Energimyndigheten

Datum
2023-02-02

Avdelningen för systemanalys, försörjningstrygghet och statistik
Enheten för energisystem

Energianvändning för utvinning av kryptovaluta

Under hösten 2022 gav Energimyndigheten i uppdrag till konsulten RISE (Rise Research Institutes of Sweden AB) att ta fram en rapport om energianvändning för utvinning av kryptovaluta, som ett underlag till myndighetens regeringsuppdrag om *Metoder för att följa utvecklingen av energianvändning för digital infrastruktur och digitala system*, där även en särskild bedömning skulle göras avseende energiåtgången för utvinning av kryptotillgångar i Sverige. Konsultuppdraget genomfördes under andra halvan av hösten 2022 och slutrapporterades till Energimyndigheten i januari 2023.

I konsultuppdraget ingick att redogöra för olika metoder för att beräkna energiåtgången för utvinning av kryptotillgångar i Sverige. Ett annat syfte var att bidra kunskapshöjande med en beskrivning av kryptomarknaden och dess utveckling. Denna rapport utgör slutrapporten i konsultuppdraget. I nära anslutning till detta arbete togs även ytterligare en rapport fram, *Energianvändning i datacenter och digitala system*.

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.

Postadress: Box 310 • 631 04 Eskilstuna • Besöksadress Gredbyvägen 10
Telefon 016-544 20 00
registrator@energimyndigheten.se
www.energimyndigheten.se
Org.nr 202100-5000

Energianvänding för utvinning av kryptovaluta

Rapport till Statens Energimyndighet från RISE i uppdraget “Konsultuppdrag om energianvändning för utvinning av kryptovaluta”.

Kontaktperson RISE
Tor Björn Minde
+46 70 624 29 59
tor.bjorn.minde@ri.se

Sammanfattning

Denna rapport innehåller en särskild bedömning avseende energianvändningen för utvinning av kryptovaluta i Sverige, samt dess påverkan på energisystemet.

Ny teknik som blockkedjor har uppmärksammats på grund av dess ökade efterfråga på infrastruktur och energianvändning. Blockkedjor erbjuder ett nytt sätt att genomföra och registrera transaktioner. Det kallas kryptovaluta och är en form av digital valuta. Nackdelen är att vissa kryptovalutor för närvarande kräver en avsevärd mängd elektricitet för proof-of-work (bevis genom arbete) bearbetning av tillgångsgenerering, ägande och utbyte. Nyligen har kryptovalutan Ethereum ändrat sin konsensusmekanism till proof-of-stake (bevis genom innehav) vilket gör att energianvändningen minskar drastiskt.

Rapporten kommer att omfatta infrastruktur för utvinning av kryptovaluta. Ett datacenter för utvinning av kryptovaluta är en anläggning som innehåller grafiska bearbetningsenheter GPU-servrar i skåp eller ASIC-utvinningsriggar på hyllor och utrustning som stödjer utvinningen exempelvis kylutrustning. Konsensusalgoritmerna för proof-of-work, som för närvarande används för Bitcoin och andra blockkedjor, kräver en beräkningsintensiv process som löser ett matematiskt problem.

För att bedöma energianvändningen finns några metoder tillgängliga. Inom den korta tidsramen av denna studie förlitar sig RISE på redan tillgängliga rapporter, intervjuer och viss statistik. I det långa loppet bör ett statligt policybaserat krav på rapportering från kryptovalutaoperatörerna säkerställa transparens och kvalitet i bedömningen.

Sveriges andel av den globala Bitcoin-energianvändningen ligger på cirka 1 % enligt data från Cambridge University. Nodepole estimerar att kryptovaluta anläggningar i Sverige har ca 200 MW installerad effekt. RISE bedömer att data från Cambridge University och Nodepole är tillförlitligt och energianvändningen för infrastruktur för utvinning av kryptovaluta har varit ungefär oförändrad sedan 2021 fram till slutet av 2022. Nivån på årlig energianvändning i Sverige ligger då mellan 1–1,5 TWh per år och troligtvis närmare 1,5 TWh. På grund av nya skatteregler, höga energipriser, ekonomisk nedgång och kryptovalutors värdesänkning samt att en övergång mot proof-of-stake-metoder pågår, förväntas den årliga energianvändningen gå ner under 1 TWh till år 2025.

Bitcoin föddes 2008 när Satoshi Nakamoto publicerade en artikel som kombinerade flera teknologier till ett distribuerat säkert digitalt kontantsystem. Kryptovalutor kan användas för betalningar, investeringar, spekulationer eller som ett finansiellt kapital. Internationell lagstiftning och policyskapande har framgångsrikt tagit itu med miljöpåverkan från kryptovalutor. Den kommande uppdaterade lagstiftningen, EU:s energieffektivitetsdirektiv, kommer sannolikt att kräva att aktörerna rapporterar miljö- och klimatpåverkans-information.

Med en stabil och hög arbetsbelastningsnivå på kryptovalutadatacenter och möjligheten att planera underhållsstopp är denna typ av datacenter lämpliga för integration med både el- och värmenäten. Kryptovalutadatacenter kan användas både för att stabilisera frekvensen i nätet och för att återvinna den stabila överskottsvärmen.

Under 2015 lanserade en kryptovaluta kallad Ethereum ett koncept som kallas smarta kontrakt. De kan användas i applikationer för decentraliserade säkra databaser för andra transaktioner än valuta. Web 3.0 är en utveckling av konceptet där individer kan få behålla ägandet av sina egna data. Andra konsensusmekanismer är under utveckling som kan bidra till att minska energianvändningen samtidigt som de adresserar skalbarhet och latensproblem.

Innehållsförteckning

Ordlista

ASIC	Applikationsspecifik integrerad krets
Bitcoin	Den vanligaste kryptovalutan som baseras på proof-of-work
CAGR	Summerad årlig tillväxttakt, Compound Annual Growth Rate
CO_2e	Koldioxidekvivalent
CPU	Centralprocessor, Central Processing unit
Ethereum	En annan vanlig kryptovaluta numera baserad på proof-of-stake
GHG	Växthusgas
GPU	Grafikprocessor, Graphical Processing Unit
H/s	Hashrate, Hashoperationer per sekund
H/J	Hashoperationer per Joule,
IEA	Internationella Energimyndigheten
Proof-of-stake	Bevis baserat på innehav, bevis genom mängden innehav
Proof-of-work	Bevis baserat på arbete, kryptografiskt bevis genom beräkningar
PUE	Power Usage Effectiveness, total energi delat med IT-energin
YTD	Från dag ett av året till gällande datum, Year-To-Date
YTY	Årligen, Year-To-Year

Introduktion

Svenska Energimyndigheten har gett RISE i uppdrag under ramavtalet, Ramavtal angående Konsultstöd gällande Energikonsulter för Energimyndigheten Dnr 2022–9156, att bedöma den aktuella statusen och utvecklingen av energianvändningen för utvinningen av kryptovaluta i Sverige, samt dess påverkan på energisystemet.

Denna rapport är en parallell rapport till en studie om utvecklingen av energianvändningen för digital infrastruktur och digitala system, i synnerhet datacenter. Denna rapport kommer att innehålla det som är speciellt för kryptovaluta och hänvisa i tillämpliga fall till den medföljande rapporten "Energianvändning i datacenter och digitala system" (RISE , 2022) för mer allmän datacenterinformation.

Den stödjande informationen från denna rapport kommer att användas i den interna kompetensutvecklingen och kunskapsskapandet samt utgöra underlag för en rapport till svenska regeringen från Energimyndigheten (Energimyndigheten, 2022). Målet för Energimyndigheten är att få ett förslag på en metod för att övervaka och utvärdera den aktuella statusen för energianvändningen vid utvinning av kryptovaluta. Målet är också att öka kunskapen om teknologier och EU initiativ som kommer att påverka den framtida utvecklingen av energianvändningen inom sektorn. Det finns också ett intresse för hur kryptovalutaanläggningar (kryptodatacenter) kan interagera med energisystemet.

På grund av framväxande digitala teknologier som exempelvis digitala tillgångar i form av blockkedjor kommer efterfrågan på datacentertjänster att öka. Den höga energiåtgången för några av de digitala tillgångarna har fått uppmärksamhet på grund av ökad efterfrågan på energi på grund av dess tillväxt. Blockkedjor är digitala tillgångar baserade på teknik för en distribuerad huvudbok, som en databas. Digitala tillgångar är en form av värde, representerad digitalt. Digitala tillgångar kan vara värdefulla för individer, samhälle och företag, och har potential för mer värde med nya framtida hållbara användningsfall.

