvarande eller större utbud av förnybar energi och använda sitt inflytande till att pressa såväl regeringar som leverantörer till energi- och IT-sektorerna för att öka tillgången till förnybar energi för deras verksamheter.

**Figur 11. Urval av företagsstyrkort från Greenpeace**

	Slutbetyg	Ren energi index	Naturgas	Kol	Kärnkraft	Energi-transparens	Engagemang & platspolicy för förnyelsebar energi	Energi-effektivitet och lindring	Anskaffning av förnyelsebar energi	Förespråka och främja
	B	23%	37%	23%	11%	B	A	B	B	A
	D	24%	3%	67%	3%	F	F	C	F	D
	C	17%	24%	30%	26%	F	D	C	C	B
	A	83%	4%	5%	5%	A	A	A	A	B
	F	24%	3%	67%	3%	F	F	D	F	F

Källa: [https://www.greenpeace.de/publikationen/20170110\\_greenpeace\\_clicking\\_clean.pdf](https://www.greenpeace.de/publikationen/20170110_greenpeace_clicking_clean.pdf)

I rapportens utvärderingen av Apple står bland annat att Apple planerat datahallar i norra breddgrader för att dra nytta av utomhuskylningsmöjligheter. För sin nya datahall i Danmark planerades det att förse det lokala värmedistriktet med spillvärme, vilket skulle minska efterfrågan på fossila bränslen på andra håll. Värmeåtervinning går ut på att just återanvända spillvärme eller restvärme från en primär verksamhet och skapa nytta inom ett sekundärt område som kan vara extern från den egna verksamheten.

Enligt Högskolan i Halmstad produceras det tillräckligt mycket restvärme i EU för att värma upp alla byggnader i hela unionen men än så länge finns det endast småskaliga exempel på hur restvärme omhändertas och används på detta sätt.<sup>85</sup>

## 4.2 Grön kodning

Ytterligare ett område som ses över är klimatavtrycket av själva koden som används för att skapa program, tjänster, algoritmer och träningsmodeller. Grön kodning är ett växande område som kombinerar kodning med ekodesignprinciper. En sådan princip skulle till exempel vara att tillåta mindre fel i program som inte påverkar användarupplevelsen negativt såsom till exempel att vissa bildpunkter i en bildpresentation inte visas. Med en kombination av grön programmering och snålare elektronik tror forskarna att det skulle vara möjligt att spara 90 procent av energiförbrukningen av vissa enheter. I mobilsammanhang skulle det kunna betyda tio gånger längre batteritid.<sup>86</sup>

<sup>84</sup> [https://www.greenpeace.de/publikationen/20170110\\_greenpeace\\_clicking\\_clean.pdf](https://www.greenpeace.de/publikationen/20170110_greenpeace_clicking_clean.pdf)

<sup>85</sup> <https://www.hh.se/forskning/var-forskning/forskning-vid-akademien-for-foretagande-innovation-och-hallbarhet/forskningsprojekt-vid-akademien-for-foretagande-innovation-och-hallbarhet/avslutade-forskningsprojekt-fih/reuseheat.html>

<sup>86</sup> <https://www.nyteknik.se/nyheter/gron-kod-spar-it-energi/940350>

För tjugo år sedan var kodning beroende av bandbredds begränsningar och begränsad processorkraft vilket tvingade utvecklare att uppmärksamma längden och komplexiteten på sin kod. Med större dator- och beräkningskraft har snabbare bearbetning av stora filer och applikationer möjliggjorts. Bibliotek och ramverk med öppen källkod har även gjort det möjligt att återanvända bitar av kod i nya projekt. Detta innebär att dagens programvaror innehåller fler rader kod, vilket också kräver större processorkraft när programmen körs och order exekveras. Den oavsiktliga konsekvensen har blivit större energianvändning och ett högre globalt energibehov.

