

Avdelningen för systemanalys, försörjningstrygghet och statistik
Enheten för energisystem

Energianvändning i datacenter och digitala system

Under hösten 2022 gav Energimyndigheten i uppdrag till konsulten RISE (Rise Research Institutes of Sweden AB) att ta fram en rapport om energianvändningen i datacenter och digitala system. Detta som ett underlag till myndighetens regeringsuppdrag om *metoder för att följa utvecklingen av energianvändning för digital infrastruktur och digitala system*. Konsultuppdraget genomfördes under andra halvan av hösten 2022 och slutrapporterades till Energimyndigheten i januari 2023.

I konsultuppdraget ingick att lämna en bedömning av nuläget när det gäller datacenter i Sverige, både när det gäller deras energianvändning och samverkan med elsystemet. Ett annat viktigt syfte var att bidra kunskapshöjande om energianvändningen i digitala system och digital infrastruktur i Sverige idag och i framtiden. Denna rapport utgör slutrapporten i konsultuppdraget. I nära anslutning till detta arbete togs även ytterligare en rapport fram, *Energianvändning för utvinning av kryptovaluta*.

Här har vi valt att publicera konsultrapporten i sin helhet och eventuella slutsatser eller budskap är konsultens egna. För Energimyndighetens analyser och slutsatser se rapporten ER 2023:04 *Energianvändning i digitala system, datacenter och kryptovaluta - Förstudie om nuläge, metoder och statistik för att följa utvecklingen*.

Konsultrapporten har utgjort ett värdefullt bidrag till redovisningen av regeringsuppdraget och Energimyndigheten vill tacka konsulterna för ett gott arbete, särskilt med tanke på den korta tidsramen för projektet.



RI.
SE

Energianvändning i datacenter och digitala system

Rapport till Statens Energimyndighet från RISE i uppdraget "Konsultuppdrag om energianvändning i datacenter och digitala system".

Sammanfattning

Denna rapport innehåller underlag för att kontinuerligt följa utvecklingen av energianvändningen för digital infrastruktur och digitala system, i synnerhet datacenter, samt dess påverkan på energisystemet.

Användningen av elektricitet i datacenter har nyligen uppmärksammats av allmänheten, media och beslutsfattare/lagstiftare. Datacenter är en grundläggande infrastruktur för samhället ungefär som vägar. Datacenter är centrala i digitaliseringen och för den pågående gröna transformationen av industrin. Energianvändningen i datacenter är cirka 1–2 % av den globala elanvändningen och långt under de dramatiska siffror som visas i media.

Rapporten omfattar datacenterinfrastrukturer. Ett datacenter är anläggningen som är värd för de datorer vi anlitar när vi använder webben, använder applikationer eller när industrier behandlar data i bakgrunden. Det mesta av energin i ett effektivt datacenter går till IT-servrarna. Datacenter kan klassificeras i typkategorier och är av olika storlek. Datacenter i kontorsbyggnader för företagets interna bruk är vanligtvis mindre än 300 kW och molnföretagets anläggningar är stora på över 10 MW. Anläggningar för kryptovaluta-utvinning ingår inte i denna rapport.

För att bedöma energianvändningen finns några möjliga metoder tillgängliga. Inom den korta tidsramen av denna studie förlitar sig RISE på redan tillgängliga rapporter, intervjuer och viss statistik som tagits emot. På lång sikt kommer ett statligt policybaserat krav på rapportering från datacenteroperatörerna att säkerställa transparens och kvalitet i bedömningen.

Utvecklingen av datacentermarknaden i Sverige följer fortfarande vad som beskrivs i en färsk svensk rapport av Radar (Wallin, Werner, & Olofsson, 2020). De senaste åren har Sverige sett en ökad aktivitet av stora molnföretag i Sverige. Det har resulterat i en högre tillväxttakt för energianvändningen jämfört med europeiska eller globala siffror. RISE bedömer att den nuvarande energianvändningen av datacenter i Sverige till 2,8–3,2 TWh under år 2022 med beräkningar baserade på Radarrapporten.

Att se in i framtiden är svårare. Eftersom flera större datacenter fortfarande byggs och kommer att byggas i Sverige och beräkningslaster från Europa kommer att fortsätta att flytta till Sverige är det därför rimligt att trenden för ökningen av energianvändningen kommer att ligga över EU-genomsnittet fram till år 2025. På grund av den nya skatteregleringar och den nuvarande ekonomiska nedgången kommer den dock att vara i en långsammare takt än mellan 2018–2022. RISE uppskattar på grund av detta att det blir hälften av tillväxttakten i Radar-rapporten efter 2022. RISE bedömer och beräknar att datacenters beräknade energianvändning i Sverige kommer att vara 4,0–4,4 TWh per år

2025. Efter 2025 finns det många osäkerheter. En försiktig uppskattning är 4,4–5,2 TWh per år för år 2030.

Datacenter kan spela en viktig roll i integrationen med energisystemen. Datacenter kan till exempel utföra peak-shaving och energi-arbitrage samt agera på frekvensstöds-marknaderna. Dessutom kan överskottsvärmen från datacenter användas i industriell symbios med värmeanvändare som fjärrvärmenät eller växthus. En annan viktig aspekt är att miljöpåverkan från datacenter handlar om mer än energieffektivitet. Analys av livscykeln för all utrustning och driften behöver göras samt övervaka andra mätetal än energianvändning, till exempel vattenanvändning.

Många nya tekniker är och kommer att utvecklas för att förbättra energieffektiviteten och driften av datacenter. Högre energitäthet för beräkning per kvadratmeter kommer att kräva nya kylmetoder som vätskekylning, edge-beräkning kommer att kräva små beräkningsnoder inne i nätverken och produktion på plats av el med bränsleceller är en annan ny utveckling. Svensk industri är ledande inom hållbara datacenter. Många nya innovationer och produkter kommer från en växande industrisektor. Nyligen har en svensk branschorganisation för datacenter bildats.

EU-kommissionen är aktiv för att utveckla visioner och strategier för Europas framtid. Ett policyprogram "Vägen till det digitala decenniet" ska säkerställa en ökad användning av digitala tjänster och därmed datacenter med stöd av Green deal-initiativet. Det finns tre nya initiativ om energieffektivitet, energieffektivitetsdirektivet (EED) uppdaterat med datacenter, direktivet för företagens hållbarhetsrapportering (CSRD) och EU-taxonomin för miljömässigt hållbar ekonomisk verksamhet, som också påverkar datacenterindustrin med ökad transparens av mätvärden från datacentren. En stödjande aktivitet är EU:s uppförandekod som kan hjälpa datacenteroperatörer att utvärdera och förbättra sin verksamhet. Andra initiativ pågår också som den klimatneutrala datacenterpakten, IMasons Climate Accord och Sustainable Digital Infrastructure Alliance.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	1
Ordlista.....	5
Introduktion.....	6
Elanvändningen i datacenter är missförstådd	6
Hur datacenter fungerar egentligen och stödjer samhället	7
Faktakontroll av rapporterad energianvändning.....	7
Hållbarhet inom datacenter.....	8
Studiens omfattning	9
Grunderna i datacenter	10
Datacenterkategorier och -egenskaper	11
Metod för bedömning av energianvändningen för datacenter i Sverige	14
Bedömning av nuvarande status för datacenter i Sverige	17
Utvecklingen av datacentermarknaden i Sverige år 2020–2022.....	17
Utvecklingen av datacentrens energianvändning i Sverige år 2020–2022.....	18
Utvecklingen av energianvändning i datacenter i framtiden	22
Utveckling och drivkrafter av den globala datacenterindustrin bortom år 2022.....	22
Datacentrens energianvändning för strömmande video	24
Bedömning av framtiden för datacenter i Sverige	26
Utveckling av datacenterindustrin i Sverige bortom år 2022.....	26
Utveckling av energianvändningen i datacenter i Sverige bortom år 2022	28
Integration med elnätet.....	29
Peak shaving	30
Energiarbitrage	31
Stödtjänster för elnätet	31
Datacentrets potential och framtida tjänster.....	32
Industriell symbios baserat på överskottsvärme.....	33
Miljöpåverkan – Hållbarhet är mer än energieffektivitet.....	35
Livscykelanalys av datacenters miljöpåverkan	35
Datacenters totala miljöpåverkan	37

Key Performance Indicators för datacenters miljöpåverkan.....	38
Teknikutveckling för framtidens datacenter	39
Effekttäthet i datacenter	39
Luftkylning i datacenter	40
Vätskekylning i datacenter.....	41
Utveckling av edge-datacenter och andra teknologier	42
Innovationer i den svenska datacenterindustrin	43
EU:s vision av det digitala årtiondet	44
EU:s Energieffektivitetsdirektiv och EU Code of conduct	45
Ytterligare hållbarhetsinitiativ	47
Framtida arbete	48
Slutsatser	48
Referenser.....	50
Teamet på RISE	54

Ordlista

ASIC	Applikationsspecifik integrerad krets
CAGR	Summerad årlig tillväxttakt, Compound Annual Growth Rate
CDN	Medialeveransnätverk, Content Deliver Network
CMOS	CMOS integrerad krets, Complementary Metal Oxide Semiconductor
CO ₂ e	Koldioxidekvivalent
CPU	Centralprocessor, Central Processing unit
GHG	Växthusgas
GPU	Grafikprocessor, Graphical Processing Unit
HPC	Superdator, High-performance computing
IEA	Internationella Energimyndigheten
IKT	Information- och kommunikationsteknik
LCA	Livscykelanalys, Life Cycle Assessment
ML	Maskininlärning
PUE	Power Usage Effectiveness, total energi delat med IT-energin
SLA	Tjänstenivåavtal, Service Level Agreement
UPS	Avbrottsfri strömförsörjning, Uninterruptible Power Supply
XPU	X= Accelererad, Ett exempel är TPU Tensorflowprocessor

Introduktion

Energimyndigheten har under ramavtalet, "Ramavtal angående Konsultstöd gällande Energikonsulter för Energimyndigheten Dnr 2022-9156, upphandlat RISE att skriva en rapport för att skapa en grund för kontinuerlig uppföljning av utvecklingen av energianvändningen för digital infrastruktur och digitala system, i synnerhet datacenter samt dess inverkan på energisystemet.

Innehållet i denna rapport kommer att användas för intern kompetensutvecklingen samt utgöra underlag för en rapport till regeringen från Energimyndigheten (Energimyndigheten, 2022)). Målet för Energimyndigheten är att få förslag på metoder för att kunna följa och utvärdera nuläget för energianvändningen i datacenter. Målet är också att öka kunskapen om olika teknologier och initiativ från EU som kommer att påverka utvecklingen av energianvändningen inom sektorn. Det finns också ett intresse för hur datacenter kan interageras med energisystemet.

Elanvändningen i datacenter är missförstådd

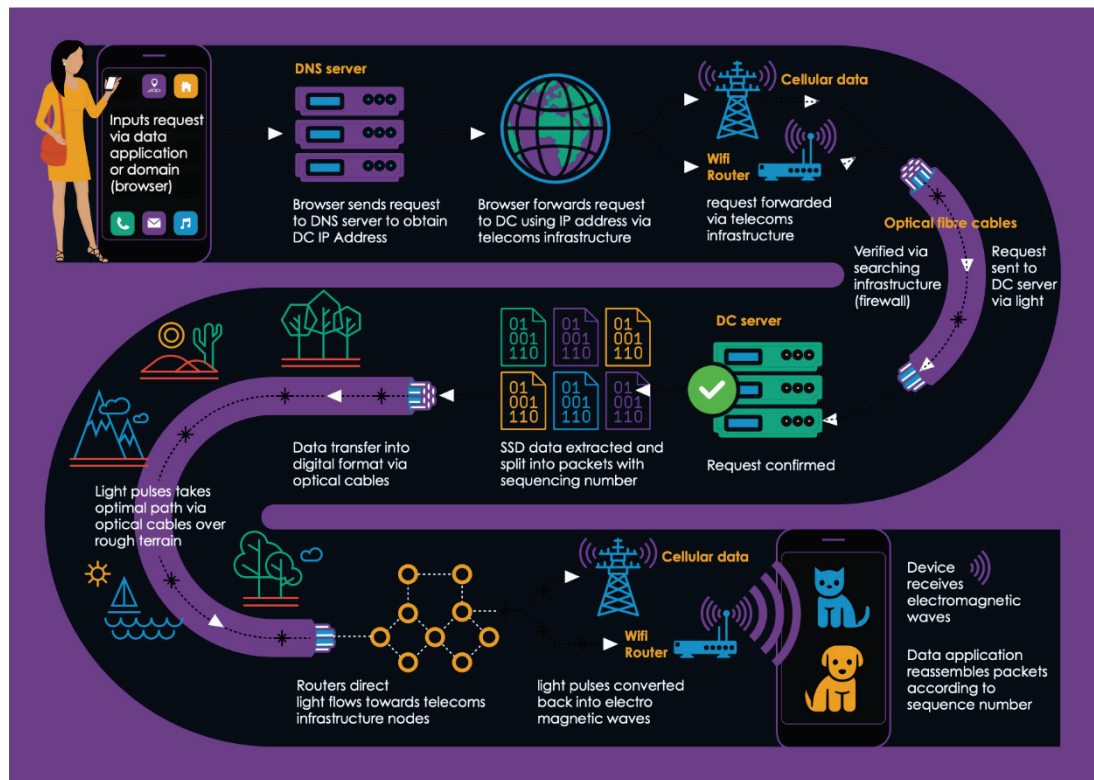
På senare tid har användningen av el i datacenter uppmärksammats. Sambandet mellan energianvändning i datacenter och det vardagliga livet är inte tydlig för allmänheten. Det är inte välkänt att datacentren i sig inte använder det mesta av energin, utan det är alla digitala tjänster vi använder och är beroende av i det dagliga livet som är orsaken till digital bearbetning i datacenter.

En rapport säger att vi besöker minst 40 datacenter per dag och "En dag i vårt liv" beskrivs i rapporten (Fryer, 2022). Det hela börjar redan på morgonen med att vår väckarklocka i telefonen skapar en bock i rutan på telefontjänstens datacenter. Alla aspekter av vårt liv skulle inte fungera utan datacenter; som att betala tunnelbanan, strömma en video, värma huset, fylla på bensin i bilen, delta i ett videosamtal, redigera ett dokument, skicka en tweet eller någon aktivitet som använder digitala tjänster. En timmes stopp av alla datacenter skulle skapa kaos och hamna i högsta varning för alla kritiska sektorer på MSB.

Ett annat ämne relaterat till datacenter som har uppmärksammats är skattesänkningarna för datacenter större än 100 kW. Riksrevisionen har gjort en granskning och skrivit en rapport om regeringens arbete med att stimulera investeringar i datacenter. Den innehåller slutsatser och rekommendationer till regeringen (Riksrevisionen, 2022). Bedömningen i granskningen var att regeringen inte säkerställt att betydande effekter av de statliga insatserna för att stimulera investeringar i datacenter har beaktats så att insatserna blir effektiva med hänsyn till näringspolitiska och energipolitiska mål.

Hur datacenter fungerar egentligen och stödjer samhället

En bra illustration hur internet fungerar visas i Figur 1 från TechUK nedan.



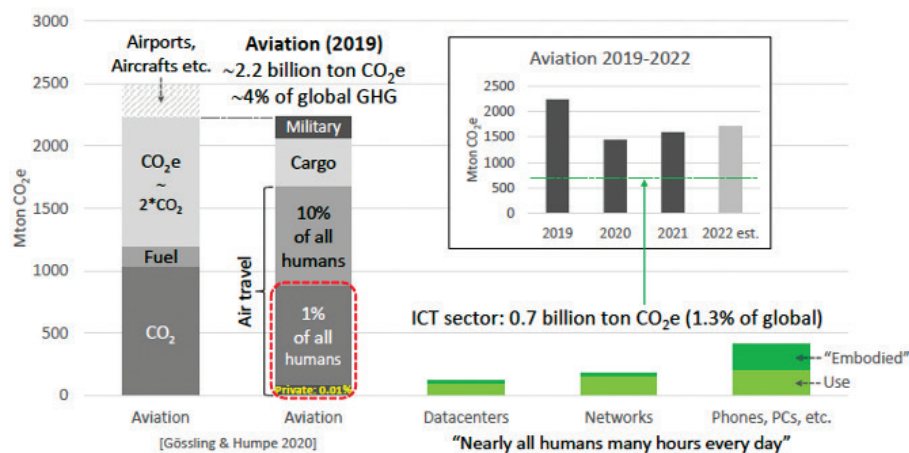
Figur 1: Hur internet fungerar (TechUK).

Vår användning av digitala tjänster, i början av infografiken, startar upp användningen av telekommunikationens mobil- och kärnfibernet och informationen skickas över till datacentret. Datacentret bearbetar sedan tjänsten i servrar (datorer) som finns i anläggningen. Resultatet skickas sedan tillbaka över kommunikationsnätverken till användarens enhet. Alla delar i kedjan från enhet till datacenter använder en liten mängd energi för att skapa värde för användaren. Utan all denna infrastruktur skulle apparna i vår telefon, webbsurfandet, strömmandet av TV, industriautomatiseringen, kontorsarbetet eller den gröna omvandlingen inte fungera.

Den andra sidan av energianvändningen i datacenter är att användningen av informations- och kommunikationsteknik (IKT) kommer att drastiskt minska energianvändningen i andra sektorer. Rapporten Smarter2030 (Global e-sustainability Initiative, 2015) visar ungefär 9,7 gånger besparingar om digitalisering används inom andra industrisektorer. Vi har alla upplevt det under pandemin när flygresor byttes ut mot videokonferenser. Minskningen av miljöpåverkan från pandemin inom flygindustrin var märkbar, se Figur 2 nedan som jämför flygindustrin och IKT-sektorn.

Faktakontroll av rapporterad energianvändning

Energianvändningen inom datacentersektorn har också jämförts med flygindustrin. Det har kontrollerats och visar att den totala IKT-sektorn ligger på 0,7 miljarder ton CO₂e, vilket är 1,3 % av den globala koldioxidpåverkan och hälften av flygindustrin på 1,5–2,2 miljarder ton CO₂e. Datacenter utgör mindre än 20 % av den totala IKT-sektorn. Det betyder att datacenterindustrin är cirka 10 % av flygindustrin. Viktigt att notera här är också att flyget stöder endast 1 % av alla människor, medan datacenter är till för nästan alla människor på jorden under många timmar om dagen (Malmodin, 2022).