Blockkedjor erbjuder ett nytt sätt att genomföra och registrera transaktioner, som att skicka pengar. I en traditionell handel verifierar och loggar centrala myndigheter (till exempel banker) transaktioner. Blockkedjor tar bort behovet av en central myndighet; i stället delas huvudboken (databasen) och valideras över ett distribuerat nätverk av datorer som kör en viss programvara för blockkedjan (Kamiya, 2019).

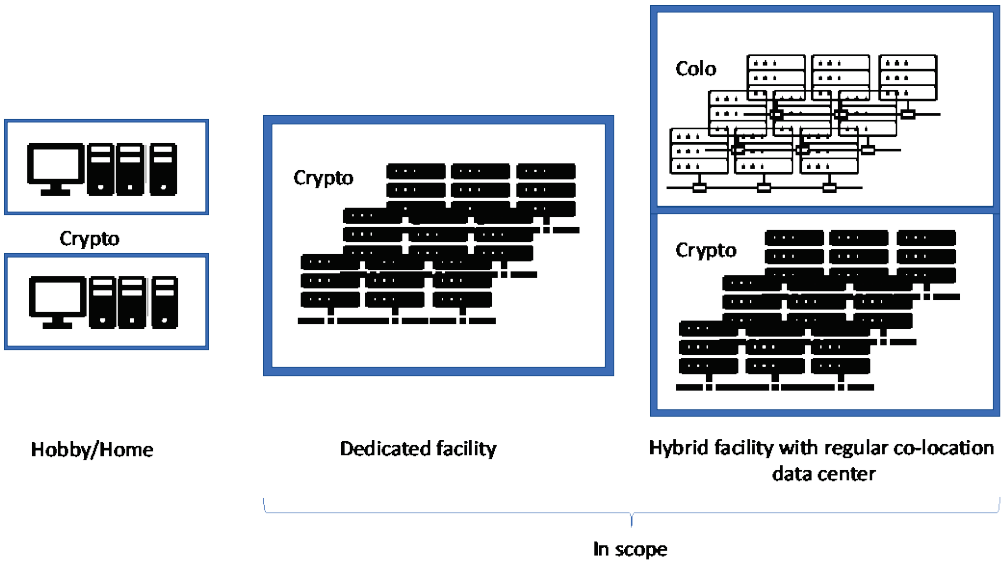
Kryptovalutor är digitala tillgångar som implementeras med hjälp av kryptografiska tekniker och har ett totalt globalt marknadsvärde på nästan 1 biljon dollar (White House Office of Science and Technology Policy, 2022). Nackdelen är att vissa kryptovalutor för närvarande kräver en avsevärd mängd elektricitet för proof-of-work bearbetning av tillgångsgenerering, ägande och utbyte. Diskussionen handlar om värdet för samhället

jämfört med dess elanvändning som bidrar till utsläpp av växthusgaser och belastning på elnätet.

Bitcoin, det mest kända exemplet på proof-of-work blockkedja och den mest värdefulla kryptovalutan efter börsvärde, använde uppskattningsvis 105 TWh under 2021 globalt, 20 gånger mer än vad den använde 2016. Ethereum, näst efter Bitcoin när det gäller börsvärde och energianvändning, använde cirka 17 TWh under 2021. I september 2022 övergick Ethereum från en konsensusmekanism med proof-of-work till proof-of-stake, vilket förväntas minska energianvändningen med 99,95 %. När blockkedjeapplikationer blir mer utbredda kan förståelse och hantering av deras energianvändningsimplikationer bli allt viktigare för energianalytiker och beslutsfattare (IEA, 2022).

Studiens omfattning

Rapporten kommer att omfatta infrastrukturer för utvinning av kryptovaluta, se Figur 1 nedan. Det är en specialiserad datacenteranläggning för servrar som bearbetar generering av tillgångar. Vissa datacenteroperatörer driver en hybridmiljö med en del som ett vanligt colocation-datacenter och en annan del specialiserad på utvinning av kryptovaluta. Det finns även hobbyaktivister. Vissa individer har några servrar i gång hemma eller på annan plats. Mängden av denna aktivitet är svår att kontrollera eller uppskatta men ingår i trafikstatistik för valutaväxlingar. Dessa kommer inte att tas upp i denna rapport på grund av tidsbrist, då det kommer att ta lång tid att hitta dem alla, och energianvändningen är liten jämfört med de stora aktörerna. Hobbyaktiviteterna består mestadels av Ethereum-utvinning på GPU:er då ASIC-riggar kräver större investeringar.



Figur 1: Olika typer av infrastrukturer för kryptovaluta

Grunderna i kryptovalutautvinning

Utvinningsanläggningen är ett specialiserat datacenter

Ett datacenter för utvinning av kryptovaluta är en anläggning som innehåller GPU-servrar (datorer) i skåp (rack) eller ASIC utvinningsriggar på hyllor och utrustning som stödjer utvinningen, se Figur 2 nedan. Det är en mycket enklare design jämfört med ett konventionellt datacenter. Vanligtvis finns det inga reservkraftsystem (batterier eller dieselgeneratorer) och strömfördelningen är bara en matning utan reservkraftsfördelning eftersom ett strömavbrott inte är ett stort problem. Beräkningen startas bara om efter ett strömavbrott. Kylsystemet å andra sidan kan vara mer avancerat eftersom effekttätheten för GPU- och ASIC-rack är mycket högt, nära 100 kW per rack. Vätskekylning eller stora fläkt-väggar behövs för att kyla servrarna.

Figur 2: Datacenteranläggning för kryptovaluta med ASIC-riggar (Summers, 2021)

Teknik för blockkedjor

Tillgången betraktas endast som kryptovaluta om den är beroende av kryptografi och teknik för digitala huvudböcker, såsom blockkedja. En distribuerad huvudbok är en databas där deltagarna registrerar transaktioner. En konsensusmekanism används för att komma överens om redovisningsposter och transaktioner. Huvudbokens databas tillhandahåller ett sätt för alla deltagare att skicka transaktionsuppdateringar. Olika konsensusmekanismer använder olika regler för detta.

De vanligaste egenskaperna hos blockkedja-tekniken är:

- Oföränderlig: databasen är permanent och oföränderlig
- Decentraliserat och distribuerad: Det finns ingen centraliserad förvaltningsmyndighet som fattar alla beslut och lagrar data. Besluten och databasen distribueras till ett nätverk av oberoende noder. Vem som helst kan gå med i blockkedja-nätverket.
- Säker: Stark kryptografi används för att säkerställa att ingen kan ändra eller radera databasen på nätverket
- Konsensus: I hjärtat av varje blockkedja ligger en konsensusalgoritm. Detta behövs eftersom ingen kan lita på andra (nollförtroende). Algoritmen måste se till att alla noder på nätverket kan nå en överenskommelse om sanningen (konsensus).

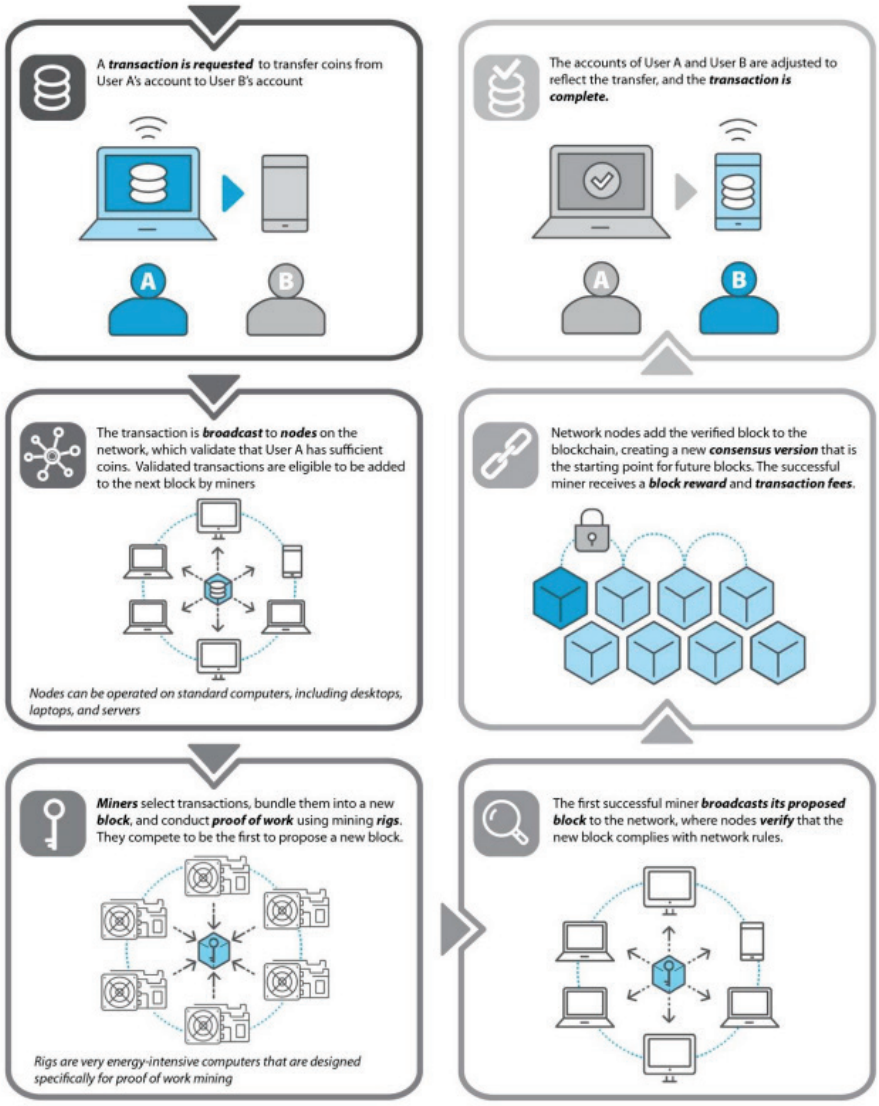
Databasen i en blockkedjeteknik kallas en huvudbok (”ledger”). Det är i grunden en lång lista av transaktioner som är uppdelade i block som länkar samman till en kedja (blockkedja). En transaktion är en värdepost (ex. Bitcoin) som överförs från en adress till en annan. Adressen kan jämföras med ett bankkonto. Hela huvudboken är tillgänglig för alla att läsa. Poster i huvudboken raderas aldrig, så den växer för evigt (gäller för Bitcoin, det finns andra kryptovalutor där historik raderas).