Grön kodning är ett segment av grön datoranvändning eller *green computing*. Green computing är strävan att begränsa teknikens miljöpåverkan, inklusive att minska koldioxidavtrycket i högentensiva verksamheter såsom tillverkningskedjor, datahallar och till och med den dagliga verksamheten i olika verksamhetsteam och arbetsgrupper.<sup>87</sup>

Ett exempel på vad grön kodning uppmärksammar är att forskning om hastighet och energianvändning för olika programmeringsspråk nyligen visat att C är det mest effektiva när det gäller hastighet, vilket minskar energi- och minnesanvändning och därmed ger potentiell möjlighet till energibesparingar. Det råder dock delade meningar om hur detta förverkligas och vilka mått som bör användas för att utvärdera energibesparingarna. I en rapport från detta forskningsområde (i detta fall ett utökad arbete med en serie systematiska jämförelser och rankningar över energieffektiviteten hos 27 välkända mjukvaruspråk) poängteras också att flera arbeten har indikerat att ett mer tidseffektivt tillvägagångssätt inte alltid leder till den mest energieffektiva lösningen (Pereira, m.fl., 2021).

Flera studier avseende korrelationen mellan energieffektivitet och tidsåtgång har gjorts på senare tid för att försöka förstå hur utvecklingsaspekter påverkar energiförbrukningen i diversifierade mjukvarusystem. Till exempel, för mobila applikationer, finns det studier som fokuserar på att analysera energieffektivitet för kodblock, det finns också olika system som övervakar hur energikonsumtionen utvecklas över tid. Det finns också andra studier som syftar till en mer omfattande energiförbrukningsanalys som jämför energieffektiviteten för likartade program i specifika användningsscenarier eller som försöker dra slutsatser kring energipåverkan av olika genomförandebeslut.

Studierna på området har visat att flera faktorer, såsom olika designmönster, tangentbords energiavtryck, kodningsmetoder och datastrukturer faktiskt har en betydande inverkan på programvarans energieffektivitet.

### 4.3 Devops och lean-kodning

DevOps står för *development* (utveckling) och *operations* (drift) och har sina rötter i agila utvecklingsmetoder. Metoden innebär att utvecklare och drifttekniker samarbetar och tillämpar gemensamma principer för att underlätta och effektivisera hela produktions- och leveransflödet. I den typiska kodningsprocessen skriver utvecklare kodrader som analyseras och bearbetas genom en enhet eller apparat. Enheten kräver energi, och om den inte drivs av 100 % förnybar energi skapas

---

<sup>87</sup> <https://www.ibm.com/cloud/blog/green-computing>



koldioxidutsläpp. Ju mer kod som ska bearbetas, desto mer energi förbrukar enheten och desto högre blir utsläppsnivåerna.<sup>88</sup>

För att minska mängden energi som behövs för att bearbeta kod kan utvecklare anta mindre energikrävande kodningsprinciper i sin DevOps-livscykel. Lean kodning-metoden fokuserar på att använda en minimal mängd bearbetning för att leverera en slutlig applikation. Webbplatsutvecklare kan prioritera att minska filstorleken till exempel genom att byta ut högkvalitativt media mot mindre filer. Detta påskyndar inte bara laddningstiderna för en webbplats, utan förbättrar också användarupplevelsen.

Grön kodning kräver, liksom andra hållbarhetsinitiativ, strukturella (och även organisatoriska och kulturella) förändringar för att få effekt. Praktisk implementering kan till exempel fokusera på flerkärniga processorbaserade applikationer (multi-core processor-based applications) som kan kodas för att öka energieffektiviteten- Dett sker genom att koden direkt instruerar processorer att stänga av och starta om inom mikrosekunder istället för att använda standardinställningar för energibesparing som kanske inte är lika effektiva.

Genom att optimera IT-infrastrukturen med hjälp av moderna verktyg såsom virtuella maskiner kan organisationer även minska antalet fysiska servrar som behövs för verksamheten, vilket i sin tur minskar energiförbrukningen och koldioxidintensiteten.