Figur 2: Jämförelse av flyg och IKT-industriernas miljöpåverkan (Malmodin, 2022).

Naturligtvis kan värdet av ett fåtal digitala tjänster ifrågasättas och har ifrågasatts till exempel värdet av att lagra katt-bilder, spela spel, pornografiskt material och kryptovalutautvinning baserat på "proof-of-work".

Om man tittar på den nuvarande energianvändningen, som kommer att beskrivas senare, har tillväxten av energianvändningen i datacenter globalt sett inte varit i närheten av tillväxten av internettrafik, en ökning med 440 % mellan 2015 och 2021, eller datacenters beräkningslast, en ökning med 260 % mellan 2015 och 2021 (IEA, 2022). Datacenters energianvändning har bara ökat med 10–60 % (eller CAGR 1,5–8 %) på 6 år tack vare innovation och utveckling inom resursdelning (moln), resurseffektivitet (mjukvara och anläggningar) och serverhårdvarueffektivitet (Moore's lag). Dessutom är datacenter och överföringsnät ansvariga för endast 1 % av de energirelaterade växthusgasutsläppen enligt IEA och 1–2 % vardera av den globala elenergianvändningen (IEA, 2022) (Hintemann, 2020).

Hållbarhet inom datacenter

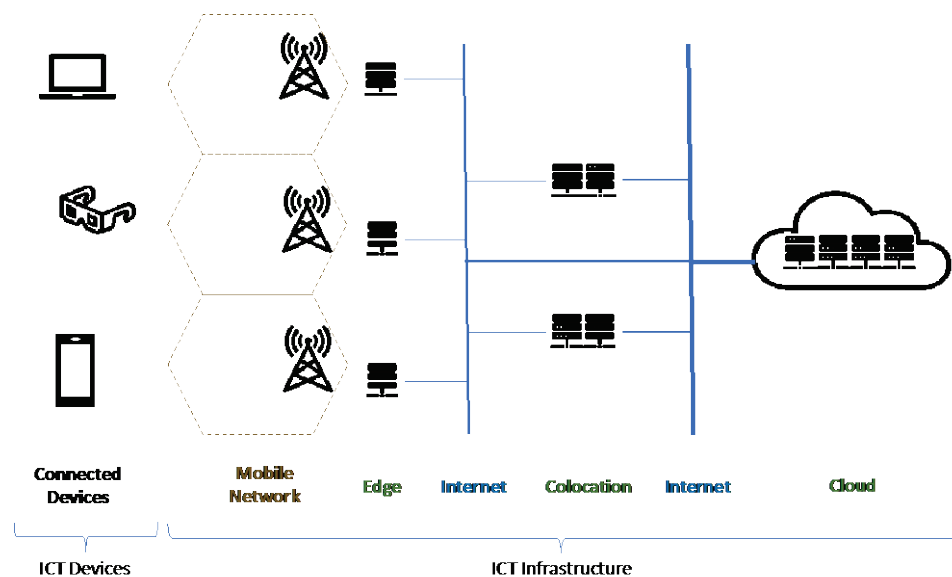
Det finns också mer som hör till hållbarhet för datacenter än energianvändning. Miljöpåverkan från datacenter är hög om elen som används produceras av fossilt bränsle.

Sverige kan tillsammans med Norge erbjuda el med låg miljöpåverkan som skulle kunna hjälpa övriga Europa att driva datacenter, det vill säga skapa värde i landet i stället för att exportera el som råvara. Övriga effekter kommer från material som används i datacenter till exempel koppar, guld och silver i servrar och stål och betong i byggnaden samt från transport av varor och människor.

Naturvårdsverket har bett forskare vid KTH att studera frågan närmare. I rapporten Digitalisering och miljömålen (Francart & Höjer, 2019) är slutsatsen att informations- och kommunikationsteknik kan ha en mycket positiv effekt på miljömålen eller en negativ effekt. Det beror alltså på från vilken synvinkel det studeras.

Studiens omfattning

Rapporten kommer att behandla datacenterinfrastruktur. Datacenter är en av tre huvuddelarna av den digitala infrastrukturen. Ett annat namn är IKT-infrastrukturen (Informations- och kommunikationsteknik). De andra två huvuddelarna är Internets kärnnät och mobilnätet. Den totala IKT-branschen inkluderar även den största delen av enheter som mobiltelefoner, bärbara datorer, IoT-enheter etc. som är kopplade till nätverk samt all mjukvara som körs i både enheter och infrastruktur.



Figur 3: IKT Infrastrukturen (enbart mobilt nätverk).

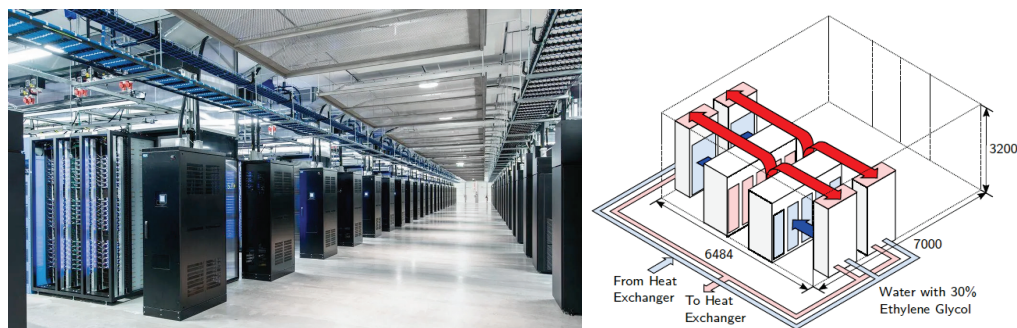
Figur 3 ovan beskriver de olika delarna av IKT-infrastrukturen. Bilden visar bara mobilnätet den sista kilometern som ansluter till enheterna. Den kan bytas ut med fibernät till bostäder och kontor. Infrastrukturen i brunt är access-nätverket, den blå delen är Internets kärnnät och den gröna delen är datacenterinfrastrukturen. Alla delar av infrastrukturen är anslutna

till Internets kärnnätverk som arbetar med olika hastigheter och kapacitet, exemplifierat med tunnare eller fetare anslutningslinjer. Datacenterinfrastrukturen exemplifieras i denna figur med edge-noder, colocationdatacenter och molndatacenter.

Utvinningsanläggningar för kryptovaluta som är en typ av specifika datacenter omfattas inte av denna rapport men kommer att omnämnas vid behov. Alla uppskattningar av energianvändning exkluderar utvinning av kryptovaluta förutom när det specifikt nämns. Energianvändning för utvinning av kryptovaluta tas upp i en separat rapport (RISE, 2022).

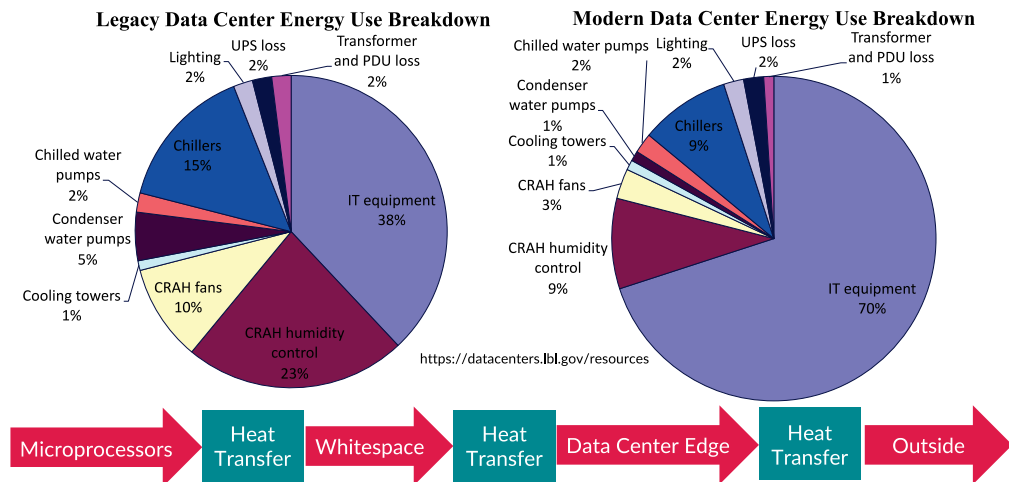
Grunderna i datacenter

Ett datacenter är en verksamhetskritisk anläggning som innehåller IT-servrar (datorer) i skåp (rack) och utrustning som stödjer IT-driften, se Figur 4 nedan. Anläggningen kan vara en separat byggnad, integrerad som en del (rum) av en annan byggnad eller inomhus/utomhus containrar eller skåp. Den del av anläggningen som består av serverna kallas "white space" och delen med stödjande utrustning kallas "grey space". Serverna i racken är till för beräkning, lagring och kommunikation. Den vanliga effekttätheten är under 10 kW per rack. Stödutrustningen är för kraftdistribution och avbrottsfri kraft, kylning av servrar med luft, vatten eller olja, sensorer och mätare för övervakning av anläggningen samt brandskydd och mekanisk kanalisering för luft och rörsystem för vätskor.



Figur 4: Datacenters "white space" med servrar och luftflöden.

I ett effektivt datacenter används det mesta av energin till serverna (70–80%) och resten av energin går förlorad i den stödjande driften. All energi omvandlas till överskottsvärme som kan användas av anläggningen eller i andra uppvärmningstillämpningar så som fjärrvärme eller industriell symbios med till exempel ett växthus.



Figur 5: Fördelning över ett datacenters energianvändning. (Center of Expertise for energy efficient in data centers, 2022)

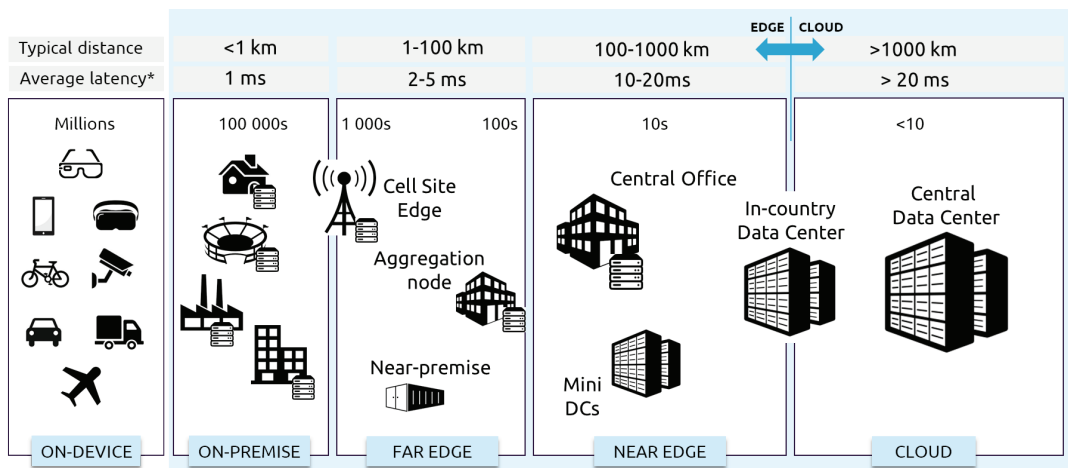
I Figur 5 ovan jämförs ett gammeldags datacenter eller serverrum med ett modernt effektivt datacenter. Nedanför cirkeldiagrammen beskrivs en värmeflödeskedja. Elen som distribueras till mikroprocessorerna och annan elektronik på servrarna blir till värme när bearbetningen är klar. Värmen överförs sedan från mikroprocessorerna till "white space" (rummet) genom luft eller vätska. Från rummet överförs värmen till anläggningens vägg eller tak och sedan överförs den till utomhusluften eller vattnet.

I ett äldre datacenter används det mesta av energin av anläggningens fläktar, kompressorer, pumpar och befuktning. Det kan vara så mycket som eller mer än 50–60%. Ett vanligt nyckeltal som används i branschen som mäter anläggningens effektivitet är PUE-måttet (ISO/IEC, 2016). PUE står för "Power Usage Effectiveness" och är inte ett effektivitetsmått. Det kommer endast att mäta hur effektiv anläggningsdelen är och inte hur effektivt IT används. Kortfattat mäter PUE total energiförbrukning dividerad med IT-energi som används under ett år. För ett äldre datacenter kommer PUE att vara kring 1,8–2,5 eller mer. För ett modernt datacenter går den mesta energin till IT-utrustningen. Ett PUE för en mycket effektiv anläggning är 1,1–1,3.

Datacenterkategorier och -egenskaper

Figur 6 nedan från EU-taxonomin visar olika delar av datacenterinfrastrukturen. Denna rapport kommer inte att täcka slutanvändarutrustning som smarttelefoner, kameror, bärbara datorer som ses till vänster i figuren. Den kommer varken att täcka stamnätverket som ansluter alla datacenterinfrastrukturer bakom kulisserna eller det mobila nätverket som ansluter trådlösa enheter till datacenter. Datacentret är den minsta delen med

avseende på energianvändning och CO₂e-påverkan jämfört med slutanvändarenheter och nätverk. (Malmodin, 2022)



Figur 6: Datacenterinfrastruktur för moln till edge (European Cloud Edge Investment, 2021).

Figur 6 introducerar också de två termerna edge och moln. Molndatacenter är centrala datacenter av stor storlek längre bort från slutanvändaren, som agerar värd för många av de offentliga digitala tjänsterna så som Facebook, Office 365, Twitter, Spotify och så vidare. Eller privata företags/organisationers digitala tjänster som SAP, Sharepoint, CRM etc. Edge-datacenter är mindre datacenter på plats på företagens egendom (on-premise) (interna i organisationer för databehandling) eller i publika nätverk, såsom "far edge" (i mobila nätverk för reglering och ML-inferens) och "near edge" (vid eller nära Internets anslutningspunkter för CDN) även kallad "metro edge" eftersom de mestadels finns i större städer (The Linux Foundation, 2021).

Datacentren är också möjliga att karaktärisera efter storlek (Wallin, Werner, & Olofsson, 2020). Små datacenter är klassade som mindre än 300 kW och är mestadels on-premise (egna internt företag eller statliga organisationer) eller "far edge" små datacenter noder (nätverks-edge). Medelstora datacenter är klassade mellan 0,3–1 MW och är oftast "near edge" minidatacenter (tjänsteleverantörer/integratörer), central-office datacenter (nätverksoperatörer) eller "in-country" datacenter (mindre colocation eller "metro edge" med CDN, dvs videoströmning). Stora datacenter är klassade mellan 1–10 MW och är större in-country datacenter eller mindre molndatacenter (colocation/moln). Hyperstora datacenter är klassade över 10 MW och är stora globala in-country datacenter (colocation) eller stora globala hyper-scale datacenter (moln).

Tabell 1: Storlek kontra datacentertyp.

Radar categories	Own Internal		Service provider/Integrator			Commercial		Hyperscale	
EU taxonomy	On-premise		Far edge	Mini Data Center	Central Office	In-country	Large global in country	Large global hyperscale	
RISE examples	Internal enterprise	Internal Government	Network operator	Service provider	Network operator	Colocation/ Metro edge		Cloud	Crypto currency mining
Radar sizes									
Small <300kW	Scania, LKAB	Customs and Tax agency	Telia, Stokab & Boliden						
Medium 0,3-1 MW		KTH-PDC, Social welfare		Atea, Bahnhof, CityNetwork	Telia, Tele2, Sunet	atNorth, Glesys, Acon, TietoEvry			
Large 1-10 MW	Ericsson					Stack, NData, Conapto			Enerhash, Bolooba, BBOperating
Hyper >10MW						EcoDC, Digital Realty	Facebook, AWS, Microsoft		Adaptic, HIVE, Barrage

Den senaste Radar-rapporten klassificerar datacentren i egna interna, tjänsteleverantörer/integratörer (SP/SI), kommersiella och hyperskala datacenter. Tabell 1 ovan kombinerar EU:s taxonomi och Radars typkategoridefinition. Det finns ingen en-till-en-mappning mellan storlek och användningsfall även om globala och hyperstora datacenter tenderar att vara stora till hyperstora och egna interna "on-premise" tenderar att vara små till medelstora.

RISE har lagt till exempelkategorier och exempel på datacenteroperatörer för varje kategori i Tabell 1. Exempel på interna företags små datacenter är Scania eller LKAB, statliga myndigheter är Skatteverket eller Tullverket och nätverks-edge är noder i 5G-nätet av Telia, i Stokab-nätet eller i Bolidens gruvnät. Exempel på medelstora tjänsteleverantörer av datacenter är Atea, CityNetworks eller Bahnhof, nätoperatörer är Telia eller Tele2 och mindre colocation Atnorth, Glesys eller Acon. Exempel på stora colocationdatacenter är Stack, Conapto eller Hydro66. Ericsson är en avvikare med två stora interna datacenter i Sverige. Exempel på hyperstora datacenter är Facebook, Amazon, Microsoft, Equinix och Digital Realty.

RISE har också lagt till en typkategori för utvinning av kryptovaluta. Exempel på utvinningsbolag är Enerhash, Bolooba och BBOperating under 10 MW och Adaptic, HIVE och Barrage över 10 MW storlek. De omfattas inte av denna rapport och deras energianvändning ingår inte i uppskattningarna. En separat rapport täcker utvinning av kryptovaluta (RISE, 2022).

Det finns flera olika applikationer som körs inuti datacenter med olika egenskaper. Användningsfallen ställer krav på hur applikationerna ska köras. Vissa användningsfall kräver låg latens, andra stor lagringskapacitet och andra kan köras distribuerat. Drift med

låg latens av applikationer såsom regleringsloopar kräver att datacentret är geografiskt placerat i närheten av användningen (millisekunder bort), streamingtjänster körs vanligtvis distribuerade där den stora lagringen av media görs i ett centralt placerat datacenter (långt bort) och de lokala och ofta använda medierna finns tillsammans med streamingserverna i närheten av användarna i så kallade metrodatacenter. HPC och långtidslagrings-applikationer har inga latenskrav och kan placeras långt bort på energieffektiva och hållbara platser.