Konsensusmekanism baserat på bevis av utfört arbete

Konsensusmekanismerna för proof-of-work, som för närvarande används för Bitcoin och andra blockkedjor, kräver en beräkningsintensiv process, som löser ett matematiskt problem, som ska slutföras innan en uppsättning uppdateringar, eller "block", valideras och läggs tills vidare till huvudboken. För att lägga till block till huvudboken krävs en betydande energikrävande beräkningsansträngning av deltagarna och det gör det svårare för illvilliga deltagare att lägga till en felaktig redovisning. Figur 3 visar en översikt över proof-of-work utvinning av kryptovaluta.

Deltagarna i nätverket tävlar om att lösa det komplexa matematikproblemet. Varje gissning som en utvinnare gör på lösningen är känd som en "hash", medan antalet gissningar som utvinnaren gör varje sekund är känt som dess "hashrate" (H/s). När problemet är löst godkänns det senaste "blocket" av transaktioner och läggs till i "kedjan" av transaktioner (i huvudboken).

Deltagarna uppmuntras att lägga till block genom att få ersättning i form av nypräglad kryptovaluta och insamlade avgifter i samband med transaktioner inom blocket. Deltagare som är aktiva med att skicka block till huvudboken kallas utvinnare (eng. miners).



Figur 3: Proof-of-work utvinning av kryptovaluta (White House Office of Science and Technology Policy, 2022).

För att locka fler utvinnare och datorresurser för att lösa det kryptografiska matematikproblemet, blir utvinningsbelöningarna mer värdefulla när en kryptovaluta blir mer värdefull. När fler datorresurser tillförs av deltagarna justeras matematikproblemet för att bli svårare. Detta kommer att hålla den genomsnittliga tid som krävs för att hitta en lösning ungefär konstant. Detta är också nackdelen med metoden. Energieffektiviserings-vinster byts också mot ökad svårighetsgrad, och det tillför mer resurser i stället för att förbättra det skapade värdet dividerat med energibehovet. Till skillnad från vanlig datacenterdrift har effektivitets-vinsterna resulterat i att mer arbetsbelastning per energi lagts in.

Det betyder att proof-of-work-nätverk i allmänhet kommer att använda mer energi när kryptovalutans värde växer, så länge som fördelningen av kryptovalutan mellan deltagarna förblir konstant. Tillväxten av det totala värdet har engagerat många tusen deltagare, som använder generell (GPU) och anpassad (ASIC) hårdvara, vilket drar stora mängder energi.

Andra konsensusmekanismer

Det finns alternativ till den energiintensiva konsensusmekanismen för proof-of-work. Ett alternativ är proof-of-stake, som används för nätverk som Solana, Cardano och nu Ethereum 2.0 bland andra. I proof-of-stake-nätverk kallas deltagarna för validatorer. För att få möjligheten att bli vald att lägga till ett nytt block av transaktioner till huvudboken, så sätter validatorerna ”en insats”, en mängd kryptovaluta. Ju mer kryptovaluta en validator satsar, eller ju längre tid insatsen är låst, desto större är chansen att bli vald. Om en validator publicerar felaktiga uppgifter eller en bedräglig transaktion finns det en risk att insatsen förloras.

Flera varianter finns inom proof-of-stake konsensusmekanismen. Variationerna delar generellt principen att förtroende skapas av en deltagares vilja att riskera sin värdefulla kryptovaluta. Energianvändningen av proof-of-stake-baserade kryptovalutor är mycket lägre än proof-of-work kryptovalutor eftersom proof-of-stake-deltagande är beroende av riskerad kryptovaluta snarare än att använda datorkraft för att validera transaktioner.

De olika konsensusmekanismerna har olika styrkor och svagheter. Det finns ingen överenskommen "bästa praxis" på kryptovalutamarknaden. Nya konsensusmekanismer är under utveckling och kommer att dyka upp i framtiden. En ansvarsfull utveckling av digitala tillgångar skulle innebära en konsensusmekanism som stödjer minimering av energianvändningen och miljöpåverkan samtidigt som man maximerar fördelarna för slutanvändaren och samhället.

Det finns många andra typer av konsensusmekanismer, inklusive men inte begränsat till bevis på kapacitet och praktisk bysantinsk feltolerans, som båda för närvarande används av befintliga kryptovalutor. Det finns också andra problem som påverkar en kryptovalutas användning och marknadsacceptans, inklusive skalbarhet, säkerhet mot manipulering och förfalskning, genomströmning, latens och decentralisering. (White House Office of Science and Technology Policy, 2022).

Metod för bedömning av energianvändningen för krypto-utvinning i Sverige

Finansinspektionen har gjort en metodanalysrapport för att bedöma energiförbrukningen för utvinning av kryptotillgångar i Sverige (Malmén, 2022). Denna rapport innehåller 9 olika metoder.

Tabell 1: 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 bedrivas. En uppdelning i olika kategorier, inte enbart för att analysera kryptomining. 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, kryptomining.
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 – elsubvention**	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 importeras 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 kryptovalutaanläggningar i Sverige. Den kommer dock inte att vara användbar som metod för denna rapport eftersom metoden kommer kräva vissa lagändringar och en lång period av datainsamling, helst ett år för att ta

hänsyn till säsongsvariationerna. Många av de föreslagna metoderna kräver långa perioder av datainsamling, som metod 4, 5, 6 och 9. Metod 7 kan vara snabb, men det är inte garanterat att alla datacenter eller kryptovalutaanläggningar blir rapporterade, eftersom inte alla gör anspråk på skattereduktion. Det kan också vara svårt att skilja kryptovalutautvinnare från andra verksamheter i datacentren. Metod 7 kommer inte heller att vara ett alternativ för framtiden eftersom skattereduktionen försvinner.

Data från dessa metoder ger en indikation på den energi som används, inte en exakt siffra. Men i kombination med de använda metoderna nedan kan tillförlitligheten hos den insamlade informationen ökas.

- En litteraturstudie har använts för att identifiera intressenter för undersökningarna, samt trender, möjliggörare och fördelar.
- Statistiska data och kvantitativa data har samlats in baserat på en rad datakällor. Till exempel metod 3 ovan.
- Semistrukturerade intervjuer har använts för att diskutera en lista med frågor med intressenter.