Edge computing, där applikationer körs på en distribuerad molninfrastruktur har potentialen att minska den totala mängden data som transporteras över nätverk och därmed nätverkets totala energianvändning. I rapporten Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP<sup>89</sup> undersöks hur mycket koldioxid som genereras specifikt av modellträningssprocessen för bearbetning av naturligt språk (NLP), delområdet för AI som fokuserar på att lära maskiner att hantera mänskligt språk. Maskininlärnings höga energiåtgång och negativa klimatpåverkan motiverade forskare vid University of Cambridge, University of Oxford, University College London, Avignon Universite och Samsung att undersöka mer energieffektiva metoder för att träna AI-modeller. De fann att distribuerade modeller (även kallade federerade eller edge) där lokala algoritmer ute i olika aktörers egna miljöer och som tränas på lokala dataset och där endast vikterna, de inlärbara parametrarna för algoritmerna, utbyts mellan algoritmerna kan orsaka en signifikant reduktion i klimatavtryck.<sup>90</sup>

## 5 Avslutande reflektioner

Denna rapport visar att det är mycket svårt att säkert kunna beräkna och uttala sig om, vilka nettoeffekter digitaliseringen har på klimat- och miljöområdet. Även om den digitala teknikens direkta klimateffekter går att ungefärligt uppskatta, är de indirekta effekterna mycket svårare att uppskatta och kan vara såväl positiva som negativa för energiförbrukning, klimat och miljö. Nettokalkylen blir komplex och därmed också svår att entydigt ge säkra prognoser kring. Att

---

<sup>88</sup> <https://www.ibm.com/cloud/blog/green-coding>

<sup>89</sup> <https://arxiv.org/pdf/1906.02243.pdf>

<sup>90</sup> <https://venturebeat.com/business/study-shows-that-federated-learning-can-lead-to-reduced-carbon-emissions/>

digitaliseringen i stort griper in på alla områden och därmed inte kan sägas vara en egen utsläppsindustri bidrar till denna komplexitet.

Det vi med säkerhet vet och kan säga är att digitaliseringen kommer att öka och för att, som både EU-kommissionen och Sveriges regering påtalat, kunna nå Sveriges och EU:s högt ställda miljö- och klimatmål. Detta är innebörden i den gröna digitala omställning av samhället som vi just nu är i färd med att genomföra. Det är inte minst viktigt också med tanke på den demografiska utmaning vi står inför. Med tanke på denna utveckling och på det vi har pekat på i denna rapport är det troligt är att det inom en snar framtid borde bli aktuellt att i alla nyetableringar och nya projekt räkna på klimat- och miljöeffekter. Detta gäller allt från hård infrastruktur (exempelvis datahallar) till digital infrastruktur (exempelvis byggblock inom Ena – Sveriges digital infrastruktur). Ett konkret exempel och fenomen som vi tar upp i rapporten är hur man genom att på ett tidigt stadium räkna på detta kan ta tillvara värme från datahallar för att koppla ihop med fjärrvärmesystem där både lokalsamhälle, industrin och konsumenterna tar del av spillvärmerna som genereras. En teknik som vi tror kan komma att nyttjas för att göra denna typ av beräkningar på ett mer distribuerat och effektivt sätt nära källan är kantdatorteknik, så kallade edge-noder. Kraven på spårbarhet och uppvisandet av klimat- och miljöeffekter där delning av data för dessa ändamål framöver kommer att slå igenom på bred front är framförallt genom EU:s digitala produktpass.

Digitaliseringens klimat- och miljöeffekter kommer framöver att vara ett centralt område att analysera och agera på för alla samhällets aktörer om vi vill nå våra högt uppställda klimat- och miljömål. Detta är Diggs första analysbidrag på temat.