Tabell 2 nedan visar olika typer av applikationer och deras specifika egenskaper. Applikationer överst i tabellen fungerar bra för användare som är anslutna till fjärrdatacenter (högre latens) och applikationer längst ner kräver låg latensanslutningar från närliggande datacenter. De flesta applikationer kan implementeras ovanpå virtualiserings-plattformar med fördelen av effektivare hårdvaruanvändning. Offentliga och privata moln är baserade på energieffektiva virtuella maskiner eller containerprogramvara som kommer att minska energianvändningen.

Tabell 2: Applikationer och deras egenskaper.

Type	Response times	Data amount	Traffic amount	Cache	DC location
Cold storage	seconds	Gigabytes	Mb/s		remote
Off-line big data crunching	seconds	Gigabytes	Gb/s		remote
Chat/IoT type communication	100th milliseconds	kilobytes	kb/s		remote
Web/app rendering	100th milliseconds	Megabytes	Mb/s	Yes	remote
Streaming	10th milliseconds	Gigabytes	Mb/s	Yes	mix
Real-time conferencing	10th milliseconds	Megabytes	Mb/s	Yes	mix
Real-time analytics	milliseconds	Megabytes	Gb/s		proximity
Transaction based/control loops	milliseconds	kilobytes	kb/s		proximity

Datatillväxten till följd av digitaliseringen är nödvändig och användbar eftersom den ligger till grund för en stor BNP-tillväxt (Sundström, 2016). IKT hjälper till att lösa utmaningarna inom urbanisering, effektivitet i samhället och industrier, stödja utvecklingen i fattiga regioner och med en åldrande befolkning som alla behöver lösningar för att göra vardagen bättre.

Metod för bedömning av energianvändningen för datacenter i Sverige

Finansinspektionen har gjort en analys över olika metoder som kan användas för att bedöma energiförbrukningen för utvinning av kryptotillgångar i Sverige (Malmén, 2022). En del av dessa metoder kan användas för att kartlägga energiförbrukningen för vanliga datacenter i Sverige. Rapporten innehåller 9 olika metoder, varav 7 kan användas för datacenter i allmänhet, (inte metod 3 och 8).

Tabell 3: Metoder för bedömning av energiåtgången för utvinning av kryptovaluta i Sverige (Malmén, 2022)

Nr	Metodnamn	Beskrivning
1	Ökade transparenskrav i eldistributionsledet	När elbolagen säljer el till datacenter skulle det kunna införas ytterligare transparenskrav på vilken typ av verksamhet i datacentren som kommer bedrivs. En uppdelning i olika kategorier, inte enbart för att analysera kryptominning. Exempelvis rapportering på el använd för transmission, belysning, serverdrift, kylning och övrigt. Men även vilken verksamhet, dvs syftet med servermiljöerna i kategorier som datalagring, beräkningar, applikationsservers, kryptominning.
2	Ökade transparenskrav för datacenter	När datacenter levererar el till sina kunder i centret skall de ha krav på sig att kunna redovisa vilken typ av verksamhet deras kunder bedriver i datacentren.
3	Cambridge University (CU) - Elanvändning och geografisk distribution	Att med hjälp av den analys som CU sammanställer beräkna den svenska totala elanvändningen, och eventuellt regional uppdelning. Cambridge beräknar 1) total energianvändning för bitcoin, 2) i vilket land som elen används för mining samt 3) vilka utsläpp som verksamheten sannolikt omfattar. Genom att kombinera 1) och 2) går det beräkna den svenska elanvändningen per månad. I den geografiska estimeringen (2) kan en högre upplösning än enbart land erhållas i teorin (regionnivå). Dessa datapunkter delas i nuläget dock bara mellan en mining-pool och Cambridge, resterande tre mining-pooler rapporterar endast på landsupplösning.
4	Nätverksanalys	Genom att analysera den svenska internettrafiken kan mining-aktörer potentiellt lokaliseras. Förutsatt de inte nyttjar VPN-metoder. Genom att dessutom analysera den trafik som skickas till mining-pooler skulle teoretiskt även omfattningen på hashrate kunna bedömas. Och därmed en teoretisk estimering av elanvändningen (dock inte nämnvärt tillförlitligt)
5	Enkät till kända datacenter	Genom att fråga datacenteraktörer vilken verksamhet som bedrivs och hur elanvändning ser ut per delområde kan en estimering av krypto-miningen ske
6	Skatteverket – momsredovisning	Miners gör momsavdrag på mining-utrustning. Kan nyttjas för att mäta omfattningen och följa trender
7	Skatteverket – elsubventionen	Miners begär från SKV tillbaka moms på el de betalat (under ev avveckling).
8	Tullverket – import av utrustning	Import av ASIC-datorer. Potentiellt har Tullverket information om vilken typ av datorutrustning som importerats till Sverige.
9	Okulär analys i datacenter	Utrustningen som används för bitcoin-mining går att okulärt identifiera. Genom modellen går det även att beräkna estimerad elanvändning

RISE bedömer att metod 1 i kombination med metod 2 utgör den mest tillförlitliga och långsiktiga metoden för att mäta elanvändning från datacenter i Sverige. Den kommer dock inte att vara användbar som metod för denna rapport eftersom metoden kräver vissa

lagändringar och en lång period av datainsamling. Många av de föreslagna metoderna kräver långa perioder av datainsamling, såsom metod 4, 5, 6 och 9. Dessutom är metod 3 och 8 fokuserade på kryptovalutautvinning. Metod 7 kan vara snabb, men det är inte garanterat att den rapporterar alla datacenter eller utvinning av kryptovaluta, eftersom inte alla gör anspråk på skattedeklaration. Det kan också vara svårt att skilja utvinning av kryptovaluta från andra verksamheter i datacentren. Metod 7 kommer inte heller att vara ett alternativ för framtiden eftersom skattereduktionen försvinner.

För att öka tillförlitligheten i den insamlade data har RISE kombinerat flera metoder och gjort en uppskattning av energianvändningen. För denna studie med en kort tidsram på tre veckor användes följande kombination av metoder:

- En litteraturstudie genomfördes för att identifiera vilka som borde intervjuas så väl som trender, möjliggörare och fördelar.
- Statistiska data och kvantitativa data samlades in baserat på en rad datakällor
- Semi-strukturerade intervjuer användes för att diskutera en lista på frågor med intressenter.



Figur 7: Metoderna för bedömning av energiåtgången i datacenter i Sverige var statistikdata (grön), litteraturstudie (blå) och intervjuer (gul). All indata har analyserats och används för att kvantifiera den totala energiåtgången (molnet).

Datacenterindustrin utvecklas snabbt, därför behövs flexibilitet i teknikerna för att beskriva, analysera och förutse dess utveckling. Därför innehåller metodverktygslådan ett brett utbud av tekniker, men förblir också flexibel för att kunna byta till olika tillvägagångssätt för att lösa problem.

För att säkerställa tillförlitliga och korrekta information har RISE samlat in data från flera datakällor. RISE har samlat in kvalitativ och kvantitativ information om marknadsutvecklingen från både svenska och internationella företag. Trots denna bredd av metoder kan det fortfarande vara svårt att kartlägga energianvändningen i småskaliga datacenter.

Främst för att de småskaliga datacentren är placerade i byggnader med annat huvudsyfte och kan vara okända för allmänheten, liksom att de kanske inte har ansökt om skattereduktion.

Att samla in information från företag, särskilt kommersiellt känslig information, kan vara en utmaning då företagen kan vara ovilliga att dela information, särskilt om det är osäkert vem som kommer att få tillgång till dessa uppgifter. För att kringgå detta har RISE sett till att alla deltagare är medvetna om syftet med datainsamlingen och tydligt kommunicerat processen. Känsliga uppgifter har anonymiserats och presenteras endast i aggregerad form. Exempel på frågor till intervjupersonerna var om Radarrapporten var tillförlitlig, hur utvecklingen av energianvändningen ser ut och hur utvecklingen i Sverige har varit, kommer att vara och om den kommer att likna utvecklingen i resten av Europa.

För att göra en bedömning av energianvändningen för datacenter i Sverige använde RISE den valda kombinationen av metoder som beskrivs ovan. Rapporten "Datacenter i Sverige 2020–2025", av Radar Ecosystem Specialists (Wallin, Werner, & Olofsson, 2020) användes som utgångspunkt. Det är den senaste och mest pålitliga källan för Sverige enligt alla intervjupersoner. RISE jämförde det sedan med globala rapporter och intervjuer, bedömde förändringarna i tillväxttakten för energianvändningen för perioderna 2020–2022, 2023–2025 och fram till år 2030 och beräknade sedan energianvändningen med hjälp av tillväxttakten. Intervjuerna har gjorts med Branschföreningen Svensk Datacenter, Business Sweden, Vattenfall, Nodepole, Finansinspektionen och Skatteverket.

Bedömning av nuvarande status för datacenter i Sverige

Sverige har goda förutsättningar att stimulera och attrahera investeringar i datacenter, från både svenska och internationella aktörer. Exempel på fördelar är ett svalt klimat, en väl utbyggd bredbandsinfrastruktur, en pålitlig elförsörjning med relativt låga elpriser och ett stabilt politiskt klimat (Wallin, Werner, & Olofsson, 2020).

Utvecklingen av datacentermarknaden i Sverige år 2020–2022

Till att börja med visar Radar-rapporten från 2020 antalet datacenter jämfört med en rapport från Boston Consulting Group (BCG) 2016 (Warrenstein, Lind, Sundström, & Deutscher, 2016) se Figur 8 nedan. Trenden med minskat antal mindre datacenter (<0,3 MW), mestadels lokala serverrum, stöds av andra rapporter (Kamiya, 2021) (Masanet, Shehabi, Lei, Smith, & Koomey, 2020). Antalet Hyperstora datacenter (>10 MW) är 8 enligt rapporten och det är troligen två Meta i Luleå, tre AWS i och runt Eskilstuna, en Equinix och en Digital Realty i Stockholm och en EcoDC i Falun.

RISE bedömer att AWS och EcoDC inte utnyttjades fullt ut under 2020 baserat på information från Business Sweden och Branschföreningen för Datacenter. Sedan dess har

antalet Hyperstora anläggningar ökat med tre Microsoft-datacenter i Gävle/Sandviken till 11 totalt. RISE bedömer situationen nu två år senare att antalet mindre datacenter har fortsatt att minska, till exempel har alla kommuner i Norrbotten gått samman i ett datacenter, vilket rapporterats i globala/europeiska rapporter. Stora (1–10 MW) har ökat något sedan några Medelstora (0,3–1 MW) har vuxit och nu räknas som Stora. Sen är AWS såväl som EcoDC mer utnyttjade nu 2022 medan de nya Microsofts datacenter inte är fullt utnyttjade ännu enligt Business Sweden och Branschföreningen för Datacenter.

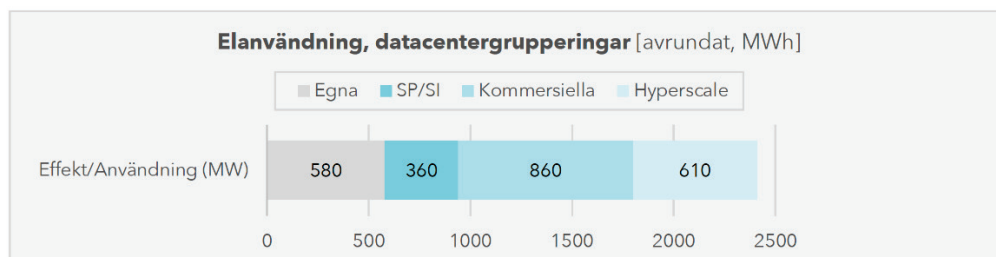
Antal datacenter Sverige	Små <0,3MW	Medel 0,3–1,0 MW	Stora 1–10 MW	Hyper >10 MW
Radarrapporterad data 2020	2100	125	42	8
Av BCG angivna data	3000	110–120	20–30	5

Figur 8: Antalet datacenter av olika storlek i Sverige (Wallin, Werner, & Olofsson, 2020).

Utvecklingen av datacentrens energianvändning i Sverige år 2020–2022

Därefter kommer energianvändningen och för detta uppskattar Radarrapporten den nuvarande totala energianvändningen 2020 till 2,4 TWh per år med en medeleffekt på 276 MW, se Figur 9 nedan. Notera att fel enheter används i figur 9. Det skall vara GWh istället för MWh i rubriken på figuren och MW i tabellen. Märkbart är att endast fem hyper-scalers (3 AWS och 2 Meta) räknas i storlekskategorin Hyper. De övriga tre i storlekskategorin Hyper-size verkar räknas in i typkategorin Kommersiell energianvändning. RISE bedömer att denna totalsumma för energianvändning är den bästa uppskattningen man känner till eftersom analysen av Radar av totalt antal datacenter och andelarna av små, medelstora, stora och hyperstora verkar välbalanserad och rimlig.

Radarrapporten har inte gjort någon skillnad mellan olika användningsfall. Så inkluderat i siffrorna är energianvändningen från utvinning av kryptovaluta. Baserat på Cambridge Bitcoin-data för åren 2019 och 2020 på 0,025 TWh (Cambridge Centre for Alternative Finance, 2022) och Nodepole-intervjun (Wikman, 2022) visade sig storleken vara så liten, uppskattad till cirka 0,04 TWh per år totalt, att det inte påverkade den beräknade prognosen för 2020 och framåt. I den här rapporten har vi uteslutit energianvändning för kryptogruvor på grund av behovet att studera den separat och det tas upp i en separat rapport (RISE, 2022).



Figur 9: Energianvändning per datacentertypkategori i Sverige (Wallin, Werner, & Olofsson, 2020).

För att hjälpa till att förutsäga den framtida energianvändningen har Radarrapporten uppskattat tillväxttakten i MW, se Figur 10 nedan. Den genomsnittliga årliga tillväxttakten uppskattas till 13 %, med en minskning för typen Egna datacenter, en liten årlig tillväxt på 2,7 % för typen Tjänsteleverantörers datacenter, en medelhög årlig tillväxt på 8 % för typen Kommersiella datacenter och en stor årlig tillväxt på 41 % för typen Hyperskala datacenter.

	Inst. Effekt 2020	inst. Effekt 2025	Tillväxt	CAGR	
	Egna datacenter	275	274	-0,5%	0,0%
Datacenter-industrin	Hyperscale DC	99	551	460%	41%
	Kommersiella DC	181	262	45%	8%
	SP/SI DC	88	101	14%	2,7%
	Total	643	1188	85%	13%

DC-industrin +148% (5 år) +19,9% årligen

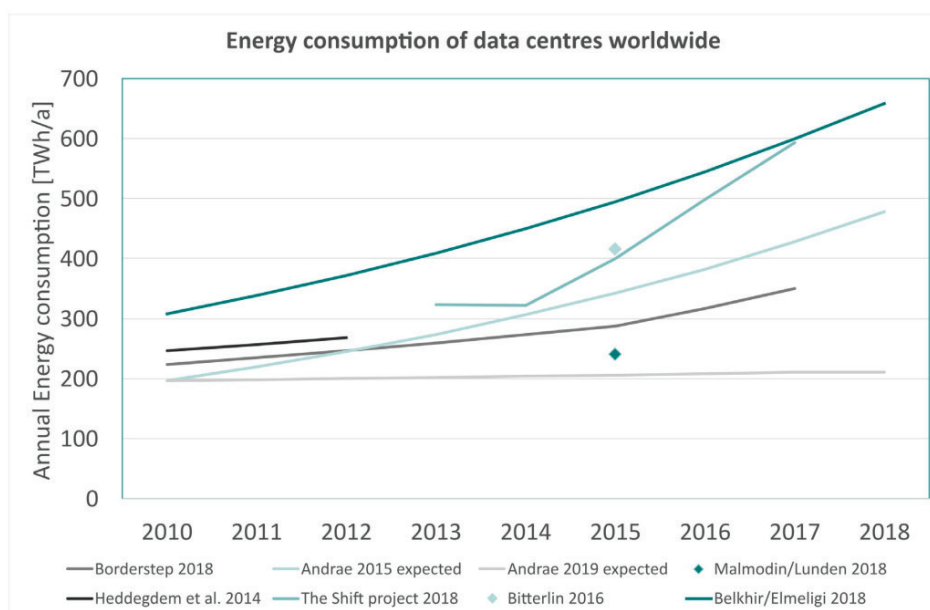
Figur 10: Installerad effekt i MW och tillväxttakt per datacentertypkategori (Wallin, Werner, & Olofsson, 2020).

Radarrapporten beskriver även utnyttjandegrad per typkategori i Figur 11 nedan. Det genomsnittliga utnyttjandet är 43 % för alla datacenter. För typkategorin Egna datacenter är utnyttjandet 24%, för Hyperskala 71%, för Kommersiella 59% (enligt bilden i rapporten) och för Tjänsteleverantörers-kategorin 47%. Om man jämför medeleffekten med installerad effekt för typen Kommersiella datacenter är den korrekta utnyttjandegraden 54 %, vilket har använts för beräkningarna i denna rapport.

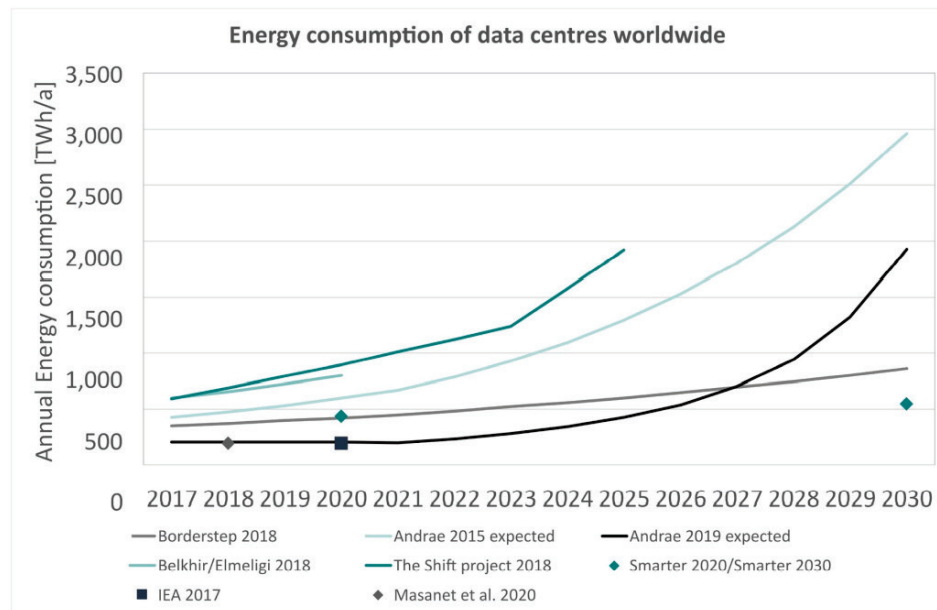
	Inst. Effekt 2020	Medeleffekt	Utnyttjandegrad
Egen	275	66	24 %
Hyperscale	99	70	71 %
Kommersiella	181	98	59 %
SP/SI	88	41	47 %
	643	276	43 %

Figur 11: Effekt i MW och utnyttjandegrad per datacentertypkategori (Wallin, Werner, & Olofsson, 2020).