Figur 4: Metoderna för bedömning av energiåtgången för utvinning av kryptovaluta i Sverige är statistikdata (grön), litteraturstudie (blå), Cambridge University – energianvändning och geografisk fördelning (lila) och semistrukturerade intervjuer (gul). Alla inputs har sedan analyseras och använts för att kvantifiera den totala energiåtgången i Sverige (moln)

Kryptovalutautvinningsindustrin utvecklas snabbt, därför behövs flexibilitet i teknikerna för att beskriva, analysera och förutse dess utveckling. Metodverktygslådan innehåller därför 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 datakällor har RISE samlat in data och information från flera datakällor. RISE har samlat in kvalitativ och kvantitativ information

om marknadsutvecklingen från både svenska och internationella företag. Trots denna portfölj av metoder kan det fortfarande vara svårt att kartlägga energianvändningen för småskaliga kryptovalutautvinnare. Främst för att småskaliga kryptovalutautvinnare är små 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 kommer att vara ovilliga att dela, särskilt om det är osäkert för dem vem som kommer att få tillgång till dessa uppgifter. För att övervinna detta har RISE sett till att alla deltagare är medvetna om syftet med datainsamlingen och tydligt kommunicerar processen för hantering av känsliga data eller information. Känsliga uppgifter har anonymiserats och presenteras endast i aggregerad form. Exempel på frågor till intervjupersonerna var hur utvecklingen av energianvändningen ser ut och hur utvecklingen i Sverige var, är och kommer att bli jämfört med Europa.

För att göra en bedömning av den nuvarande situationen för energianvändning för kryptovalutaanläggningar i Sverige använde RISE den valda kombinationen av metoder som beskrivs ovan. Metoden och data från Cambridge University (Cambridge Centre for Alternative Finance, 2022) användes som utgångspunkt. RISE jämförde det sedan med globala rapporter och intervjuer och bedömde den nuvarande och framtiden för energianvändningen. Intervjuerna har gjorts med Branschförbundet Svensk Datacenter, Business Sweden, Vattenfall, Nodepole, Finansinspektionen och Skatteverket.

Cambridge University-metoden Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index (CBECI) uppskattar den totala elanvändningen och regional uppdelning. Cambridge beräknar total energianvändning för Bitcoin, andelen i vilket land elektriciteten används för utvinning och vilka utsläpp verksamheten sannolikt innebär. Genom att kombinera den genomsnittliga globala energianvändningen per månad med den svenska andelen är det möjligt att beräkna den svenska elförbrukningen för utvinning av kryptovaluta per månad. Cambridge kan betraktas som en oberoende och pålitlig källa. Det är dock beroende av utvinningspoolernas anonymiserade data och några antaganden i beräkningen. Dessutom finns det risk för felaktiga data på grund av VPN-trafik/omdirigerad trafik (Malmén, 2022).

Nodepole har gjort intervjuer med huvudintressenter inom kryptovalutaindustrin i Sverige (Wikman, 2022) och delat med sig av deras huvudslutsats som låg till grund för uppskattningen av all annan energianvändning för utvinning av kryptovaluta än Bitcoin. Nodepole är ett bolag, ägt av Vattenfall och Skellefteå Kraft, som erbjuder stödtjänster för platsvals för energiintensiva industrier i hela Sverige. De har varit involverade i alla större etableringar av datacenter, batterifabriker, ståltillverkningsfabriker samt utvinnings-anläggningar för kryptovaluta. De har under våren 2022 intervjuat kryptovalutans utvinnings-ekosystem, det vill säga utvinningsbolag och tjänsteföretag för utvinningsbolag

från alla delar av Sverige. Fokus har legat på nuvarande energianvändning och rapporterades till Riksrevisionen. Nodepole kan anses vara en pålitlig källa.

Bedömning av nuvarande status för kryptovaluta i Sverige

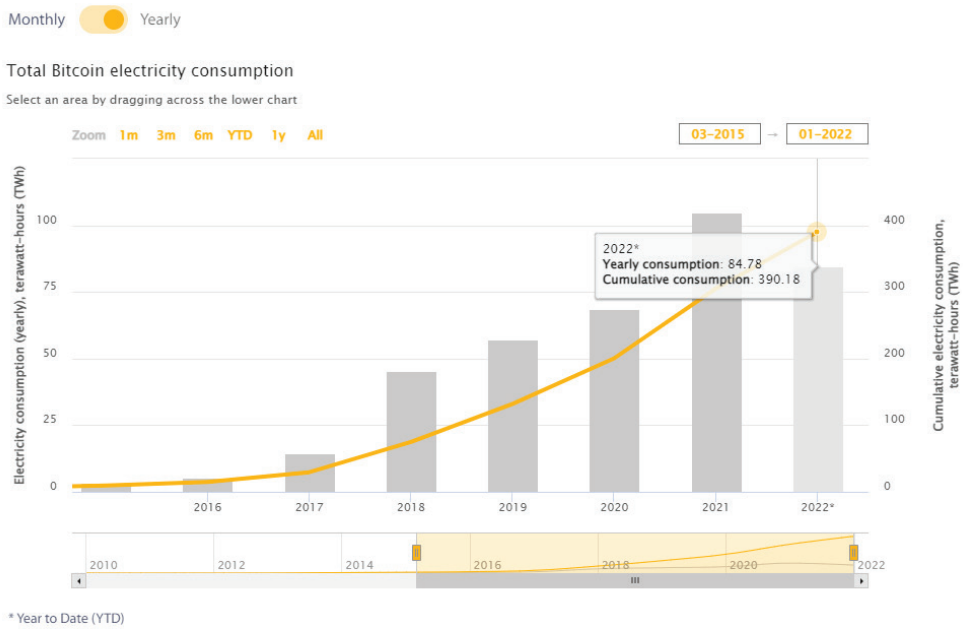
Eftersom det bara är kryptovalutautvinning baserad på proof-of-work konsensusmetoder som kan ha hög elanvändning, fokuserade RISE på det. Före den 15 september 2022 var det framför allt kryptovalutorna Bitcoin och Ethereum som i praktiken drev hög faktisk elanvändning. Nuförtiden använder Ethereum metoden proof-of-stake-konsensus, vilket innebär betydligt lägre elförbrukning (minskad med 99,95 procent) (Ethereum, 2022). Därför är det bara elanvändningen från Bitcoin-utvinning och andra proof-of-work-baserade kryptovalutor som nu behöver bedömas och detta betyder också att utrustningen som används för kryptovalutautvinning mestadels består av specialbyggda ASIC-datorer (Malmén, 2022).

Bitcoin-nätverkets energianvändning är en funktion av några inbördes relaterade faktorer (av vilka några beror på det förändrade priset på Bitcoin):

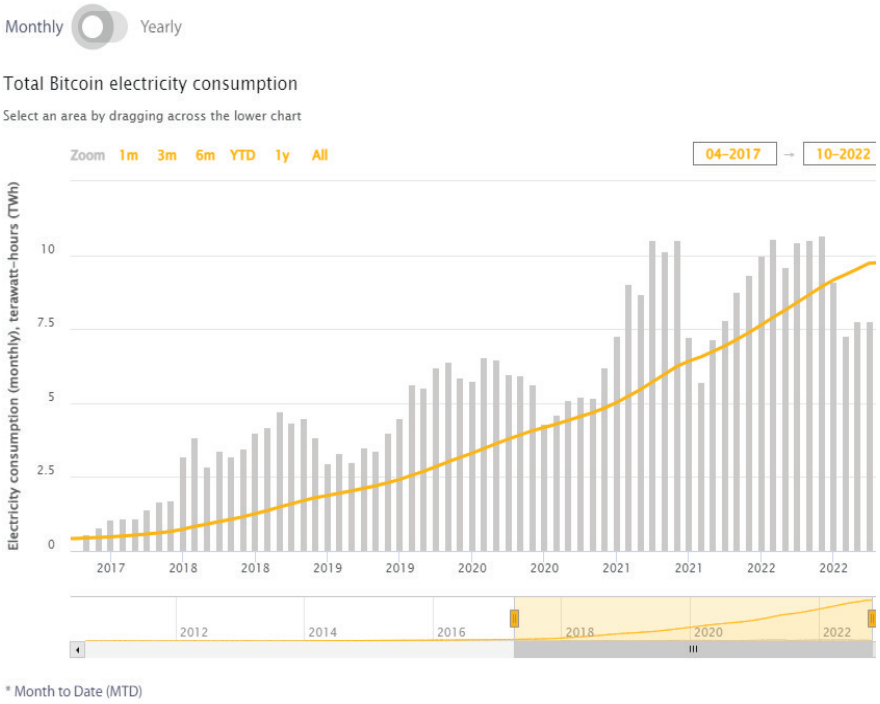
1. specifikationer för utvinningshårdvara, särskilt strömförbrukning och hashrate
2. nätverks-hashrate, den kombinerade hastigheten med vilken alla utvinnare i nätverket samtidigt gissar lösningar på matematikproblemet
3. "svårighet" att lösa det matematiska problemet, som justeras beroende på nätverkets hashrate för att bibehålla målhastigheten på ett block var 10:e minut
4. energiförbrukning från icke-IT-infrastruktur, såsom kyla, ström och belysning.