# Litteraturförteckning

- Andrae, A. S. G. och Edler, T. (2015) "On global electricity usage of communication technology: trends to 2030", *Challenges*, 6, 117–157. <https://www.mdpi.com/2078-1547/6/1/117>
- Belkhir, L och Elmeligi A. (2018). "Assessing ICT global emissions footprint:trends to 2040 & recommendations", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 177, 2018, s. 448-463, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.239>
- Berkhout, F. and Hertin, J. (2001) *Impacts of Information and Communication Technologies on Environmental Sustainability: speculations and evidence*, Report to the OECD, 25 May 2001, <https://www.oecd.org/sti/inno/1897156.pdf>
- Carbon Trust (2021) *Carbon impact of video streaming*, white paper inom ramen för DIMPACT-projektet, <https://ctprodstorageaccountp.blob.core.windows.net/prod-drupal-files/documents/resource/public/Carbon-impact-of-video-streaming.pdf>
- Compaq Computer Corporation . (1996). Internet Solutions Division Strategy for Cloud Computing .
- ETNO & WWF (2006). *Saving the Climate at the Speed of Light. First roadmap for reduced CO2 emissions in the EU and beyond*, available at: [assets.panda.org/downloads/road\\_map\\_speed\\_of\\_light\\_wwf\\_etno.pdf](https://assets.panda.org/downloads/road_map_speed_of_light_wwf_etno.pdf)
- Freitag, C., Berners-Lee, M. Widdicks, K., Knowles, B., Blair, G. S. och Friday, A. (2021) The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends, and regulations, *Patterns*, <https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100340>
- GeSI (2015) *#SMARTer2030 ICT Solutions for 21st Century Challenges*, [https://smarter2030.gesi.org/downloads/Full\\_report.pdf](https://smarter2030.gesi.org/downloads/Full_report.pdf)
- Google (2023) *Digital decarbonization. The win-win approach to Swedish and European competitiveness and energy transition*, An Implement Consulting Group study commissioned by Google <https://services.google.com/fh/files/misc/digitaldecarbonisation.pdf>
- Hankel, A. (2014) "Understanding Higher Order Impacts of Green ICT", *2nd International Conference on ICT for Sustainability (ICT4S 2014)*
- Hankel, A., Heimeriks, G. och Lago, P. (2018) "A Systematic Literature Review of the Factors of Influence on the Environmental Impact of ICT", *Technologies*, 6(3), 85; <https://doi.org/10.3390/technologies6030085>
- Hilty, L.M. (2008), *Information Technology and Sustainability. Essays on the Relationship between ICT and Sustainable Development*, Books on Demand GmbH, Norderstedt. Kolln
- Horner, N.C. , Shehabi, A. och L Azevedo, I. L. (2016) "Known unknowns: indirect energy effects of information and communication technology", *Environmental Research Letters*, 11, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/10/103001>
- Krause, M. J., & Tolaymat, T. (2018). Quantification of energy and carbon costs for mining cryptocurrencies. *Nature Sustainability*.

- Lange, S. , Pohl, J., Santarius, T. (2020) “Digitalization and energy consumption. Does ICT reduce energy demand?”, *Ecological Economics*, 176 (2020), s. 1-14  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106760>
- Lehdonvirta, V. (2022). *Cloud Empires*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Malmodin, J. (2020) “The ICT sector’s carbon footprint” Presentation vid techUK conference, London Tech Week on ‘Decarbonising Data’, 2020 (link)  
<https://express.adobe.com/page/dey6WTCZ5JKPu/>
- Malmodin, J., and Lundén, D. (2018). “The energy and carbon footprint of the global ICT and E&M sectors 2010–2015”. *Sustainability* 10, 3027.
- Monserrate, S. G. (2022). *The Cloud Is Material: On the Environmental Impacts of Computation and Data Storage*. MIT Case Studies in Social and Ethical Responsibilities of Computing, no. Winter 2022 (January).
- OECD (2010) *Information Technology Outlook 2010*,  
<https://www.oecd.org/sti/oecdinformationtechnologyoutlook2010.htm>
- Pereiraa, R., Coutoc, M., Ribeiroc, F., Ruac, R., Cunhac, J., Fernandesd, J. P., & Saraiva, J. (2021). Ranking Programming Languages by Energy Efficiency. The High-Assurance Software Laboratory (HASLab).
- Raju, A. Lindmark, S. Delaere, S Ballon. “Towards a Framework for Holistic Impact Assessment of Green ICT”, *IT Professional*, Volume 15 Issue 1 Pages 50-56
- RISE, Circle Economy. (2022). *The Circularity Gap Report Sweden*. Platform for Accelerating the Circular Economy (PACE).
- Ritchie H., Roser M. och Rosado P. (2020) *CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions*. Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>
- Sala S., B. L.-M. (2019). *Consumption and Consumer Footprint: methodology and results*. European Commission JRC Technical Reports.
- Vinnova, Post- och telestyrelsen, Vetenskapsrådet, Myndigheten för digital förvaltning. (2021). *Kraftsamling för ett hållbart digitaliserat Sverige*. Stockholm: Vinnova -Sveriges Innovationsmyndighet