Jämfört med globala siffror rapporterar International Energy Agency (IEA) en förändring från 200 TWh per år 2015 till 220–320 TWh per år 2021 för global datacenterenergi-användning (IEA, 2022). Det är en tillväxt på 10–60 % eller CAGR 1,5–8 % trots en ökning av beräkningslaster för datacenter med 260 %. Detta är i linje med de mer blygsamma beräkningarna och rapporterna om historiska tillväxttal i rapporter som jämför olika energianvändningsstudier i Figur 12 och Figur 13 nedan (Montevecchi, Stickler, Hintemann, & Hinterholzer, 2020) (Mytton & Ashtine, 2022) (Kamiya, 2021).



Figur 12: Olika beräkningar och estimat av energianvändning globalt före 2018 (IEA, 2022).



Figur 13. Olika beräkningar och estimat av energianvändning globalt efter 2018 (IEA, 2022).

För att uppskatta förändringen av energianvändningen från 2020 till 2022 i Sverige kan IEA-tillväxttakten användas som utgångspunkt. Resultatet är 2,48 TWh för 1,5 % CAGR till 2,8 TWh för 8 % CAGR. Med Radarrapportens genomsnittliga tillväxttakt på 13 % CAGR får vi 3,1 TWh per år för år 2022. Med hänsyn till skillnaden i tillväxttakt och utnyttjande mellan typkategorier enligt rapporten får vi 3,2 TWh per år för år 2022.

RISE bedömer att tillväxten på grund av att nya hyperskala datacenter etablerar sig i Sverige fortfarande är större än en genomsnittlig global hyperskalatillväxt baserat på intervjuerna och kunskapen om nya anläggningar i Sverige. Tillväxttakten på 41 % för hyperskala datacenter i Sverige från Radarrapporten bedömdes som rimlig. Till exempel kom AWS i full drift och fortfarande har fyra nya Microsoft-anläggningar byggts och börjar komma online. Flytten av moln- och HPC-beräkningslast från andra delar av Europa, mestadels Tyskland, till Sverige gör ökningen av energianvändningen med 8 % CAGR (höga IEA-uppskattningen) för kommersiella datacenter rimlig. Alla större lokala moln- och samlokalisering-leverantörer växer med nya internationella kontrakt enligt intervjuerna.

Den nuvarande energianvändningssituationen i Sverige år 2022 är då mellan 2,8–3,2 TWh. Den låga uppskattningen är baserad på den höga IEA-tillväxten på 8 %. Den högre uppskattningen baseras på att Radarmodellen med 13 % genomsnittlig tillväxttakt används för att beräkna tillväxten per typkategori och summera energianvändningen med hjälp av utnyttjandegraden.

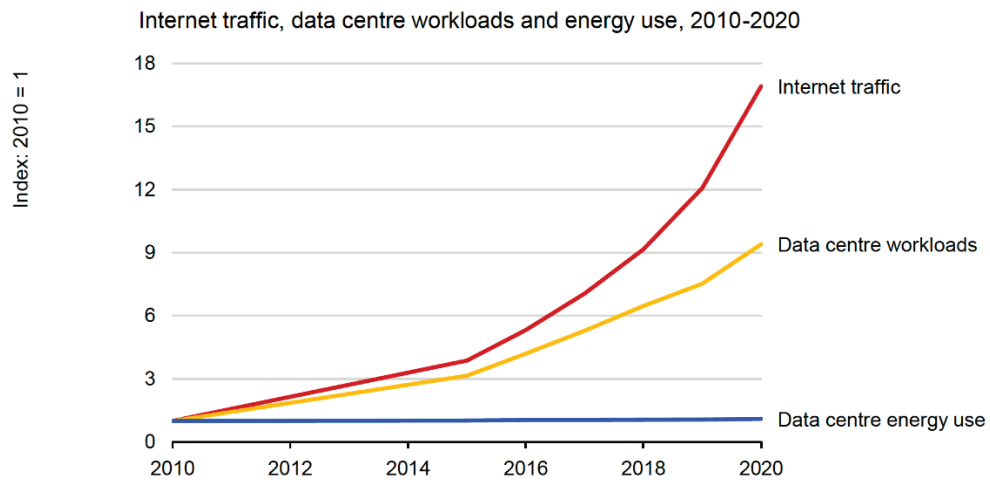
Utvecklingen av energianvändning i datacenter i framtiden

Förutsägelser om energianvändning av datacenter långt in i framtiden är svåra att göra. För det behövs scenariomodellering och mer tid krävs för att utveckla scenarierna. Den långsiktiga utvecklingen beror på energitillgänglighet i Sverige, policyramar för suveränitet, skatter och datacenteranvändning, lagstiftning om datadelning och användning av ny teknik som kommer att öka efterfrågan på datacenterkapacitet till exempel IoT-dataanvändning, Metaverse, AI-applikationer, edge computing eller 5G-6G. Andra områden som påverkar energianvändningen är energieffektivitetsförbättringar av nuvarande IKT-tekniker baserade på resursdelning och Moores lag och utveckling av ny teknik som neuromorfisk- eller kvantberäkning.

Utveckling och drivkrafter av den globala datacenterindustrin bortom år 2022

Under en kortare tid fram till 2025 och kanske fram till 2030 kunde en linjär utveckling förväntas. Effektivitetsförbättringar baserat på Moores lag och molnresursdelning förväntas plana ut efter 2025. Detta gör att de inneboende förbättringarna av energieffektiviteten för server- och mjukvarutekniker minskar, vilket kan resultera i en ökad energianvändning. Dock kan det också kyla ner den ökade efterfrågan om förbättringar i bearbetningen förmågor bromsas. Starka effektivitetsförbättringar som lägre PUE, mer användning av resurseffektivt moln och förbättrad dator- och lagringshårdvara, se Figur 15 nedan, har bidragit till att begränsa tillväxten i energiefterfrågan från datacenter globalt. Frågan är om detta kommer att fortsätta efter 2025.

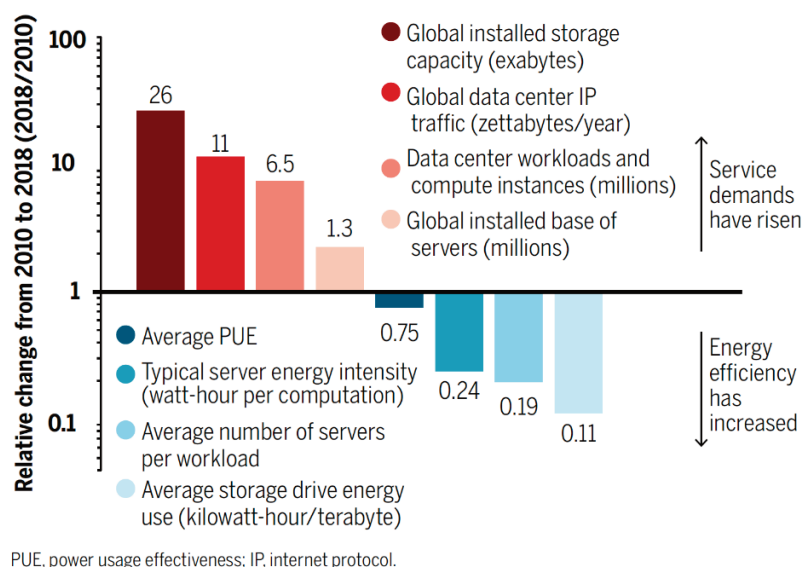
Genom att jämföra internettrafik, datacenters beräkningslaster med energianvändning 2010–2020, som i Figur 14, kan det tydligt ses att datacentrens energianvändningsutveckling är relativt platt jämfört med den ökade trafiken och beräkningslaster (Masanet, Shehabi, Lei, Smith, & Koomey, 2020) (IEA, 2021) (Cisco, 2018).



Figur 14: Trender för den globala datacenterenergianvändningen (IEA, 2021).

Trender som driver energianvändningen i datacenter visas i Figur 15 nedan (Masanet, Shehabi, Lei, Smith, & Koomey, 2020). Ökande efterfrågan på kommunikation, lagring och beräkningslast och växande installerad bas av datorer och lagring driver en ökning av tjänsterna. Effektivitetsförbättringar för anläggningar, server- och lagringsutrustning och molnbaserad resursdelning leder till en minskning av tjänsterna.

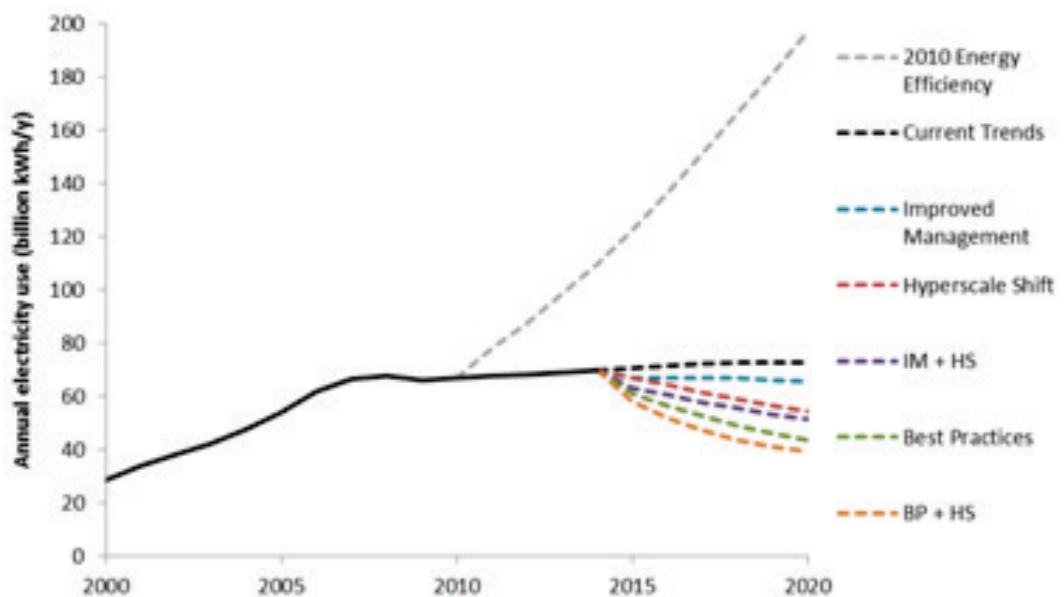
Trends in global data center energy-use drivers



Figur 15: Trenderna för drivkrafterna i den globala datacenterenergianvändningen (Masanet, Shehabi, Lei, Smith, & Koomey, 2020).

En drivkraft som saknas i Figur 15 är det ökade intresset hos mjukvaruutvecklare och dataforskare för maskininlärning att förbättra programvaran med hjälp av effektivare programmeringsspråk, kompilatorer, mjukvaruplattformar, optimerad kod och att förbättra ML-modeller och träningsdatamängdstorlekar samt beräkningsalgoritmer. Hårdvaruacceleration är ett annat effektivitetsförbättringsspår som kommer att minska efterfrågan på tjänster och därmed minska datacentrets energianvändning.

En väl-refererad figur som visar USA:s energianvändning för datacenter finns i Figur 16 nedan. Den skapades 2016 och användes för att förutsäga den växande efterfrågan och energianvändningen av datacenter. Några optimistiska scenarier utvecklades där den årliga energianvändningen kunde minska. De aktuella trenderna visas som en svart streckad kurva, IM+HS i rosa är när förbättrad hantering (IM) i blått och Hyper-scale Shift (HS) i rött läggs ihop. BP+HS i orange är när Best Practices (BP) i grönt och Hyper-scale Shift (HS) i rött läggs samman.



Figur 16: Energianvändningen av datacenter i USA (Shehabi, 2016).

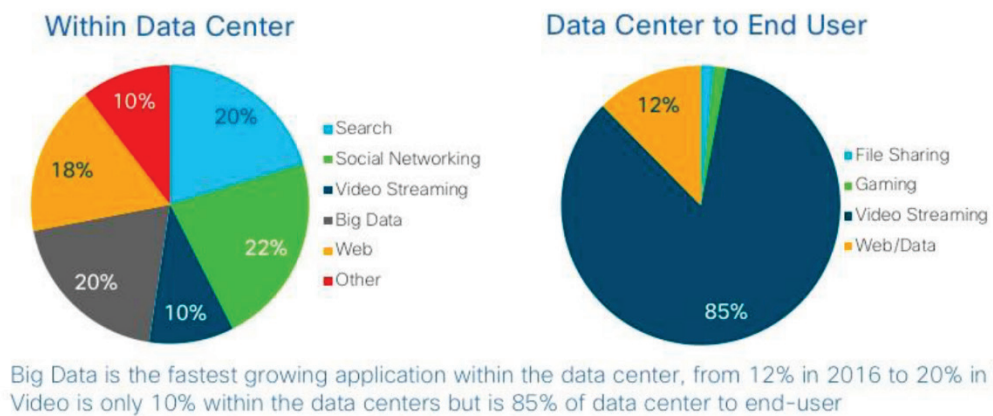
Utvecklingen mellan 2015 och 2020 har dock visat sig ligga på "Current Trends"-kurvan med en liten ökning globalt (IEA, 2022). Efterfrågan har växt lite ifrån de tänkta förbättringarna. Dessutom har regioner med mindre utvecklade lokala marknader och få hyperskala utbyggnader under 2015 uppvisat en större ökning av energianvändningen som det har visats sig på den nordiska marknaden.

Datacentrens energianvändning för strömmande video

Ser man till olika områden av digitala tjänster är den dominerande tjänsten med avseende på datatrafik i mobil- och fastnätet strömmande video, se Figur 17 nedan. Det är ett

användningsfall som driver lagring av video och mediadatabehandling under användningssessioner. Tillsammans med annonser och maskininlärning-tunga tjänster som Facebook, Twitter, Instagram, sök etc. är videobehandling en efterfrågad digital tjänst.

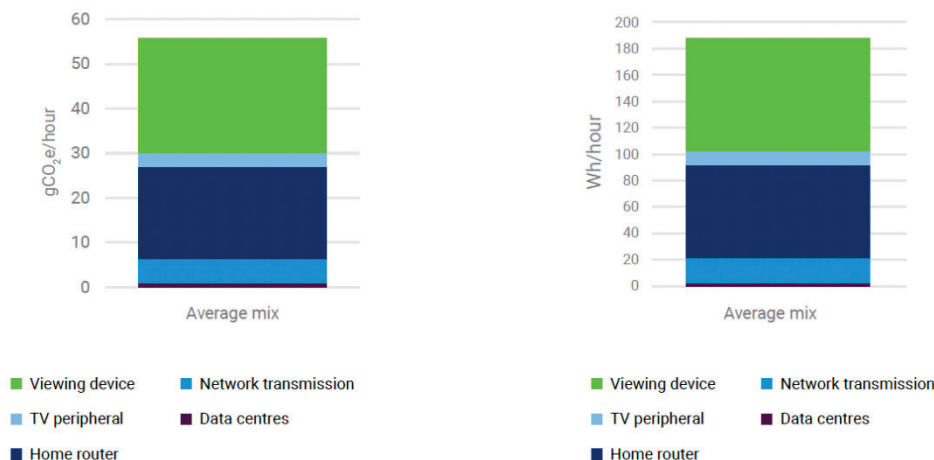
Bildlagring på hårddiskar och bandenheter är energidrivande endast när de visas. Spel kan klassificeras som videoströmning. Videokonferenser/samtal är en växande digital tjänst som driver energianvändning på grund av tung mediabehandling. IoT-databehandling är ännu inte fullt utvecklad, och vanliga telefon- eller textmeddelanden är inte särskilt krävande tjänster. Industriautomation och dess användningsfall är inte heller väl utvecklade. Fortfarande är användning av big data och AI-applikationer växande användningsfall.



Figur 17: Datacentertrafik per applikation 2021 (Cisco, 2018).

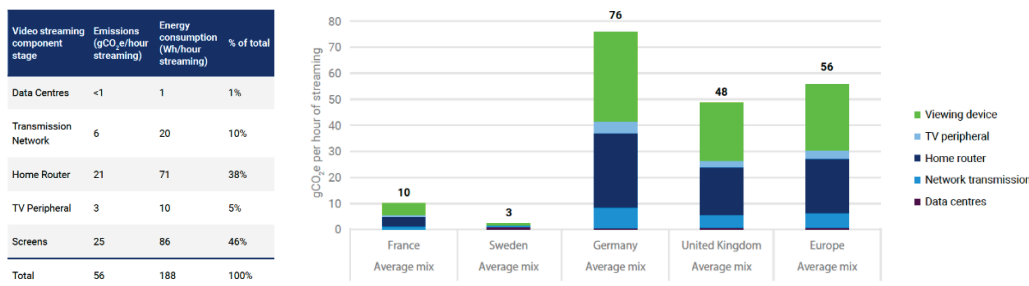
Eftersom strömmande video dominerar har flera alarmerande studier publicerats om att strömmande video använder lika mycket energi som något afrikanskt land för ett viralt videoklipp. För en timmes Netflix-strömning har 2,5–6 kWh per ström publicerats av media. Alla har fel eftersom de gör fel antagande om att ökning av data betyder ökad energi och det felaktiga mätvärdet som används är kWh/GB (Malmodin, 2022).

En nyligen genomförd studie av Carbon Trust med partners visar en annan historia som visas i Figur 18 och Figur 19. Studien drar slutsatsen att en timmes videoströmning är 180 Wh med skärmen och hemmaroutern som dominerande energianvändare. Miljöpåverkan beror på användarens land. Genomsnittet i Europa är 56 gCO₂e/timme (DIMPACT and Carbon Trust, 2021).



Figur 18: Beräknad utsläpp och energianvändning från en timme strömmande video (European average in 2020) (DIMPACT and Carbon Trust, 2021).