Det stigande priset på Bitcoin, särskilt när det steg till rekordnivåer i december 2017, drev på enorma ökningar av hashrate och svårighetsgrad, och utvecklingen och distributionen av kraftfullare och energieffektivare utvinningshårdvara.

I Cambridge University-data som visas i Figur 5 och Figur 6 nedan kan vi se årlig och månatlig energianvändning. Uppgifterna är också möjliga att ladda ner. Andelen per land är också tillgänglig. Figur 5 och Figur 6 visar att i oktober 2022 var den globala Bitcoin-utvinningens energianvändning Year-To-Date (YTD) nere på 85 TWh/år. Den globala kumulativa energianvändningen var då 390 TWh. Månadsgenomsnittet låg på cirka 7,5 TWh/månad under dippen. Nedgången började i juli och korrelerar väl med värdeminskningen för Bitcoin-valutan. Senare data visar att energianvändningen och hashraten tog fart igen och energianvändningen är nära YTD 100 TWh/år globalt sett. Anledningen till detta är okänd men Ethereum-hårdvaran som frigjordes i september vid bytet till proof-of-stake kan ha kommit till användning vid utvinning av andra kryptovalutor (Wikman, 2022).

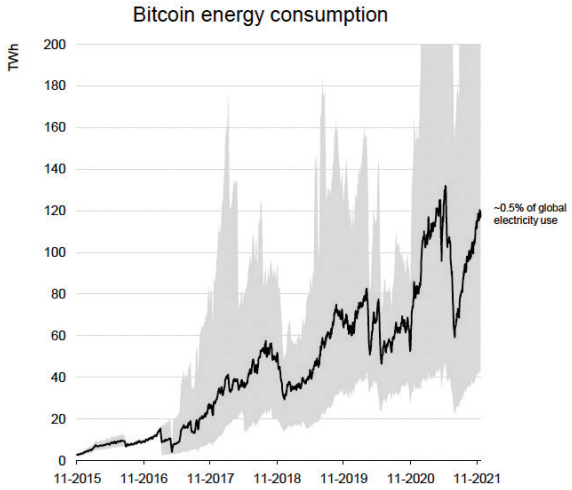


Figur 5: Cambridge data för global energianvändning i Bitcoin-utvinning per år (Cambridge Centre for Alternative Finance, 2022)



Figur 6: Cambridge data för global energianvändning i Bitcoin-utvinning per månad (Cambridge Centre for Alternative Finance, 2022)

I den senaste IEA-rapporten (IEA, 2022) visas att tillväxten på energianvändning för kryptovalutaanläggningar var 2300–3300 % från år 2015 till år 2021. Det har vuxit från 4 TWh till 100–140 TWh som det högsta vid slutet av året 2021. Figur 7 nedanför visar min och max för den beräknade energianvändningen som grå bakgrund. År 2021 var den globala energianvändningen för Bitcoin cirka 0,5 % av den globala elanvändningen.



Figur 7: Cambridge data för global energianvändning i Bitcoin-utvinning med max-min (IEA, 2022)

För Sverige var andelarna av den globala Bitcoin-energianvändningen på 1,16 % i augusti 2021 och 0,84 % i januari 2022 (Cambridge Centre for Alternative Finance, 2022). Den genomsnittliga globala energianvändningen i augusti 2021 var 86 TWh per år och i januari 2022 var den 124 TWh per år. Om vi räknar på den genomsnittliga energianvändningen i Sverige får vi 0,996 TWh per år i augusti 2021 och 1,05 TWh per år i januari 2022.

Enligt Cambridge Universitys data var Sveriges andel under 0,1 % av den totala globala energianvändningen för Bitcoin-utvinning före och under våren 2020. Hösten 2020 började andelen ta fart och gick över 0,2 %. Radarrapportens (Wallin, Werner, & Olofsson, 2020) studie gjordes våren 2020 och den genomsnittliga energianvändningen för Bitcoin-utvinning var vid den tiden 0,027 TWh per år. I Radar-rapporten nämns inte användningsfallet för utvinning av kryptovaluta explicit, eftersom andelen var så liten jämfört med 2,4 TWh per år för hela datacenterbranschen, men var dock inkluderad.

Nodepole har gjort en bedömning genom att intervjua kryptovalutaintressenter under våren 2022 (Wikman, 2022). De fann att ett fåtal kryptovalutaaktörer försöker utöka sin verksamhet i Sverige och att ett fåtal har lämnat på grund av förändringar i momsbeskattningen. Totalt uppskattar de en märkeffekt på 200 MW för den totala

infrastrukturen för utvinning av kryptovaluta i Sverige. Utnyttjandegraden är mycket hög nära 100 % och kan förväntas vara minst 90 %. Energianvändningen är då 1,5 TWh per år för all kryptovalutainfrastruktur i Sverige. GPU-hårdvaran som användes för Ethereum utvinning innan ändringen till proof-of-stake används i de allra flesta fall fortfarande för andra proof-of-work konsensuskryptovalutor eller för den gaffel av Ethereum som använder proof-of-work. Denna ”gaffel” skapades vid ändringen av konsensusmetod. En Ethereum proof-of-work gaffel är en ny kryptovaluta baserad på en gaffel av Ethereum-koden. En gaffel i världen med öppen källkod är ny separat programvarukod baserad på den ursprungliga koden den är splittrad från.

Uppgifterna från Skatteverket i aggregerad form användes för metod 7 för att analysera energianvändningen från erhållna skattereduktioner. Uppgifterna, i form av årliga summor av skattesänkningar och återbetalning för datacenter per SNI-kod, är mycket svårbedömda på en aggregerad nivå. Det är omöjligt att skilja aktörer för utvinning av kryptovaluta från vanliga datacenteraktörer med hjälp av SNI-koder. Ansökningarna om skattereduktion är från tillverkning av charkuterier och annan köttprodukt, tillverkning av tobaksprodukter till databehandling och hosting och annan monetär finansiell förmedling. Företagsnamnen behövs för att kategorisera och bedöma. Det är också känt att inte alla förmånstagare ansökte om skattereduktion samt många aktörer inte klassades som förmånstagare.

Intervjuerna med de andra intervjupersonerna gav inget adderat data för energianvändningen för kryptovalutautvinning i Sverige. Intervjun med Finansinspektionen gav en ökad förståelse för teknikområdet, metoder och tillförlitlighet (Malmén, 2022).

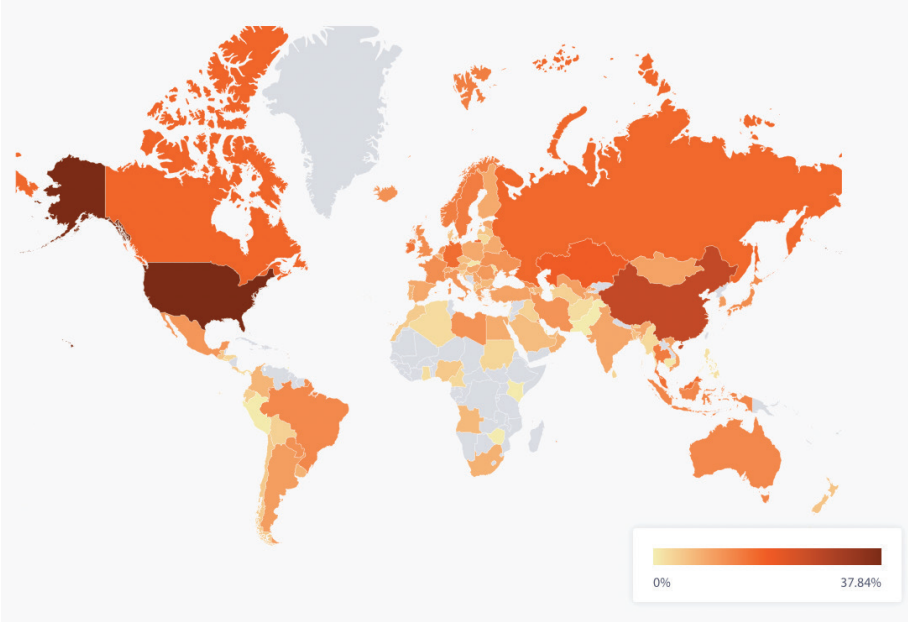
RISE bedömer att data från Cambridge University och Nodepole är tillförlitliga och energianvändningen för infrastruktur för utvinning av kryptovaluta i Sverige har varit ungefär oförändrad sedan 2021 till slutet av 2022. Under våren 2022 dominerade mestadels Bitcoin och Ethereum proof-of-work verksamhet. Under hösten 2022 har annan proof-of-work och Bitcoin-utvinning tagit fart i Sverige i stället för utvinning av Ethereum när den ändrades till proof-of-stake. År-till-år-nivån (YTY) för energianvändning är mellan 1–1,5 TWh och förmodligen närmare 1,5 TWh eftersom Cambridge-data visar ett genomsnitt på cirka 1 TWh enbart för Bitcoin. Kryptovalutans energianvändning är alltså cirka 50 % jämfört med den vanliga energianvändningen för datacenter på 2,8–3,2 TWh i Sverige för närvarande 2022 (RISE , 2022). Den vanliga energianvändningen för datacenter inkluderar inte kryptovaluta.