Sett till Sverige är den genomsnittliga miljöpåverkan 3 gCO₂e/timme jämfört med 76 gCO₂e/timme för Tyskland. Studien har också tittat på bidraget från varje komponent. Den drar slutsatsen att datacenter bara bidrar med 1 % av energianvändningen.



Figur 19: Beräknat utsläpp från strömmande video per region och delkomponent år 2020 (DIMPACT and Carbon Trust, 2021).

Bedömning av framtiden för datacenter i Sverige

Utveckling av datacenterindustrin i Sverige bortom år 2022

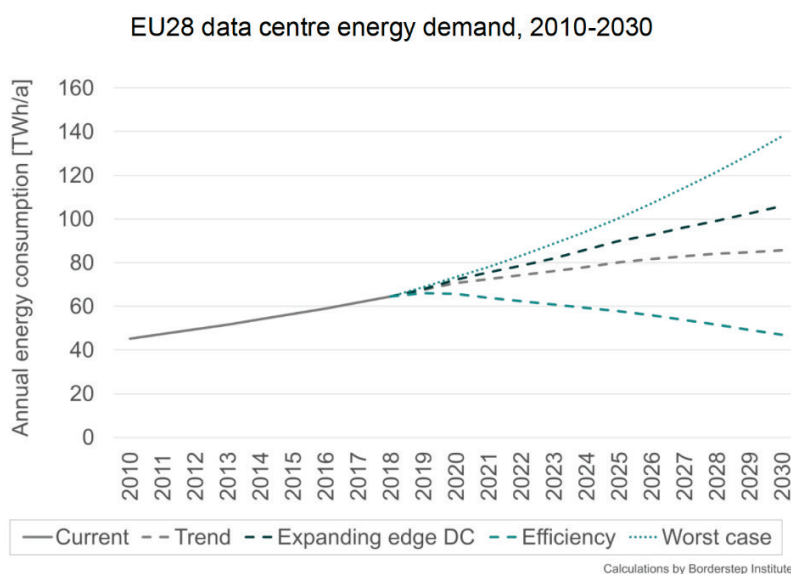
Beroende på beslutsfattande kan Sverige ta en ledande roll i Europa. Sverige har ansetts vara ett stabilt politiskt land i många studier om platsval för datacenter. Med det nyligen tillkännagivna avlägsnandet av skattereduktion för datacenter kommer det politiska stabilitets betyget att bli lägre. För att göra stora investeringar strävar företag efter att minimera risker och minska osäkerheter (Wallin, Werner, & Olofsson, 2020).

Å andra sidan går europeisk politik i riktning mot krav på energieffektivitet och användning av förnybar energi för datacenterdrift (European Commission, 2022). Det kommer att göra

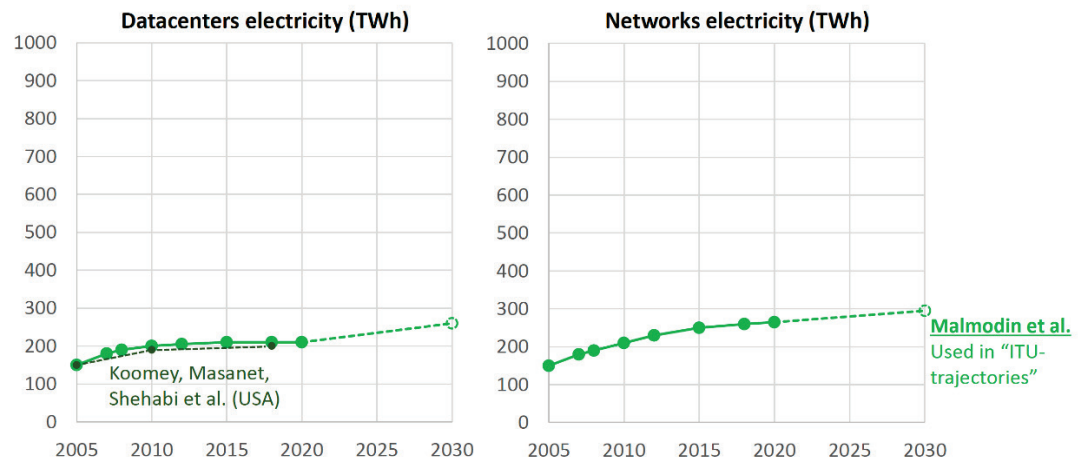
Sverige till en intressant plats att flytta beräkningslast till. Det har redan börjat med att några tyska biltillverkare flyttat HPC-beräkningslast till Sverige. Sverige kan bidra till ett mer hållbart Europa eftersom den gröna industrin och samhällsomvandlingen behöver stödjas av hållbar datacenterdrift. Med erfarenhet av hållbar utveckling och innovation bland forsknings- och produktföretag i Sverige kommer också intresset att öka, se kapitlet om Innovationer i den svenska datacenterbranschen nedan.

Med strävan efter suveränitet, GDPR och att hålla svenska härledda data i svenska datacenter hanteras en stor del av de svenska beräkningslasterna i Sverige och kommer att stanna där även med tanke på hållbarhetsaspekter. Nu när internationella molnleverantörer har etablerat sig i Sverige har ännu fler digitala tjänster med svensk dataanvändning flyttat tillbaka till Sverige. När Google, som nu är i Helsingfors, har startat sin verksamhet även i Sverige om några år, då kommer merparten av den svenska användningen av data, digitala tjänster och datacenter att finnas i Sverige förutom när företag behöver vara nära sina kunder till exempel Spotify eller Ericsson.

Med hänsyn till den framtida utvecklingen och drivkrafterna för datacenteranvändning har vissa förutsägelser gjorts av (Montevecchi, Stickler, Hintemann, & Hinterholzer, 2020) i Figur 20 och (Malmodin, 2022) i Figur 21 nedan. Ett exempel är att Europa går från cirka 70 TWh till 85 TWh på 10 år enligt Borderstep (trendprognosen med grå streckad linje). Det är en genomsnittlig CAGR på 2% vilket är mycket lägre än vad Radars uppskattar på 13% genomsnittlig CAGR i Sverige. En global uppskattning är gjord av Malmodin som visar en ökning från bara cirka 200 TWh till 280 TWh på 10 år. Det är 3,4% genomsnittlig CAGR.



Figur 20: Projektioner för datacenterenergin i Europa (Montevecchi, Stickler, Hintemann, & Hinterholzer, 2020).



Figur 21: Utvecklingen av datacenter och nätverk över tid (Malmodin, 2022).

Utveckling av energianvändningen i datacenter i Sverige bortom år 2022

Om vi tar den europeiska genomsnittliga tillväxttakten på 2 % CAGR från 3,0 TWh (medelvärde av den svenska bedömningen av RISE) 2022 får vi 3,2 TWh per år 2025 och 3,5 TWh per år 2030. Med siffran för global tillväxt på 3,4% CAGR får vi 3,3 TWh per år för 2025 och 3,9 TWh 2030. Med hjälp av Radarrapportens tillväxttakt och med tanke på skillnaden i tillväxttakt och utnyttjande mellan typkategorier enligt rapporten får vi 5,7 TWh per år 2025 och 22 TWh per år till 2030. Jämför man radaruppskattningen för 2030 med det härledda värdet med hjälp av den europeiska genomsnittliga tillväxttakten är slutsatsen att radartillväxttakten är orealistisk utanför perioden 2018–2022 då många hyperskala datacenter etablerade sig i Sverige.

RISE bedömer att tillväxten till följd av att nya hyperskalabolag etablerar sig i Sverige fram till år 2025 fortfarande kommer att vara större än en genomsnittlig global hyperskalatillväxt med fyra Microsoft-anläggningar som kommer i full drift, en ny Meta-anläggning som håller på att byggas och snart kommer online och en planerad Google-anläggning som skall byggas. På grund av de nya skattereglerna och den rådande ekonomiska nedgången kommer det dock att vara i en långsammare takt än mellan 2018–2022. Flytten av moln- och HPC-beräkningslast från andra delar av Europa, mestadels Tyskland, till Sverige kommer att fortsätta men också i en långsammare takt. RISE uppskattar, baserat på intervjuerna och de kända nybyggena, att det blir ungefär hälften av tillväxttakten i Radarrapporten, på grund av den nuvarande skatte- och ekonomiska situationen samt att tillväxten sker från en högre nivå på energianvändningen.

Ökningen av energianvändningen för hyperskala datacenter kommer då att ligga på 21 % CAGR och för kommersiella datacenter på 4 % CAGR (halva nivån av den högre IEA-uppskattningen) fram till år 2025. Användningsgraden per typkategori i radarmodellen

kommer fortfarande att vara rimligt fram till år 2025. Då blir energianvändningen i Sverige år 2025 mellan 4,0–4,4 TWh per år. Det innebär en ökning med 75 % på 5 år från Radarrapporten år 2020 om inga dramatiska förändringar sker i teknik, policyskapande eller efterfrågan.

Det är mycket svårare att förutse vad som kommer att hända efter 2025. En försiktig förutsägelse är att Sverige kommer att se mycket mer ut som resten av Europa eftersom många av hyperskalarna redan är etablerade då. Så en genomsnittlig tillväxttakt på 2,0–3,4% CAGR kommer att ta oss till 4,4–5,2 TWh per år 2030. Det innebär en fördubbling av energianvändningen på 10 år från år 2020.

En sammanfattning av prognoserna visas i Tabell 4 nedan. Energianvändningen i kolumnerna är beräknade bara för Sverige med hjälp av tillväxttakten från olika källor. Att jämföra Radarrapportens tillväxt med den globala av IEA eller den europeisk prediktionen visar att tillväxttakten är extrema och gäller endast för perioden 2018–2022 då alla hyperskala datacenter etablerade sig i Sverige och startade sin verksamhet. Tillväxttakten kommer att mattas av nu när utvecklingen sker från högre nivåer och nyetableringar får mindre relativa storlekar. Bedömningen av RISE finns i sista raden och använder enligt beskrivningen ovan radartillväxten 13 % för perioden 2020–2022, IEA:s globala höga tillväxttakt 8 % för perioden 2022–2025 och den europeiska genomsnittliga tillväxttakten 2 % för perioden efter 2025.

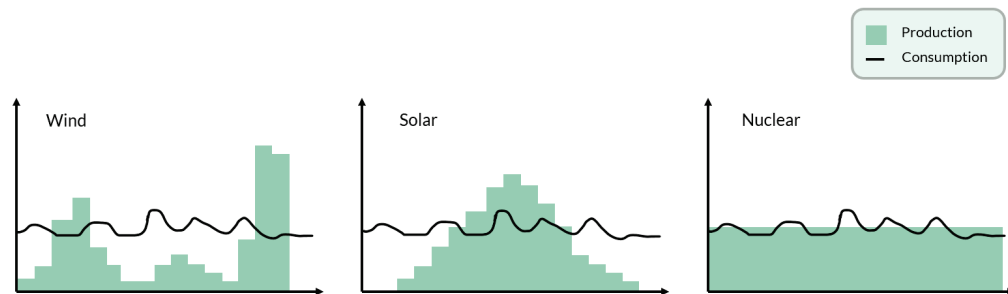
Tabell 4. Summering över användning av olika tillväxttakter för beräkningen av utvecklingen för datacenterenergianvändning i Sverige

	Average growth rate	Energy use 2020	Energy use 2022	Energy use 2025	Energy use 2030
Radar SE	13	2,4	3,2	5,7	22,0
IEA Global high	8	2,4	2,8	3,5	5,2
IEA Global low	1,5	2,4	2,5	2,6	2,8
EU average	2		3,0	3,2	3,5
Malmodin Global	3,4		3,0	3,3	3,9
RISE	13-8-2	2,4	2,8-3,2	4,0-4,4	4,4-5,2

Integration med elnätet

Med den stigande elproduktionen från intermittenta källor så som vind- och solkraft, och utvecklingen av baskraft, har nya utmaningar uppstått i Sverige. Produktionen matchar inte alltid förbrukningen vilket gör elnätet instabilt och ökar därmed efterfrågan på stödtjänster. Balansen mellan produktion och förbrukning av el är en förutsättning för att kraftsystemet ska fungera tillförlitligt och leverera el till slutkunden.

Det finns stora möjligheter för stödtjänster inom datacenterbranschen. Den påverkan ett datacenter har på elnätet kan kompenseras genom att agera med energisystemet. Detta uppnås genom att vara flexibel i elanvändningen.



Figur 22: Illustrativ produktion och konsumtion för en dag från olika energikällor.

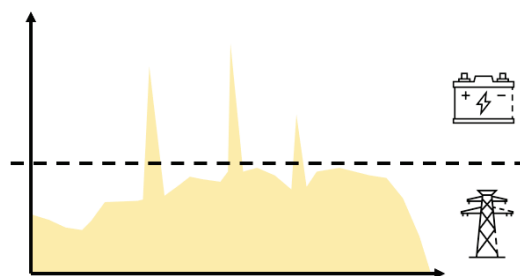
Det finns olika systemtjänster som kan stödja elnätet, här förklaras tre metoder:

- Peak shaving
- Energiarbitrage
- Stödtjänster

De två första, peak shaving och energiarbitrage är metoder som optimerar den egna driften och samtidigt bidrar till ett stabilt nät.

Peak shaving

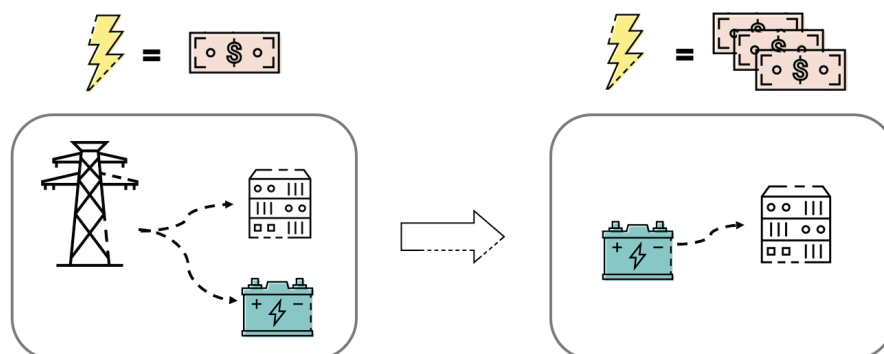
Elförbrukningen varierar ofta över ett dygn i ett datacenter vilket kan resultera i toppar i förbrukningsmönstret. Peak shaving är en metod där man använder lagrad energi, från till exempel batterier, när effektbehovet ökar över en viss nivå och under en viss tid. Detta för att sedan "raka" topparna av sin elförbrukning. Denna metod minskar belastningen på elnätet under rusningstid.



Figur 23: Illustrativ konsumtion över en dag med drift från elnät och batteri.

Energiarbitrage

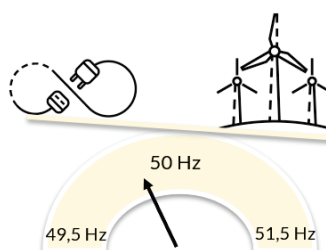
På spotmarknaden varierar elpriset över dygnet. Denna variation används i denna metod. När elen är billig så laddas batterier för att sedan använda denna energi när elen är dyrare, se Figur 24. Man köper elektricitet när det finns ett överskott av billig förnybar el. Och belastar därmed inte elnätet när det finns en förlust av el, med dyr ofta importerad icke-förnybar el.



Figur 24: Energiarbitrage metoden.

Stödtjänster för elnätet

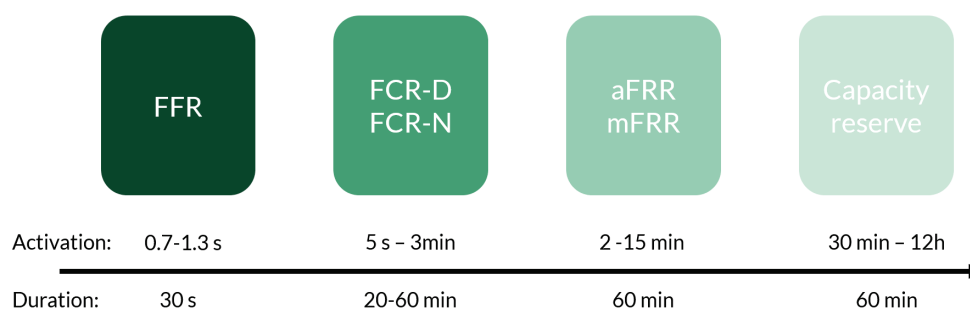
Ett annat alternativ är att agera på balansmarknaden för stödtjänster för att bidra till elnätets frekvensstabilitet. Produktion måste som sagt alltid matcha förbrukning för att hålla frekvensen stabil. När en avvikelse uppstår och frekvensen behöver regleras upp behöver antingen produktionen öka eller konsumtionen minska. Och detta regleras på Balansmarknaden. Här lägger producenter och konsumenter bud på vilken timme per dag de kan aktiveras för respektive stödtjänst.



Figur 25: Det svenska kraftsystemet balanseras mot en frekvens på 50 Hz.

I Sverige finns olika stödtjänster med olika krav på aktiveringstid och varaktighet, se Figur 26 nedan. FFR ("Fast Frequency Reserve") och FCR-D ("Frequency Containment Reserve – Disturbance") är de tjänster som är lämpliga för datacenter på grund av varaktigheten och aktiveringstidsramen. FFR aktiveras inom 1 sek med en varaktighetstid på 30 sek. För FCR-D aktiveras 50 % inom 5 sek och 100 % inom 30 sek. Varaktigheten är 20 min.

För FCR-D, där D står för "Disturbance", störning, finns två tjänster tillgängliga, upp- och nedreglering. Nedregleringen är en ny tjänst som introducerades 2022 för att stabilisera frekvensen när överfrekventa störningar uppstår, till exempel när mycket förbrukning plötsligt försvinner i elsystemet eller ett fel på en DC-anslutning uppstår. Mängden produktion måste då tillfälligt minska i kraftsystemet, eller så måste mängden förbrukning öka. Situationer med överfrekventa störningar har tidigare varit sällsynta i det nordiska kraftsystemet men förväntas öka i takt med att fler och större likströmsanslutningar byggs och stora förbrukningsanläggningar etableras. (Svenska Kraftnät, 2021)



Figur 26: Tillgängliga stödtjänster i Sverige.

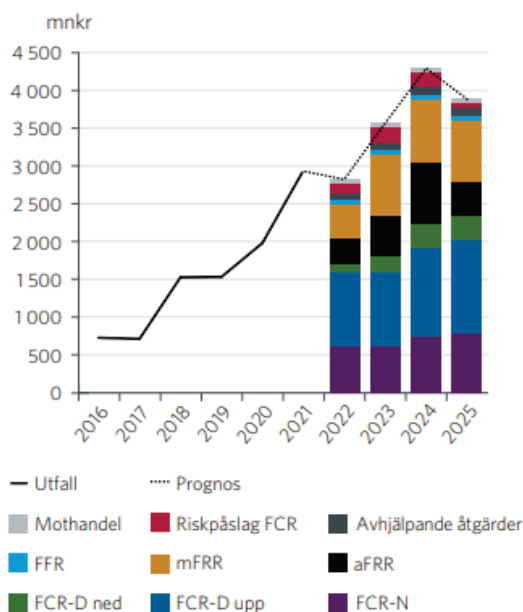
Ur ett konsument- och datacenterperspektiv, representerat som en flexibilitetstillgång, så innebär en aktiv roll på balansmarknaden att stänga av servrar (FFR och FCR-D uppreglering) eller förbruka mer ström (FCR-D nedreglering). Ett exempel på nedreglering kan vara att köra lågprioriterade beräkningslaster eller sänka temperaturen i datacentret tillfälligt. Ett av kraven för att agera på balansmarknaden för FFR och FCR-D är att minsta bud-storlek är 0,1 MW. På Svenska Kraftnäts webbsida finns mer information om kraven. (Svenska Kraftnät, 2022)

Datacentrets potential och framtida tjänster

Datacenters potential att bidra med energitjänster är stor. De har en beräkningslast som kan öka eller minska snabbt, pausas eller till och med flyttas till ett annat datacenter. Men potentialen kan bero på vilken typ av datacenter det är. Till exempel har ett colocation datacenter "Service Level Agreements" (SLAs) och Tier nivåer gentemot sina kunder som sätter krav på hur långa driftstopp de kan ha.

Datacenter har också UPS-system ("Uninterruptible Power Supply") för att vid händelse av strömavbrott kunna köra kritiska system. Dessa består ofta av batterier eller svänghjul och storleken beror på hur lång driftstid datacentret ska klara av isolerad. UPS-effekten kan användas för stödtjänster beroende på datacentrets Tier nivå. Effekten skulle också kunna byggas ut, med fler batterier till exempel, för att både täcka driftstopp och stödtjänstkapacitet.

Svenska Kraftnäts kostnad för stödtjänster förväntas öka under de kommande åren och därmed en ökning av efterfrågan. Exempelvis förväntas FFR öka från 20 miljoner kr/år 2020 till ca 60 miljoner kr/år vilket är en konsekvens av en kontinuerlig minskning av rotationsenergin i det nordiska kraftsystemet. (Svenska Kraftnät, 2021)



Figur 27: Svenska Kraftnäts kostnad för stödtjänster 2016–2025. (Svenska Kraftnät, 2021).

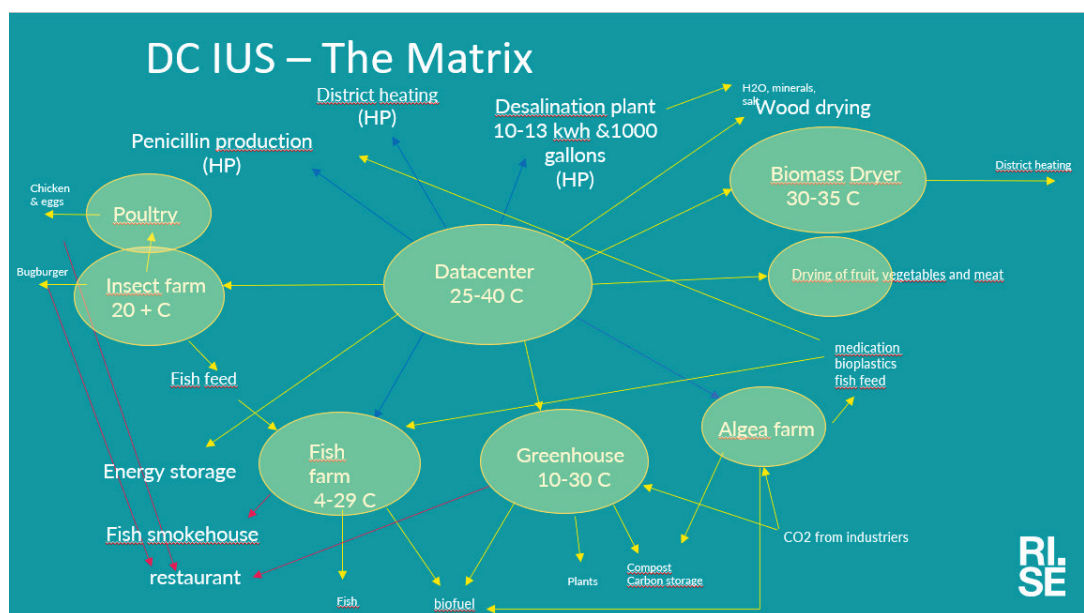
På grund av framtida kraftutmaningar och säkerställandet av leveranssäkerhet är en ny balansmodell för Norden under utveckling i ett gemensamt nordiskt projekt, Nordic Balancing Model (NBM). (Nordisk balanseringsmodell, 2022). Detta kommer kräva utveckling av verksamhetsprocesser, affärsprocesser och IT-system för alla inblandade parter. Vilket kommer att resultera i ett ökat informationsflöde som kräver en ökad digitalisering. (Svenska Kraftnät, 2022)

Industriell symbios baserat på överskottsvärme

Överskottsvärme är en av drivkrafterna för Industrial and Urban Symbios (IUS), den kategoriseras ofta antingen som hög- eller lågvärdig, där lågvärdig värme är mer utmanande att använda och implementera jämfört med den högvärdiga värmen. Nästan alla industrier skapar någon form av överskottsvärme där datacenter är kända för sin lågvärdiga överskottsvärme. Lågvärdig överskottsvärme är inget nytt fenomen. Datacenter är kända för låggradig värme eftersom den produceras i stora mängder och på samma fokuserade

punkt jämfört med andra processindustrier där värme genereras överallt längs en processlinje.

Vid RISE ICE datacenter har man arbetat med att finna olika möjliga applikationer för nyttjande av datacenteröverskottsvärme, vilket resulterat i en matris som visar olika alternativ beroende på om datacentret är luft- eller vätskekyllt (Figur 28). Matrisen bygger på tanken att nyttja överskottsvärmen som den är och att undvika användningen av ytterligare värmepumpseffekt för att uppgradera värmen, vilket gynnar applikationsutnyttjande i områden där det råder effektbrist.



Figur 28: Matrix skapad vid ICE datacenter som visar olika möjligheter för nyttjande av överskottsvärme, baserat på om datacentret är direkt luftkyllt (gula pilar) eller vätskekyllt (blå pilar).

Datacenter har stor potential för att kunna vara drivkraft för både industriell och urban symbios, nedan är några exempel på olika applikationer som för närvarande är i drift eller i planeringsstadiet:

- Fjärrvärme: Stockholms datacenterparks tillsammans med Stockholm Exergi, Glesys tillsammans med Falkenberg Energy, Binero Group tillsammans med E-on (Vallentuna) stödjer det lokala fjärrvärmesystem med värme genom att använda 2 till 3 steg av värmepumpar.
- Direktuppvärmning: HIVE i Robertsfors värmer en byggnad i en före detta diamantfabrik, T.Loop har kontrakterat sin första fastighetsägare i Stockholms där värmen ska integreras med byggnadens värme- och tappvattensystem.

- Industriella applikationer: ICE datacenter värmer ett mindre växthus i sitt labb och Genesis Digital Assets ett 300 m² växthus i Boden. ECO datacenter i Falun torkar sågspån för pelletstillverkning. HIVE och Agtira har gjort en avsiktsförklaring för att bygga ett akvaponiskt system i Boden.

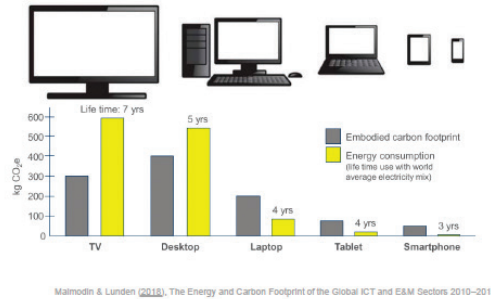
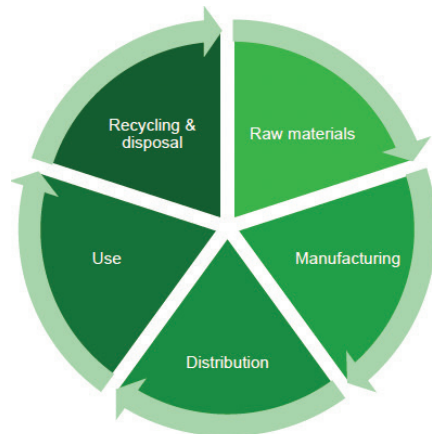
Det nya energieffektivitetsdirektivet från EU kommer att uppmuntra datacenterägaren att använda sin överskottsvärme i någon applikation, på det sättet skapas nästa generation av datacenter. Vilken tillämpning av överskottsvärme som är mest lämpligt beror på de lokala förhållandena så som närliggande industrier eller byggnader.

Miljöpåverkan – Hållbarhet är mer än energieffektivitet

Livscykelanalys av datacenters miljöpåverkan

Miljöpåverkan från ett datacenter handlar om mer än bara energieffektivitet. Ett vanligt använt tillvägagångssätt för att bedöma miljöpåverkan är att göra en livscykelanalys (LCA), som är en metod som är kopplad till alla stadier av produktens eller tjänstens livslängd, Figur 29. Till exempel, när det gäller en tillverkad produkt, bedöms miljöeffekterna utifrån råvaruutvinning och bearbetning (vaggan), genom produktens tillverkning, distribution och användning, till återvinning eller slutligt avskaffande av de material som den utgörs av (graven).

När elektroniska produkter kasseras betraktas de som e-avfall och är den snabbast växande världsomspännande avfallsströmmen. År 2022 bedöms den vara 59,4 miljoner ton motsvarande cirka 5980 Eiffeltorn (The Roundup, 2021), allt detta på grund av den snabba förändringen i tekniken, förändringar i media typer, reducerade priser och planerade ersättningscykler. För att ta itu med frågan om e-avfall har EU antagit flera direktiv för att begränsa användningen av farliga material samt åtgärder för att säkra ekosystemet och människors hälsa genom att påverka uppkomsten av e-avfall. EU-direktivet 2012/19/EU specificerar för tio olika användarkategorier miniminivån för e-avfall som återcirkuleras och förbereds för återanvändning och återvinning. 75 till 85 % kommer att återcirkuleras och 55 till 80 % kommer att förberedas för återanvändning och återvinning.



Figur 29: Det finns miljöpåverkan utöver energianvändning och växthusgasutsläpp under hela produktens livscykel, inklusive påverkan på mark, luft, vatten, biologisk mångfald och elektroniskt avfall (Malmudin, 2022).

Beroende på systemgränserna kan LCA beräkningen göras i tre nivåer, scope 1 till 5 enligt vad som visas i Figur 30 nedan och enligt nedan:

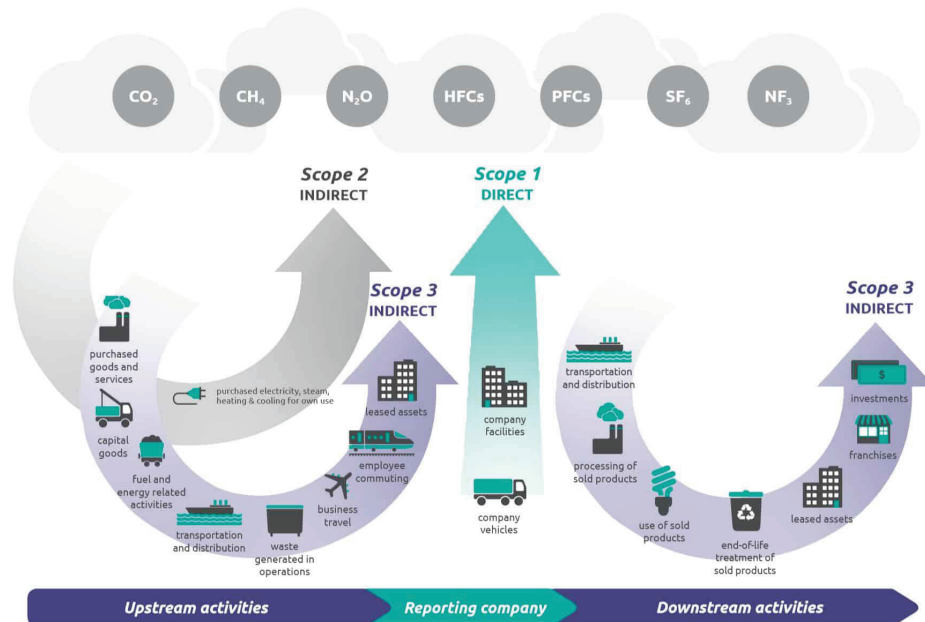
Scope 1 – Alla direkta utsläpp från verksamheten i en organisation eller under deras kontroll. Inklusiva bränsleförbränning på plats såsom gaspannor, fordonsparker och luftkonditioneringsläckor.

Scope 2 – Indirekta utsläpp från el som köps in och används av organisationen. Utsläpp skapas under produktionen av energin och används så småningom av organisationen.

Scope 3 – Alla andra indirekta utsläpp från verksamheten i organisationen, från källor som de inte äger eller kontrollerar. Dessa är vanligtvis den största andelen av koldioxidavtrycket, och täcker utsläpp i samband med affärsresor, upphandling, avfall och vatten.

Scope 4 – är inte implementerat och accepterat för bred användning, fokus är att stödja klimatlösningar som har positiv klimatpåverkan genom att beräkna undvikandet av utsläpp, vilket kan definieras som den minskning som sker utanför en produkts livscykel eller värdekedja men som en resultatet av användningen av den produkten.

Scope 5 – är fortfarande i det inledande diskussionsskedet med syftet att införa koldioxidinfångning i livscykelberäkningarna, på så sätt kan utsläppen minskas och i vissa fall även negativa.



Figur 30: Systemgräns för scope 1 till 3 för livscykelanalyser (OneClick LCA, 2022).

Datacenters totala miljöpåverkan

Resultatet från en LCA kan redovisas som antal koldioxidekvivalenter, men den totala miljöpåverkan beaktas fortfarande inte. Genom att göra en fullständig LCA avses ytterligare aspekter ha effekt så som till exempel mark- och vattenanvändning, som normaliseras och viktas till ett poängssystem.

Genom att koppla LCA med "Agent Based Modeling" (ABM) finns möjligheten att utforska påverkansbeteendet, vilket är ett "bottom-up"-modelleringsramverk och lämpar sig för att utforska miljöeffekten av olika beteenden och val. ABM kan användas av en datacenterägare för att förstå och se hur miljöpåverkan påverkas för olika driftstrategier (beteende) och för olika alternativ av hårdvaror (val).

Att göra en LCA är ofta tidskrävande och den mesta tid går åt till att finna materialsammansättningar samt kvalitet och kvantitet. För vissa produkter är det svårt att hitta en person med materialkännedom och vissa gånger går det inte att finna materialsammansättningarna. Från och med den 1 januari 2022 infördes lagen om klimatdeklaration för nya byggnader, vilket innebär att byggmaterial måste deklarerat sina koldioxidutsläpp per kg byggmaterial.

En miljöproduktdeklaration (EPD) är en extern verifierad standard för ett material eller en produkts miljöprofil under dess livslängd, en EPD är objektiv och baserad på internationellt accepterade och validerade metoder för livscykelbedömningar men kräver att produktkategoriregler (PCR) finns på plats som mall för relevanta produkter. Att införa EPD för produkter inom området datacenter kommer att vara till stor hjälp vid genomförandet

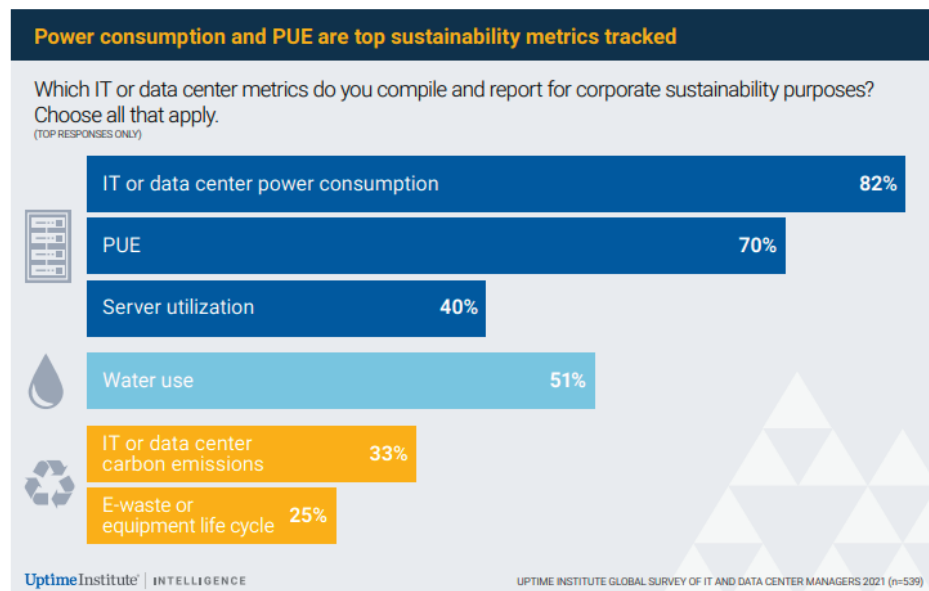
av LCA och agentbasmodellering, på så sätt blir det mer uppenbart och lättare att visa datacenterägare hur olika beteenden och val kommer att påverka utsläpp till miljön.