RISE bedömer också att på grund av förändringarna i skattereglerna i Sverige, den ekonomiska nedgången, kryptovalutans värdefall, övergången till proof-of-stake-metoder och det begränsade antalet platser som är tillgängliga för kryptovalutautvinningsaktörer i Sverige, så kommer energianvändningen för kryptovalutautvinning i Sverige förbli oförändrad nära 1 TWh per år eller till och med sjunka under 1 TWh till år 2025 om inga

dramatiska förändringar inträffar. De höga energipriserna begränsar för närvarande också utvecklingen och kan ytterligare pressa utvinningsverksamheten ytterligare under 1 TWh. Intervjun med Nodepole upplyste att många samhällen i Sverige är negativa till att godkänna nya siter (platser) och kraftavtal för kryptovalutautvinning som kommer att påverka intresset från framtida nya investerare (Wikman, 2022). Framtiden efter 2025 för utvinning av kryptovaluta baserat på proof-of-work är okänd och beror mycket på lagstiftning, energipriser, valutavärdering och den globala ekonomin.

Beskrivning av kryptovalutaindustrin

Kryptovalutamarknaden har på sistone fått mycket uppmärksamhet. De senaste åren har Bitcoin haft stora värdestegringar följt av stora nedgångar och samtidigt tillkännagav Meta sin egen kryptovaluta kallad Libra följt av en förändring för att adoptera Bitcoin. Samtidigt rapporterade många högprofilerade mediakällor om den höga elanvändningen. Detta har skapat intressen hos olika länders regeringar att anta nya policyer och lagar för kryptovalutor. Kina antog till exempel en lag för att förhindra kryptovalutautvinning. Den aktuella världskartan över Bitcoin-utvinning visas i Figur 8 nedan.



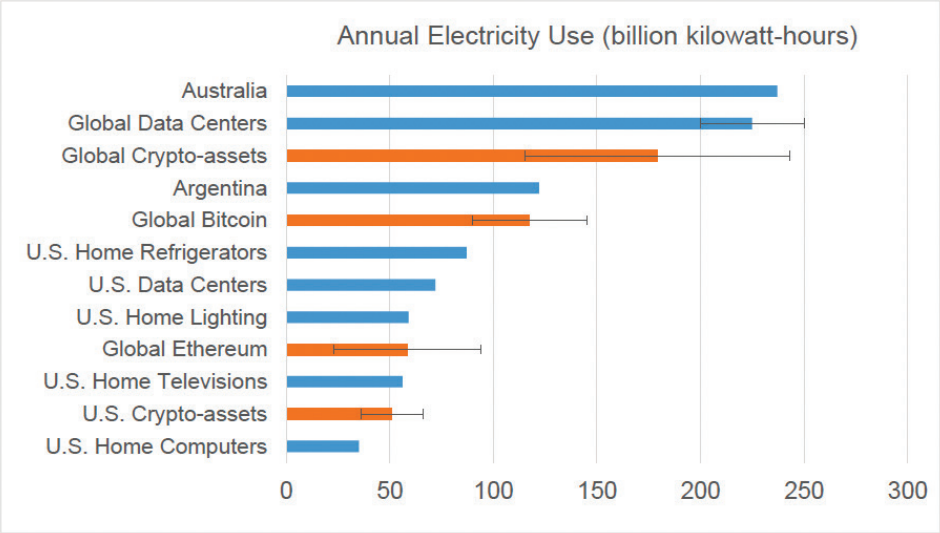
Figur 8: Världskarta över Bitcoin-utvinning av Cambridge University (Cambridge Centre for Alternative Finance, 2022)

Tekniken började inte med Bitcoin. Det började faktiskt redan 1991 när S. Haber och W.S. Stornetta började arbeta med en lösning för att hålla säkerhetskopior av digitala dokument. De använde en kedja för att kryptografiskt säkra block för att skydda integriteten hos tidigare information (blockkedja) (Haber & Stornetta, 1991). 1993 uppfanns mekanismen

för arbetsbevis för att skydda mot spam och andra nätverksmissbruk. Bitcoin föddes 2008 när Satoshi Nakamoto publicerade en artikel som kombinerade flera teknologier till ett distribuerat säkert digitalt kontantsystem (Nakamoto, 2009).

Efter Bitcoin har över 10 000 nya varianter av kryptovaluta dykt upp. Bitcoin är dock fortfarande (2022–11) störst i börsvärde. Nackdelen med Bitcoin är att den använder proof-of-work, en säker konsensusmekanism som förbrukar en enorm mängd energi som i princip går till överskottsvärme. Anledningen till att den fortfarande finns kvar är att den har visat sig vara väldigt säker. Beviset är att Bitcoins huvudbok till denna dag aldrig har äventyrats även om belöningen är i miljarder dollar i valutans totala värde.

Kryptovalutamarknaden kan jämföras med andra sektorer. I Figur 9 nedan jämförs den årliga elanvändningen av kryptovalutor mellan olika amerikanska sektorer och länder. Den visar att den globala kryptovalutans elektricitet vid 175 TWh-användning är cirka 80 % jämfört med de globala datacentren, exklusive kryptovalutautvinning, på cirka 225 TWh. Global Bitcoin låg nära Argentinas elanvändning och globala Ethereum (före bytet av konsensusmetod) låg nära USA:s elektricitetsanvändning för ljus i hemmen (White House Office of Science and Technology Policy, 2022). Felstaplarna representerar det bästa värdeintervallet.



Figur 9: Jämförelse av årlig elektricitetsanvändning för ett flertal exempel (blå) och de bästa estimaten för kryptovalutor (i orange), för augusti 2022 (White House Office of Science and Technology Policy, 2022)

Kryptovalutor kan användas för betalningar, investeringar, spekulationer eller som ett finansiellt kapital. En kreditkortstransaktion står bara för en enda betalning, medan en Bitcoin-transaktion kan buntas ihop med andra Bitcoin-transaktioner i en kedja av

transaktioner. Olika typer av finansiella aktiviteter kan kombineras till en enda postad blockkedja-transaktion. Exempelvis, om någon köper eller säljer Bitcoin, eller köper en kaffe med Bitcoin, registreras de som överföringar av Bitcoin från en adress till en annan, och ett register över överföringarna adderas i nästa block tillsammans med andra transaktioner.

Jämfört med transaktioner för traditionella finansiella tjänster är det totala antalet transaktioner med kryptotillgångar i blockkedja fortfarande litet. Bitcoin och Ethereum stod tillsammans för cirka 460 miljoner rapporterade blockkedja-transaktioner 2020, medan Visa, MasterCard och American Express tillsammans behandlade cirka 310 miljarder kreditkortsbetalningstransaktioner samma år. Distribuerade huvudboksteknologier utgör ett komplett betalningssystem för realtidsuppgörelse mellan parter. Kreditkortshandlare behöver å andra sidan formella bankrelationer för att lösa transaktioner. Detta är den grundläggande skillnaden mellan transaktioner med kryptovaluta och kreditkorts-transaktioner.

Internationell lagstiftning och policyskapande har tagit itu med miljöpåverkan från kryptovalutor. Europeiska kommissionen har en pågående lagstiftning om marknader i kryptovalutor. Lagstiftningen kommer sannolikt att kräva att aktörerna rapporterar miljö- och klimatpåverkansinformation och inom två år kommer en obligatorisk minimistandard för hållbarhet för konsensusmekanismer att införas. I Kina har miljömålen varit en av flera anledningar till att regeringen har förbjudit kryptovalutatransaktioner 2021 (White House Office of Science and Technology Policy, 2022).

USA driver på för ansvarsfull utveckling av blockkedjor och distribuerade huvudboks-teknologier. Regeringen tror att det skulle uppmuntra innovation i tillämpningar, minska energiintensiteten, minimera totala miljöskador, förbättra miljörättvisa och hjälpa till att uppfylla sina klimatåtaganden (White House Office of Science and Technology Policy, 2022).