”Key Performance Indicators” för datacenters miljöpåverkan

För att utvärdera olika typer av miljöpåverkan från datacenter har flera nyckeltal utvecklats, där några av dem är strikt definierade av en ISO-standard och nedan är exempel på använda nyckelprestandaindex (KPI):

- Data Centre Infrastructure Efficiency (DCIE)
- Carbon Usage Effectiveness (CUE) [ISO/IEC 30134-8]
- Water Usage Effectiveness (WUE) [ISO/IEC 30134-9]
- Power to Performance Effectiveness (PPE)
- Power Usage Effectiveness (PUE) [ISO/IEC 30134-2, EN 50600-4-2]
- Energy Reuse Effectiveness (ERE)
- Energy Reuse Factor (ERF) [ISO/IEC 30134-6, EN 50600-4-6]
- Energy Efficiency Ratio (EER)
- Coefficient of Performance (COP)
- Data Centre Energy Productivity (DCeP)

För driften av ett datacenter kan ett urval av nyckeltal användas för att göra en utvärdering av prestandan. Nedan i Figur 31 finns en sammanfattning av de mest använda KPI:erna av datacenterägarna (Uptime Institute, 2022).



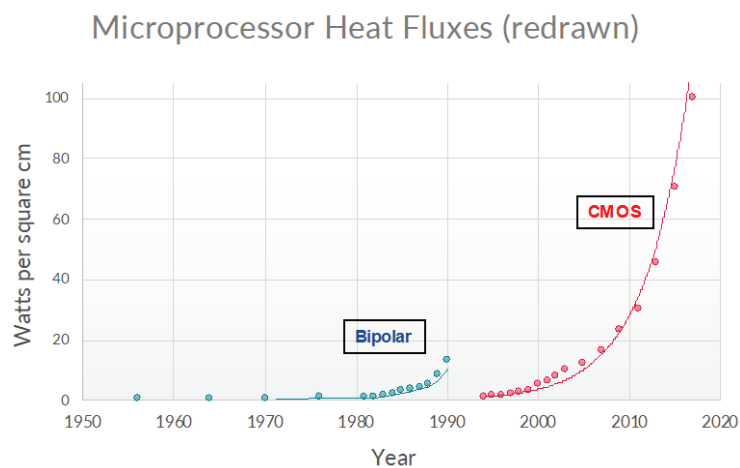
Figur 31: Mest använda nyckeltal för rapportering av datacenterdrift.

Teknikutveckling för framtidens datacenter

Effekttäthet i datacenter

Efterfrågan på datalagring, beräkningsresurser och digitala tjänster ökar ständigt, och som ett resultat av detta ökar antalet datacenter, liksom deras effektdensitet. Tills banbrytande teknologier, såsom kvantdatorer, reversibel logik och neuromorfisk beräkningsteknik når en teknisk tillämpningsnivå och ekonomisk genomförbarhet för storskalig användning, är förväntningen att energibehovet för datacenter kommer att fortsätta att öka.

Effekttätheterna i CPU/GPU/Asics/xPU:er kommer att fortsätta att öka, vilket kommer att kräva mer sofistikerade kylningsmetoder för att kunna leda bort värmen och hålla servrar inom tillämpliga temperaturgränser, se även den historiska utvecklingen av mikroprocessorns effekttäthet (mätt i watt per kvadratcentimeter) i Figur 32, och några exempel på effektdensitet i moderna mikroprocessorer i Tabell 5.



Figur 32: Effektdensitet för mikroprocessorer. Att gå från bipolär teknik till CMOS gjorde en enorm skillnad i början av 90-talet. Tills en ny banbrytande teknik utvecklas blir effektiv kylning allt viktigare. (Roger R. Schmidt, 2005)

Tabell 5: Effektdensitet i några moderna mikroprocessorer.

Microprocessor	W/sq.cm
AMD Vega 10	43.39
Nvidia GP102	53.08
Nvidia GV100	30.67
Intel Xeon Plat 8180	29.37
AMD Epyc	23.44
Qualcomm Centriq 2400	30.15

Luftkylning i datacenter

Med rackdensitet som når över 50kW i en del installationer, blir det opraktiskt att använda luft som kylmedium, eftersom mycket höga luftflöden krävs för att klara av den genererade värmen (Miller, 2019). Luft är ur termodynamisk synvinkel ett mycket dåligt kylmedium, eftersom den har låg densitet och låg specifik värmekapacitet. Luft anses oftast vara en värmeisolator och inte en värmeledare. Men luft är ett mycket bekvämt och "krångelfritt" medium, som möjliggör samtidigt underhåll och enkel service av datacenter. Utvecklingen av luftkylda datacenter har kommit långt under de senaste decennierna, mycket tack vare lufttunnelningsinstallation ("containment") som har blivit mer eller mindre standard, och bättre planering av IT-utbyggnad och utformning av IT-rum. Genom att använda väl avgränsad installation där varm och kall luft separeras kan högeffektiva datacenter uppnås.

För att ytterligare optimera effektiviteten i luftkylda datacenter krävs en systemomfattande reglering av datacentret. Idag har datacenter flera oberoende reglersystem, som ofta agerar med eget intresse, vilket orsakar suboptimering och energislöseri.

Nyligen genomförda studier visar att det finns energibesparingar att göra genom att koppla samman anläggningens reglersystem med servrarnas interna fläktrreglering för att optimera luftströrelsen och balansera luftfördelningen. Ett viktigt faktum att komma ihåg är att en större fläkt "alltid" är mer effektiv än en mindre, vilket innebär att anläggningsfläktar bör prioriteras framför serverfläktar. (Sarkinen, Brännvall, Gustafsson, & Summers, 2020)

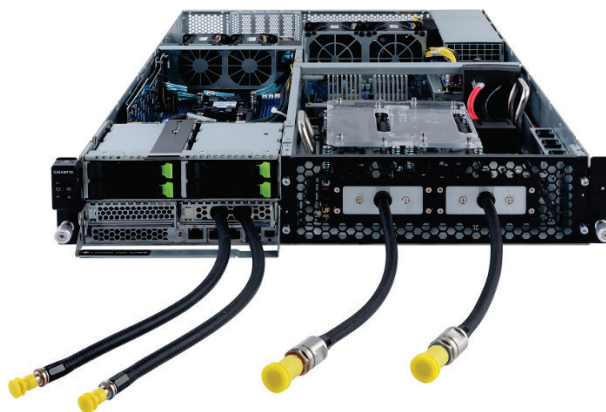
Olika styrstrategier beroende på tillgängliga kylmetoder/priser och möjligheten att sälja överskottsvärmen kommer att bli alltmer intressanta i framtiden. Det har visats att en kall server förbrukar mindre energi än en varm server, eftersom fläktarna kan köra en lägre hastighet och förlusterna i kiset är lägre vid lägre temperaturer (förutsatt att den följer ASHRAE-riktlinjerna). Men för att skapa en kall miljö kommer vanligtvis med ett relativt högt pris, eftersom kylaggregaten behöver sänka temperaturen ytterligare. Men i de fall då lågtemperaturkyla är tillgänglig är det en bra poäng att använda det, exempel kan vara fri-kyla vid låga omgivningstemperaturer och billig fjärrkyla.

Å andra sidan, om överskottsvärmeströmmarna från datacentret kan användas (eller säljas), om de levereras vid en hög temperatur, bör den idealiska driftpunkten ur affärssynpunkt vara mycket högre (CPU-temperaturer nära den dimensionerade maxtemperaturen). Strategierna för hur man optimalt kan styra datacentret kommer att fortsätta att utvecklas och sakta gå bort från PUE-måttet som har varit de-facto-standarden under det senaste decenniet. (Jin, o.a., 2022)

Vätskekyllning i datacenter

För att ytterligare möjliggöra mer värmeåtervinning måste temperaturen i kärnan av processorerna upprätthållas bättre genom hela värmeavvisningssystemet (kylsystemet). Eftersom vätskor i allmänhet har mycket bättre termisk prestanda än luft, är alternativet att använda en vätska för att överföra värmen mycket tilltalande. Det finns idag två dominerande metoder för vätskekyllning av servrar:

1. **On-chip-kyllning**, där vatten (eller andra kylmedier) förs till CPU:n via rör/slangar till en värmeväxlare monterad på CPU:n, se även Figur 33 för en bild av servern förberedd med direkt-till-chip-kyllning. Värmen som genereras i CPU:n överförs direkt (främst genom ledning) till värmeväxlaren, där vätskan överför värmen bort från CPU:n och servern. Denna teknik har utmärkt termisk prestanda och har visat att det är möjligt att nå temperaturer över 60 grader C vid gynnsamma förhållanden. Systemet behöver dock assisteras av ett luftkyllningssystem för att ta bort värmen från andra värmealstrande komponenter.



Figur 33: Server förberedd för on-chipkyllning.

2. **Nedsänkt kylning** ("Immersion cooling"), där hela servern sänks ned i en icke-ledande dielektrisk vätska. Detta gör att värme som produceras av alla komponenter på servern kan återvinnas, men eftersom vissa komponenter inte tillåter drift vid lika hög temperatur som processorn (som vanligtvis förbrukar mest ström), måste den övre temperaturgränsen ofta begränsas till under 60 grader C. I Figur 34 kan ett nedsänkningssystem ses.



Figur 34: Servrar nedsänkta i icke-ledande kylmedium.

Ser man på framtiden är kombinationer av ovan nämnda teknologier högst sannolik, där luftkyllning, nedsänkning och on-chip används i smarta kombinationer för att maximera temperaturen på överskottsvärmeströmmarna. OVH-Cloud har nyligen publicerat en integrerad lösning för nedsänkning och kylning på chip (OVHcloud, u.d.), även Asperitas har publicerat ett "whitepaper" som indikerar utveckling i samma riktning (Brink, 2019).

Om annan värmealstrande utrustning finns på plats, såsom kompressorer i kylsystem, elproduktion via bränsleceller eller transformatorstationer, kan dessa också kopplas till värmeåtervinningssystemet för att maximera temperaturen på överskottsvärme-strömmarna.

Utveckling av edge-datacenter och andra teknologier

Kraven på låg latens i IT-tjänster ökar och med 5G som implementeras och 6G under utveckling pågår ytterligare latensförbättringar i kommunikationsnätverken. För att kunna utnyttja dessa nya nätverk fullt ut måste "back-end"-beräkningsinfrastrukturen distribueras närmare slutanvändarna för att undvika höga fördröjningar i nätverksanslutna internet. Detta kommer att driva småskaliga "edge" datacenter in i stadsområden, där de operativa utmaningarna för datacenter är svåra på grund av utrymmesbegränsningar, tillgång till effekt (då elnäten ofta är mycket högt utnyttjat), bullerbegränsningar (ökande buller i stadsområden är ofta inte möjligt), utmaningar för integration av värmeåtervinning (värmebehovet är nära, men integrationsaspekterna är knepiga). Dessa utmaningar kommer att framtvinga utveckling av småskaliga edge-datacenter som kommer integrera ny teknik, som nedsänkt kylning ("immersion"), lokala solceller och bränsleceller.

Med en ökande andel elkraft som kommer från icke-planerbara kraftkällor och en kontinuerlig elektrifiering av samhället, kan priset på elkraft komma att öka och mängden

tillgänglig elkraft kan minska under perioder, därför blir vikten av att minska distributions- och omvandlingsförlusterna i datacentren kraftsystem viktigare än någonsin. Innovativa lösningar som kan ge oavbruten ström både i AC och DC på olika spänningsnivåer kommer troligen att få ökat intresse under de kommande åren. Dessa system måste också i högre grad vara förberedda för att integreras med nätflexibilitetstjänster som FFR/FCR och energi-arbitragefunktionalitet.

Kraftproduktion på plats är ett annat framväxande tillvägagångssätt för att säkerställa stabil strömtillgång. I regioner, där det finns tillgängliga gasnät, ökar intresset för kraftproduktion på plats med bränsleceller inom branschen, både som primär energikälla och för backup-syfte. Kombinationer av elektrolysörer, vätgaslagring och bränsleceller är ett annat tillvägagångssätt som börjar bli intressant för att möta de mer långsiktiga fluktuationerna i effekttillgängligheten för några av de stora datacenteroperatörerna.

Innovationer i den svenska datacenterindustrin

På grund av det ökade intresset i Norden för datacenterdrift har den svenska datacenterbranschen upplevt en re-vitalisering. Tjänstekraven från lokala svenska moln- och samlokaliseringstjänstleverantörer till slutanvändare från andra länder har ökat. Produkt- och konsultföretag verksamma inom industrisektorn har sett en ökad efterfrågan både på den svenska marknaden men även globalt. En ännu liten men ledande forsknings- och innovationsverksamhet av RISE och LTU har stimulerat branschen till samarbete och nytänkande (RISE Research Institute of Sweden, 2022). Ny kunskap och kompetens har utvecklats i partnerskap. En branschorganisation med växande medlemsantal, för närvarande 50 medlemmar, har etablerats, se Figur 35 nedan (Swedish Data Center Industry, 2022).



Figur 35: Medlemslistan för svenska branschföreningen för datacenter

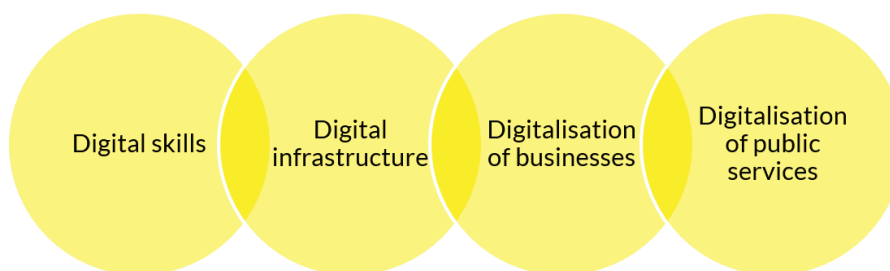
På grund av det ökande intresset och efterfrågan har många nya innovationer och produkter utvecklats av svenska företag och organisationer de senaste 5 åren. Värmeåtervinning för olika användningsområden har utvecklats. Flera energileverantörer och datacenteroperatörer samarbetar för överskottsvärmeåtervinning i fjärrvärmenät till exempel Stockholm Exergi, Stack och Bahnhof. Ett fåtal datacenteroperatörer har partnerskap med större växthusoperatörer och befinner sig i testfaser, till exempel EcoDC. Frekvensstödjtjänster har prövats av ett fåtal och ett separat företag för batteribaserat frekvensnätstöd har avknoppats från en datacenteroperatör. Vattenfall och Microsoft har utvecklat 24/7 säker leverans av förnybar energi. Ett fåtal nystartade företag fokuserar på industriell symbios av datacenter och växthuscontainrar. Ett nystartat företag, T.Loop, har baserat sin lösning på värmeåtervinning genom design.

Inom kylområdet inom datacenter har Sverige flera produktbolag som Systemair, Swegon, SEECooling och AIA industrier. Flera olika kompakta direkt/indirekt luft/vattenkylningssystem har utvecklats och förbättrats av företagen. En ny kylstrategi har tagits fram av RISE som kallas holistisk kylstyrning. Dessutom har en självdragande kyllosning med skorsten och en vätskekyld tank utvecklats av Swegon och RISE. I ett annat samarbetsprojekt har Eltek, ENOC, Systemair, Ericsson och RISE utvecklat nya typer av integrerade edge-noder.

Andra specifika områden är datacenter byggda med träkonstruktioner med EcoDC och Hydro66 som föregångare. Likströmsdistribution är ett svenskt styrkeområde tack vare erfarenhet från telekombranschen. Comsys är ett ledande litet företag och båda de större företagen Vertiv och Eltek driver DC-utvecklingen i Sverige. Med framväxten av vätskekylning har CEJN utvecklat en produkt för röranslutningar för smarta distributionspaneler. Ett start-up från Chalmers fokuserar på att ersätta kylpasta med grafen-plattor för vätskekylning. Ett nystartat företag baserat på KTH har produkter för vattenrening av gråvatten för kylning baserat på överskottsvärmen från datacenter. Ett annat litet företag har utvecklat vätska baserat på nano-material för att användas i vätskekylning. Ett annat innovationsområde är mjukvarustyrda halvledar-switchar/växelriktare från Blixt, ett start-up i Stockholm.

EU:s vision av det digitala årtiondet

EU-kommissionen publicerade 2030 års policyprogram "Path to the Digital Decade" i september 2021. Programmet syftar till att säkerställa att EU når sina mål och målen mot en digital omvandling av vårt samhälle och ekonomi samt främja inkluderande och hållbar digital politik. Programmet fastställde de digitala mål som unionen förväntas uppnå i slutet av årtiondet. De digitala målen baseras på fyra centrala punkter som ses i Figur 36 nedan. (European Commission, 2021)



Figur 36: De fyra centrala punkterna som de digitala målen är baserade på (European Commission, 2021).

Nedan presenteras några av de digitala målen i programmet. Programmet tar upp vikten av digital kompetens, både grundläggande och avancerade, för att stärka den kollektiva motståndskraften som ett samhälle. Detta visas i ett av de digitala målen där

- 80 % av de i åldern 16–74 år ska ha minst grundläggande digital kompetens.

Den digitala transformationen inom företag betonas av att

- minst 75 % av EU:s företag bör ha molntjänster, artificiell intelligens och big data
- EU:s små och medelstora företag ("SME") når en grundläggande nivå av digital intensitet.

En säker och hållbar digital infrastruktur är av vikt där det anges att alla europeiska hushåll i slutet av decenniet bör omfattas av

- ett Gigabit-nätverk och att alla befolkade områden ska täckas av 5G.
- Minst 10 000 klimatneutrala högst säkra edge-noder bör vara utplacerade i EU och distribueras för att ge tillgång till datatjänster med låg latens.
- en dator med kvantacceleration bör implementeras senast 2025, som en början för att EU ska vara i framkant av kvantdatorkapaciteten till 2030.

EU:s Energieffektivitetsdirektiv och EU Code of conduct

Med European Green Deal ökar EU sin klimatambition och siktar på att bli den första klimatneutrala kontinenten 2050. Kommissionen har därför reviderat energieffektivitetsdirektivet (EED) tillsammans med andra EU:s energi- och klimatregler för att säkerställa att det nya 2030-målet att minska utsläppen av växthusgaser med minst 55 % (jämfört med 1990) kan uppnås (European Commission, 2022).