Framväxande användningar av blockkedja-teknologier är till exempel som en infrastruktur för koldioxidhandelsmarknader. En koldioxidutsläppsrätt är ett instrument som tillåter en källa att släppa ut en bestämd mängd GHG (t.ex. ett metriskt ton CO2e) enligt ett regleringsprogram. En koldioxidkredit är ett instrument som kan hanteras i en huvudbok. Ett annat användningsfall är energihushållning. Distribuerade huvudböcker skulle potentiellt kunna fungera som en säker databas för registrering, autentisering och deltagande, vilket möjliggör flexibel elnätsdrift när mer variabla förnybara energikällor används.

Integrering med elnätet

En av egenskaperna hos ett kryptodatacenter är den höga nyttjandegraden som ofta är upp till 100 % när beräkningskapaciteten körs så intensivt som möjligt för att utvinna så mycket kryptovaluta som möjligt. Driftstoppstiden för ett kryptodatacenter kan kategoriseras i

externa och interna delar. Externt när inkommande nät och system påverkas och internt när utrustning går sönder eller för revision och underhåll som kan planeras till en vald tid på året. Med en stabil och hög nyttjandegrad och möjlighet att planera underhållsstopp är denna typ av datacenter därför lämpliga för interaktion med både el- och värmenätet.

I (RISE , 2022) beskrivs potentialen för integration med elnätet. De två systemtjänsterna, energiarbitrage och stödtjänster förklaras i rapporten, och dessa är lämpliga för kryptodatacenter.

Flera kryptovalutadatacenter är idag aktiva på FCR-D upp-marknaden och stödjer aktivt elnätet. När ett datacenter har lagt in ett bud på uppreglering av frekvensen och aktiveras, stänger kryptodatacentret ner delar av eller alla sina servrar, som nämnts i (RISE , 2022). Här är egenskaperna hos ett kryptodatacenter gynnsamma, med dess höga nyttjandegrad och förmåga att snabbt stänga av beräkningarna.

Integrering med termiska nät

Som nämnts ovan är en av egenskaperna hos ett kryptodatacenter den höga nyttjandegraden och möjligheten för att planera underhållsstopp, som gör kryptodatacenter lämpliga för interaktion med det termiska nätet. Nedanstående analys och slutsatser är en sammanfattning av flera forskningsprojekt utförda vid RISE ICE datacenter, studiebesök, personliga dialoger med olika personer som representerar energibolag och datacenterägare, vilket gör det svårt att ge referenser till vart och ett av följande utsaga.

Med motiveringen ovan fungerar ett kryptodatacenter som en bra värmekälla till ett fjärrvärmenät där datacentret transporterar en stabil årlig värmemängd, konceptet är tillämpat för flera datacenter i Sverige. Ett fjärrvärmenät består oftast av ett flertal produktionsanläggningar med tillhörande pannor som alla har sin verkningsgradskurva och lägsta belastningsnivå, genom god planering av överskottsvärmekapaciteten är det möjligt att undvika att pannor går på dåliga driftsprestandanivåer vilket kan resultera i ett mer effektivt och hållbart fjärrvärmesystem.

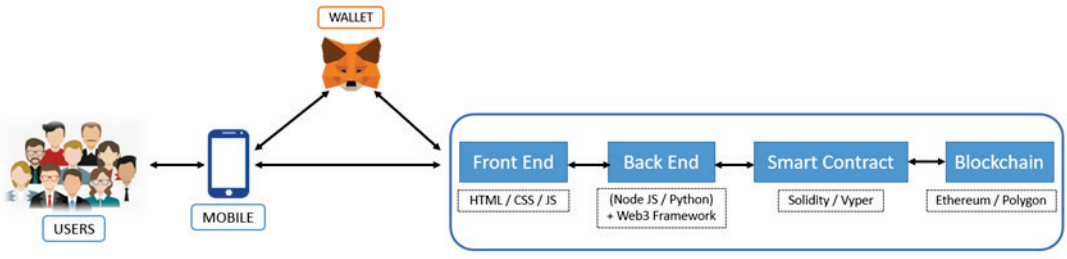
Normalt när datacenters överskottsvärme används för fjärrvärme tas värmen ut från datacentrets från- eller recirkulationsluft med vatten till luftvärmeväxlare, vilket ofta ger en vattentemperatur i intervallet 20–25°C. För att uppgradera den till fjärrvärmens framledningstemperaturer behövs värmepumpar ofta med 2 till 3 steg. Antalet steg som krävs av värmepumpar kan minskas genom att införa vätskekylning i datacentret (on-chip eller nedsänkning) där överskottsvattentemperaturer i intervallet 50–60°C kan nås.

Erforderlig värmepumpseffekt för uppgradering från intervallet 20–25°C motsvarar vanligtvis mer än hälften av den installerade datoreffekten. I områden med begränsad tillgänglig effekt är det extra behovet av värmepumpskraft ett problem. Genom överföring från luft- till vätskekylning genereras en högre övervärmetemperatur vilket minskar värmepumpens effektbehov vilket gör den mer attraktiv som värmekälla.

Teknikutveckling för blockkedjor i framtiden

Under 2015 lanserade en kryptovaluta kallad Ethereum ett koncept som kallas smarta kontrakt. Genom att göra detta blev Ethereum mycket mer än en distribuerad huvudbok, det blev ett distribuerat operativsystem. Ett smart kontrakt är helt enkelt ett program som körs på Ethereums nätverk. Det är en samling kod och data som finns på en specifik adress i blockkedjan. Ett enkelt exempel på ett smart kontrakt skulle kunna vara en enarmad bandit (spelautomat) laddad med en belöning om 10 Eth (Ethereums kryptotoken/mynt). En spelare skickar en transaktion på säg 0,1 Eth till den smarta kontraktsadressen, det smarta kontraktet kommer att exekvera och om det blir en vinst kommer belöningen på 10 Eth att skickas till spelarens adress.

I det här exemplet är det smarta kontraktet i sig inte så användarvänligt. För att lösa detta kan den kombineras med en serverapplikation och en webbsida. Genom att göra detta kan en användare använda en vanlig webbläsare eller app till mobilen för att spela spelet. Kombinationen av webbsida, serverapplikation och smarta kontrakt som körs på Ethereum-nätverket kallas decentraliserad applikation (dApp) (Etheurum.org, 2022), se Figur 10.



Figur 10: dApp, den decentraliserade applikationen (Etheurum.org, 2022)

Fördelar med dApps

- Dataintegritet och sekretess: data är korrekt och har inte förändrats på något sätt, samt att personlig information är skyddad
- Censurbeständig: ingen är behörig att ändra programmets kod
- Inge stillestånd: eftersom hela nätverket är decentraliserat, ingen central punkt för fel
- Öppen källkod och behörighetslös
- Inget beroende av någon tredje part

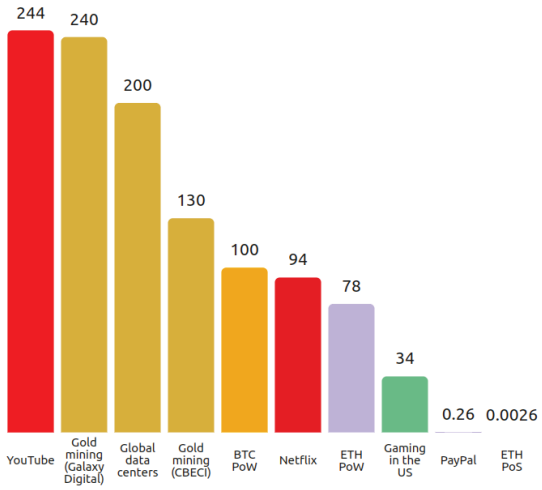
Konceptet med applikationer som körs på decentraliserade blockkedjenätverk som kan nås via en webbläsare kallas Web 3.0. Det är den tredje generationen av World Wide Web. Den första som nu kallas Web 1.0, bestod av statiska webbsidor (HTML) som bara kunde visa statisk information. Användare kunde bara söka efter information och läsa den. Nästa generation kallad Web 2.0 gav användarna möjligheten att interagera med webbplatser och få tillgång till dynamiskt användar-genererat innehåll och sociala medier. Web 2.0 lagrar data på centraliserade platser som ägs av stora företag som Meta, Google och Amazon. Dessutom faller det mesta av all data som användarna genererar direkt i händerna på teknikjättarna.

Web 3.0 är en utmanare för att ersätta centraliserade sociala nätverk med dApps. Det skulle tillåta individer att behålla äganderätten till sitt eget data. Web 3.0 är fortfarande i ett tidigt skede. Det kommer definitivt inte att ersätta Web 2.0; men det kommer säkert att bli en kompletterande teknik som används av vissa applikationer.

En handfull alternativa konsensusmekanismer har dykt upp, och de använder alla mycket mindre energi än proof-of-work. Ethereum som är den näst största kryptovalutan migrerade nyligen (2022-09-15) sin konsensusmekanism från proof-of-work till proof-of-stake och sänkte därmed energiförbrukningen med över 99,9%, som ses i Figur 11 jämför staplarna för ETH PoW och ETH PoS.