På grund av detta undersöker Europeiska kommissionen åtgärder för att förbättra energieffektiviteten och prestandan för den cirkulära ekonomin. Det har uppskattats att digital teknik står för mellan 5 till 9 % av den globala elförbrukningen och mer än 2 % av de globala utsläppen av växthusgaser. Detta kommer sannolikt att öka med digitalisering och framväxande teknologier som artificiell intelligens, sakernas Internet och blockkedjor. Detta kan leda till problematiska ökningar av utsläppen av växthusgaser om inga ordentliga åtgärder vidtas. Därför har ämnet energieffektiva datacenter blivit en prioritet för EU. Datacenter måste bli mer energieffektiva, återanvända överskottsvärme och använda fler förnybara energikällor för att 2030-klimatmålsplanen ska nås. Som en slutsats tillkännagav EU:s digitala strategi 28 ett åtagande att göra datacenter klimatneutrala till 2030.

Energieffektivitetsdirektivet kräver att datacenter med ett installerat IT-effektbehov på minst 100 kW gör den information som anges i bilaga Via (European Commission, 2022) tillgänglig för allmänheten senast den 15 mars 2024 (för data som samlats in 2023) och varje år därefter. Uppsättningen av information som hänvisas till i EED är baserad på del 4 i EN50600-serien av standarder för nyckeltal för datacenters drifteffektivitet.

För att uppnå detta mål kommer kommissionen att förlita sig på en blandning av befintliga instrument, översyn av befintlig lagstiftning och nya initiativ, till exempel:

- Ekodesignförordningen för servrar och datalagringsprodukter
- EU:s Code of Conduct (uppförandekod) för datacenters energieffektivitet
- EU:s kriterier för grön offentlig upphandling för datacenter, serverrum och molntjänster
- "Carbon Border Adjustment Mechanism"

EU:s uppförandekod ("Code of Conduct") har utvecklats som svar på den ökande energiförbrukningen i datacenter och behovet av att minska de relaterade effekterna på miljön, ekonomin och energiförsörjningen. Detta Best Practice-tillägg till uppförandekoden kan ses som ett utbildnings- och referensdokument som en del av uppförandekoden för att hjälpa datacenteroperatörer att identifiera och implementera åtgärder för att förbättra energieffektiviteten i deras datacenter (Acton, Bertoldi, & Booth, 2022).

Fram till 2023 har EU:s uppförandekod för datacenter och "Climate Neutral Data Center Pact" varit frivilliga. Men med det nya (16 november 2022) "Corporate Sustainability Reporting"-direktivet (CSRD) (The European Parliament, 2022) kommer företag att vara skyldiga att rapportera i enlighet med CSRD i januari 2024 (för räkenskapsåret 2023). Det innebär att förberedelser för vilken data som måste samlas in och hur, måste ske innan utgången av 2022. Det nya direktivet blir det första obligatoriska ramverket för hållbarhetsrapportering som EU:s datacenterinvestorare, operatörer och användare måste följa.

I linje med EU:s taxonomi för hållbara aktiviteter kommer CSRD att kräva att företag rapporterar om hur deras affärsverksamhet påverkar både människor och miljö. Dessutom har en bästa praxis, "CLC/TR 50600-99-1: Informationsteknik - Datacenteranläggningar och infrastrukturer: Rekommenderad praxis för energihantering", utvecklats parallellt med EU:s uppförandekod för datacenters energieffektivitet för att säkerställa att effektiviteten förbättras i datacenteranvändningen.

Den kompletterande bästa praxis för miljömässig hållbarhet, "CLC/TR 50600-99-2: Informationsteknologi - Datacenteranläggningar och infrastrukturer: Rekommenderade metoder för miljömässig hållbarhet", kommer att vara nyckeln till att hjälpa industrin att ta steg mot mer hållbar verksamhet. Kommissionen genomför för närvarande en studie för att ta itu med bristen på allmänt accepterade definitioner och metoder för att bedöma datacenters energieffektivitet, klimatneutralitet och övergripande hållbarhet: "Greening cloud computing and electronic communications services and networks: towards climate neutrality by 2050" (European Commission, 2021). Faktum är att hela EN 50600-serien av standarder betraktas som en stödjande mekanism för att uppnå målen för datacenter.

EU antog också "Carbon Border Adjustment Mechanism" där ett pris kommer sättas på koldioxidutsläpp kopplat till import som inte uppfyller kriterierna som definieras av EU:s klimatåtgärd. Denna mekanism syftar till att bidra till en global utsläppsminskning, i stället för att driva kolintensiv produktion utanför Europa. Det syftar också till att uppmuntra industrin utanför EU och våra internationella partner att anta ambitiösa klimatåtgärder.

Ytterligare hållbarhetsinitiativ

Datacenteroperatörer är underställda "European Green Deal", att uppnå de ambitiösa minskningarna av växthusgasutsläppen enligt klimatlagen, och utnyttja teknik och digitalisering för att uppnå målet för Europa klimatneutralt till 2050. För att säkerställa att datacenter är en integrerad del av det hållbara Europas framtid måste datacenteroperatörer vidta nödvändiga åtgärder för att göra datacenter klimatneutrala till 2030.

Huvudsyftet med "Climate Neutral Data Center"-pakten är att administrera "Climate Neutral Data Center – Self Regulatory Initiative", genom att främja hållbarheten hos molntjänster, datacenter och den teknik som krävs för att stödja en klimatneutral digital framtid. Pakten samarbetar med branschorganisationer och datacenteroperatörer som har undertecknat initiativet och andra branschaktörer inom områdena energieffektivitet, ren energi, vatten, cirkulär ekonomi, cirkulärt energisystem och styrning. Pakten samordnar kommunikationen mellan initiativets undertecknare och Europeiska unionen. Deras huvudsakliga inriktning har utvecklats till att samarbeta med EU om en lämplig nivå av datacenterövervakning både från EED och CSRD. (Climate Neutral Data Centre, 2022)

Sustainable Digital Infrastructure Alliance (SDIA) är systemsamordnare för den digitala sektorn, en samarbetsplattform för hela värdekedjan att samlas och lösa hindren för en hållbar digital ekonomi. SDIA öppnar upp samarbete över hela ekosystemet, alliansen styrs av en oberoende färdplan med områdena utsläpp, energiförbrukning, elektroniskt avfall, resursförbrukning, föroreningar och socioekonomisk förespråkande av transparens som grunden för hållbarhet. (SDIA, 2022)

iMasons Climate Accord är ett konsortium av företag som accepterat en öppen standard och styrning för att rapportera koldioxidpåverkan i material, produkter och energi för digital infrastruktur. Den digitala infrastrukturens mognadsmodell är ett standardiserat ramverk som används för att mäta framstegen när det gäller att minska inbäddat kol i material som används för att bygga datacenter, inbäddat kol hos produkter som används i datacenter och koldioxidintensiteten per timme för elkraft som används för att driva datacenter. Målet är global koldioxidredovisning för varje unik datacenterplats under dess livstid, vilket görs genom de fyra områdena: Energi-, material-, utrustning- och arbetsgruppen för mognadsmodeller. Deltagande företag kommer att stödja ett koldioxidmärkningsschema för produkter och datacenterbyggnader i samband med spårning av koldioxidintensitet. (Climate Accord, 2022)

Framtida arbete

Framtida arbete inom området för att följa utvecklingen av datacenter, dess teknologier och energianvändning är att utvärdera den över en längre tidsperiod inklusive en kartläggning som ett uppdrag från regeringen. Uppdraget kan vara som en förberedelse inför det kommande EU-direktivet om rapportering och datainsamling av mätvärden från datacenterbranschen. Den nationella branschorganisationen för datacenter skulle kunna involveras i informationskampanjen och utvärderingen.

Ett annat viktigt och angeläget framtidsarbete är att ta fram och skriva en strategi för datacenterbranschen i Sverige. Det finns ett behov av att genomföra statliga satsningar kring datacenter och koppla det till målen i den svenska närings- och energipolitiken. En del av det är att utveckla en färdplan för investeringar i FoU för effektiv nästa generations dator- och telekommunikationsdatacenterinfrastruktur.

Slutsatser

Slutsatsen är att tillväxten av energianvändningen i datacenter är stark i Sverige och den absoluta nivån kommer att vara väsentlig till 2025 och framåt, men fortfarande inte på de dramatiska nivåer som de oinvidge nämner. Många hyperskaliga datacenteroperatörer etablerar sig i Sverige och beräkningslasten flyttar från Europa driver efterfrågan. RISE bedömer att den nuvarande energianvändningen av datacenter i Sverige är 2,8–3,2 TWh

per år 2022 och att den beräknade energianvändningen kommer att vara 4,0–4,4 TWh per år 2025. Efter 2025 finns många osäkerheter, och uppskattningen är 4,4–5,2 TWh per år till 2030.

Slutsatsen är också att detta är en viktig industri för svensk teknikutveckling, digitaliseringen och grön omställning. Digitala tjänster som telekom, media, AI och automation som finns i datacenter är viktiga och nödvändiga för det svenska samhället och industrin och datacentersektorn är därför mycket viktig för svensk suveränitet och teknikledarskap. Forskning och innovation är nyckelingredienser för fortsatta förbättringar av energieffektivitet, driftprestanda och energisystemintegration (European Commission, 2022).

Referenser

- Acton, M., Bertoldi, P., & Booth, J. (2022). *2022 Best Practice Guidelines for the EU Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency*. Brussels: European Commission.
- Brink, R. (2019). *The Datacenter of the Future, Whitepaper revision 4*. Asperitas.
- Cambridge Centre for Alternative Finance. (den 18 November 2022). *Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index*. Hämtat från Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index: <https://ccaf.io/cbeci/index>
- Center of Expertise for energy efficient in data centers. (den 09 December 2022). Hämtat från Resources: <https://datacenters.lbl.gov/resources>
- Cisco. (2018). *Global Cloud Index: Forecast and Methodology, 2016-2021*. Cisco.
- Climate Accord. (den 21 12 2022). Hämtat från <https://climateaccord.org/>
- Climate Neutral Data Centre. (den 21 12 2022). *Climate Neutral Data Centre Pact*. Hämtat från <https://www.climateneutraldatacentre.net/>
- DIMPACT and Carbon Trust. (2021). *Carbon Impact of Video Streaming*. DIMPACT and Carbon Trust.
- Energimyndigheten. (2022). *Metoder för att följa utvecklingen av energianvändning för digital infrastruktur och digitala system" (dnr 2022-010371)*.
- European Cloud Edge Investment. (2021). *European industrial technology roadmap for the next generation cloud-edge offering*. European Cloud Edge Investment.
- European Commission. (2021). *2030 Policy Programme "Path to the Digital Decade"*.
- European Commission. (den 21 12 2022). *Energy Efficiency Directive (recast) - Compromise amendment 1*. Hämtat från https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2014_2019/plmrep/COMMITTEES/ITRE/DV/2022/07-13/EED_FinalCompromiseAmendment_EN.pdf
- European Commission. (den 18 November 2022). *Energy efficiency directive*. Hämtat från https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en

European Commission. (den 18 November 2022). *Green cloud and green data centres*.

Hämtat från Shaping Europe's digital future: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/green-cloud>

Francart, N., & Höjer, M. (2019). *Digitalisering och miljömålen*. Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan, Institutionen för hållbar utveckling miljövetenskap och teknik (SEED).

Fryer, E. (den 5 December 2022). *Data Centres: A Day in YOUR Life*. Hämtat från Data Centres: A Day in YOUR Life: <file:///C:/Users/jeanettepe/Downloads/Data-Centres-A-Day-In-YOUR-Life-2013.pdf>

Global e-sustainability Initiative. (2015). *#SMARTer2030, ICT Solutions for 21st Century Challenges*. Global e-sustainability Initiative.

Hintemann, R. (2020). *Efficiency gains are not enough: Data center energy consumption continues to rise significantly*. Berlin: Borderstep Institute for Innovation and Sustainability.

IEA. (2021). *Data centres and data transmission networks, Tracking report*. IEA.

IEA. (2022). *Data Centres and DataTransmission Networks*. IEA.

ISO/IEC. (april 2016). *ISO/IEC 30134-2:2016 Information technology — Data centres — Key performance indicators — Part 2: Power usage effectiveness (PUE)*. Hämtat från ISO: <https://www.iso.org/standard/63451.html>

Jin, C., Bai, X., Zhang, X., Xu, X., Tang, Y., & Zeng, C. (2022). A measurement-based power consumption model of a server by considering inlet air temperature. *Energy*.

Kamiya, G. (2021). *Data centres, energy efficiency, and energy transitions*. IAE.

Malmén, K. (2022). *Metodanalys för att bedöma energiåtgången för utvinning av kryptotillgångar i Sverige - arbetsdokument*. Stockholm: Finansinspektionen.

Malmodin, J. (2022). *Energy consumption and carbon footprint of ICT and E&M*. Seminar at Teknikföretagen, 29 September.

Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., & Koomey, J. (2020). Recalibrating global data center energy-use estimates. *Science Magazine*, Vol 367 Issue 6481.

Miller, R. (2019). *Report: Data Center Rack Density is Rising, and Heading Higher*. Hämtat från Data Center Frontier:

<https://www.datacenterfrontier.com/cooling/article/11429309/report-data-center-rack-density-is-rising-and-heading-higher>

Montevecchi, F., Stickler, T., Hintemann, R., & Hinterholzer, S. (2020). *Montevecchi, F., Stickler, T., Hintemann, R., Hinterholzer, S. Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market. Final Study Report.* Vienna.

Mytton, D., & Ashtine, M. (2022). Sources of data center energy estimates: A comprehensive review. *Joule*, Volume 6, Issue 9, Pages 2032-2056.

Nordic Balancing Model. (den 29 11 2022). Hämtat från <https://nordicbalancingmodel.net/>

OneClick LCA. (den 22 December 2022). *Launch of UKGBC's 'Guide to Scope 3 Reporting in Commercial Real Estate.* Hämtat från <https://www.oneclicklca.com/launch-of-ukgbcsguide-to-scope-3-reporting-in-commercial-real-estate/>).

OVHcloud. (u.d.). *New Hybrid Immersion Liquid Cooling developments at OVHcloud.* Hämtat från <https://blog.ovhcloud.com/new-hybrid-immersion-liquid-cooling-developments-at-ovhcloud/> den 5 December 2022

Riksrevisionen. (2022). *Statliga insatser för att stimulera investeringar i datacenter.* Stockholm: Riksrevisionen.

RISE. (2022). *Energy use in crypto currency mining.* Luleå: RISE.

RISE Research Institute of Sweden. (den 5 December 2022). *ICE data center.* Hämtat från <https://ri.se/ice>

Roger R. Schmidt. (den 1 08 2005). *Liquid Cooling is Back.* Hämtat från Electronic Cooling: <https://www.electronics-cooling.com/2005/08/liquid-cooling-is-back/>

Sarkinen, J., Brännvall, R., Gustafsson, J., & Summers, J. (2020). Experimental Analysis of Server Fan Control Strategies for Improved Data Center Air-based Thermal Management. *19th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm)*, (ss. 341-349).

SDIA. (den 21 12 2022). *Sustainable Digital Infrastructure Alliance.* Hämtat från <https://sdialliance.org/>

Shehabi, A. S. (2016). *United states data center energy usage report.*

Sundström, O. (2016). *Digitizing Europe: Why Northern European Frontrunners Must Drive Digitization Of The EU Economy*. The Boston Consulting Group.

Svenska Kraftnät. (2021). *Systemutvecklingsplan 2022-2031*. Sundbyberg.

Svenska Kraftnät. (den 29 11 2022). *Ny nordisk balanseringsmodell (NBM)*. Hämtat från Svenska Kraftnät: <https://www.svk.se/utveckling-av-kraftsystemet/systemansvar-elmarknad/ny-nordisk-balanseringsmodell-nbm/>

Svenska Kraftnät. (den 29 11 2022). *Om olika reserver*. Hämtat från Svenska Kraftnät: <https://www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/om-olika-reserver/>

Swedish Data Center Industry. (den 5 December 2022). *Swedish Data Center Industry*. Hämtat från Swedish Data Center News: <https://sdia.se>

TechUK. (u.d.). *How the Internet works*. United Kingdom: TechUK. Hämtat från <file:///C:/Users/jeanettepe/Downloads/how-the-internet-works-schematic-2020.pdf>

The European Parliament. (den 21 12 2022). *Directive (EU) 2022*. Hämtat från <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-35-2022-INIT/en/pdf>

The Linux Foundation. (2021). *The State of the Edge*. The Linux Foundation.

The Roundup. (2021). *17 Shocking E-Waste Statistics In 2022 - The Roundup*. The Roundup.org.

Uptime Institute. (den 22 12 2022). Hämtat från <https://uptimeinstitute.com/>

Wallin, M., Werner, R., & Olofsson, S. (2020). *Datacenter i Sverige 2020-2025*. Radar Ecosystem Specialists.

Warrenstein, A., Lind, F., Sundström, O., & Deutscher, S. A. (2016). *Capturing the data center opportunity*. Boston Consulting Group.

Wikman, M. (2022). Chief Commercial Officer Node Pole. (T. Minde, Intervjuare)

Teamet på RISE

ICE datacenter är en del av Sveriges största forskningsinstitut RISE och är den ledande forskargruppen med den största öppna forskningsanläggningen för datacenter i Europa. ICE står för "Infrastructure and Cloud research & test Environment" och är en testbädd med fokus på digitalisering, digitala system och IT-infrastruktur. Centret koordinerar nationella forskningsprojekt samt testning och utveckling av alla funktioner i teknikstacken; infrastrukturen och konstruktionen av datacenter, edge- och molnapplikationer, IT-arkitektur och maskininlärning. ICEs uppdrag är att sätta Sverige i framkant inom området energieffektiva datacenterlösningar, hållbarhet inom IT-infrastruktur, edge computing, molnapplikationer och dataanalys. RISE kan erbjuda konsultstöd med både bredd och djup för att utföra uppdrag kring energianvändning i datacenter och digitala system.

Uppdragsledare var Tor Björn Minde som idag är chef för RISE ICE Datacenter. I implementeringsteamet ingick Jeanette Petersson projektledare, Tina Stark juniorforskare, Jonas Gustafsson doktor och seniorforskare samt Mattias Vesterlund doktor och seniorforskare. Kvalitetssäkring gjordes av Jon Summers professor och vetenskaplig ledare inom datacenter vid forskningsinstitutet.

Rapport till Sveriges Energimyndighet från RISE i uppdraget
“Konsultuppdrag om energianvändning i datacenter och
digitala system”.