Proof-of-stake och andra konsensusmekanismer kan hjälpa att minska energianvändningen och lösa problem som skalbarhet och latens. Andra teknologier som Tangle och Hashgraph erbjuder på liknande sätt löften om lägre energianvändning, skalbarhet, snabbare transaktioner och inga transaktionsavgifter jämfört med blockkedjor. Under de kommande åren kommer andra tillämpningar av blockkedjor, inklusive de inom energisektorn sannolikt att få mer uppmärksamhet. När omfattningen av blockkedjetillämpningar ökar, kommer dessa trender tillsammans sannolikt att väsentligt minska teknikens framtida energiavtryck (Kamiya, 2019).

Bitcoin kommer säkerligen inte att migrera från proof-of-work till något annat. Den kommer att fortsätta att existera och använda energi så länge det finns deltagare (utvinnare). Deltagare i Bitcoin-nätverket kommer att finnas så länge det är överkomligt och lagligt att utvinna Bitcoins. Om energipriset överstiger belöningen över hela världen, kommer utvinningen att upphöra och Bitcoin kommer att försvinna.



Figur 11. Årlig energiförbrukning för olika industrisegment från juni 2022 i TWh/yr (Ethereum, 2022).

Det bör noteras att Bitcoin-utvinning inte utförs på hårdvara som finns i vanliga datacenter och i hemmet. Den körs huvudsakligen på specialiserad hårdvara av ASIC-typ. Det är hårdvara som inte kan återanvändas för andra ändamål.

IT-infrastrukturen för Bitcoin och andra kryptovalutor har utvecklats snabbt under det senaste decenniet. I de tidiga dagarna av Bitcoin (2009) använde hobbyister vanliga processorer (CPU) för att utvinna Bitcoin. I oktober 2010 började de använda kraftfullare grafikprocessorer (GPU) när utvinningssvårigheterna ökade. I juni 2011 migrerade användningen till att använda kraftfullare (men mindre energieffektiv) FPGA (field-programmable gate array) -baserad hårdvara, och ett år senare bytte de till applikationsspecifika integrerade kretsar (ASIC). ASICs är specialbyggda chips, i det här fallet, för att utvinna Bitcoin. De senaste är både kraftfullare och mer energieffektiva, cirka 50 miljoner gånger snabbare (H/s) och en miljon gånger mer energieffektiva (H/J) vid utvinning av Bitcoin än CPU:erna som användes 2009 (Kamiya, 2019).

EU direktiv och EU:s syn på utvinning av kryptovaluta

Med European Green Deal ökar EU sin klimatambition och siktar på att bli den första klimatneutrala kontinenten 2050. Kommissionen har därför reviderat energieffektivitets-direktivet (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, inkluderat enheter, nätverk och datacenter, 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.

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

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 för datacenters energieffektivitet
- EU:s kriterier för grön offentlig upphandling för datacenter, serverrum och molntjänster
- Carbon Border Adjustment Mechanism

EU:s 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 Code of Conduct 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).

För att minska det höga koldioxidavtrycket för kryptovalutor, särskilt från de mekanismer som används för att validera transaktioner, har ledamöterna av Europaparlamentet bett kommissionen att lägga fram ett lagstiftningsförslag för att i EU:s klassificering för hållbar verksamhet inkludera all utvinning av kryptotillgångar som avsevärt bidrar till klimatförändringarna, senast den 1 januari 2025

Fram till 2023 har EU:s Code of Conduct 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 behöver samlas in och hur, måste ske innan utgången av 2022. Det nya direktivet blir det första obligatoriska ramverket för hållbarhets-rapportering som EU:s datacenterinvesterare, 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 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 datacenterapplikationer.

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 (European Commission, 2022). 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 internationella partner att anta ambitiösa klimatåtgärder.

Framtida arbete

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

Ett annat framtida arbete som är viktigt och angeläget är att stödja en ansvarsfull utveckling av blockkedjor och distribuerade huvudboksteknologier. Det finns ett behov av att genomföra statliga initiativ kring distribuerade huvudboksteknologier 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 effektiva nästa generations blockkedjeinfrastrukturteknologier.

Slutsatser

Slutsatsen är att tillväxten av energianvändning i kryptovalutaanläggningar har varit stark i Sverige från 2020 till 2021, men Bitcoin har nyligen stannat till runt 1% av den globala energianvändningen för Bitcoin-utvinning. Förändringarna i lagstiftningen, avskaffande av energiskattesänkningar och förändringar i momsbeskattningen, den globala ekonomin och nedgången i värderingen av kryptovalutor kyler av den svenska marknaden. RISE bedömer att den nuvarande energianvändningen vid kryptovalutautvinning i Sverige är nära 1,5 TWh inklusive alla kryptovalutor.

Den ekonomiska nedgången, kryptovalutorna fall i värde, övergången mot proof-of-stake-metoder och det begränsade antalet platser som är tillgängliga för kryptovaluta-utvinningsaktörer i Sverige, medför att energianvändningen för kryptovalutautvinning i Sverige kommer att förbli oförändrad nära 1 TWh eller till och med sjunka under 1 TWh till år 2025 om inget dramatiskt förändras. Om de nuvarande höga energipriserna blir kvar kommer det att ytterligare pressa utvinningsverksamheten under 1 TWh.

Slutsatsen är också att utveckling av nya framväxande användningsfall, metoder och lösningar för distribuerade huvudboksteknologier kan ha stor betydelse för Sverige som ledande inom både digitalisering och den gröna transformationen. Forskning och innovation är nyckelingredienser för fortsatta förbättringar av energieffektivitet, driftsprestanda och energisystemsintegration.

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.

Cambridge Centre for Alternative Finance. (2022, November 18). *Cambridge Bitcoin Electricuty Comsumption Index*. Retrieved from Cambridge Bitcoin Electricuty Comsumption Index: https://ccaf.io/cbeci/index

Energimyndigheten. (2022). *Metoder för att följa utvecklingen av energianvändning för digital infrastruktur och digitala system" (dnr 2022-010371).* Energimyndigheten.

Ethereum. (2022, November 29). *Ethereum's energy expenditure*. Retrieved from Ethereum's energy expenditure: https://ethereum.org/en/energy-consumption/

Etheurum.org. (2022, September 26). *Introduction to dApp*. Retrieved from Introduction to dApp: https://ethereum.org/se/developers/docs/dapps/

European Commision. (2022, 12 21). *Energy Efficiency Directive (recast) - Compromise amendment 1.* Retrieved from https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2014_2019/plmrep/COMMITTEES/ITRE/DV/2022/07-13/EED_FinalCompromiseAmendment_EN.pdf

European Commission. (2022, November 18). *Energy efficiency directive*. Retrieved from https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en

European Commission. (2022, November 18). *Green cloud and green data centres*. Retrieved from Shaping Europe's digital future: https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/green-cloud

Haber, S., & Stornetta, W. (1991). How to time-stamp a digital document. *J. Cryptology*, 99-111.

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

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

Kamiya, G. (2019). *Bitcoin energy use - mined the gap.* IEA.

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

Nakamoto, S. (2009). *bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System.*

RISE . (2022). *Energy use in data centers and digital systems. Report to Swedish Energy Agency from RISE in the assignment "Consultancy service about energy use in data centers and digital system".* RISE Research Institute of Sweden.

Summers, J. (2021). *BodenTypeDC Deliverable 5.3, Performance Evaluation of BTDC One.* Boden Type DC.

The European Parliament. (2022, 12 21). *Directive (EU) 2022.* Retrieved from https://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-35-2022-INIT/en/pdf

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

White House Office of Science and Technology Policy. (2022). *Climate and Energy Implications of Crypto-Assets in the United States. .* Washington, D.C.

Wikman, M. (2022, November). Chief Commercial Officer. (T. B. Minde, Interviewer) Node Pole.

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. ICE 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 adjungerad professor som idag är chef för RISE ICE Datacenter. I implementeringsteamet ingick Jeanette Petersson projektledare, Tina Stark junior forskare, Daniel Olsson senior forskare och Mattias Vesterlund doktor och senior forskare. Kvalitetssäkring gjordes av Jon Summers adjungerad professor och vetenskaplig ledare inom datacenter vid forskningsinstitutet.

Rapport till Sveriges Energimyndighet från RISE i uppdraget “Konsultuppdrag om energianvändning för utvinning av kryptovaluta”.

RISE – Research Institutes of Sweden

ri.se / info@ri.se / 010- 516 50 00

Box 857, 501 15 Borås