



Digitala monster

En analys av AI:s effekter på det svenska energisystemet

Kasper Persson

Examensarbete

Juni 2026

Miljö- och Energisystem, LTH

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA

vid Lunds universitet

Institutionen för teknik och samhälle

Miljö- och energisystem

Box 118, 221 00 Lund


ISRN LUTFD2/TFEM—27/5251--SE + 58

ISSN 1102-3651

Tryckt av Media-Tryck, Lunds universitet



Media-Tryck is a Nordic Swan Ecolabel certified provider of printed material. Read more about our environmental work at www.mediatryck.lu.se

MADE IN SWEDEN 

Sammanfattning

Parallellt med det svenska energisystemets elektrifiering så sker även en snabb utveckling av AI-verktyg. Dessa redskap medför helt nya möjligheter att ta olika former av datadrivna beslut vilket kan revolutionera delar av energisektorn. Samtidigt så är de inte helt oproblematiske, utan deras effekter måste analyseras grundligt för att de ska kunna leva upp till sin potential, samtidigt som effekterna av potentiella risker minimeras.

I detta arbete undersöks vilka effekter dessa nya verktyg får på det svenska energisystemet och den kompetens som kommer krävas för att använda dem. Fokus ligger på olika typer av prognoser, flexibilitetstjänster och digitala tvillingar, som identifieras som de områden där AI kommer att få störst påverkan. Analysen bygger på intervjuer med aktörer inom den svenska energisektorn, samt internationell litteratur.

Utifrån dagens kunskapsläge så görs ett antal rekommendationer på lämpliga satsningar som bör göras inom energibranschen. Dessa satsningar är mer eller mindre tekniska och syftar till att skapa största möjliga systemnytta för integrationen av AI-verktyg i det svenska energisystemet.

Nyckelord: AI, artificiell intelligens, digitala tvillingar, energisystem, flexibilitet, prognoser

Abstract

The Swedish energy system is currently in a transition, aiming for carbon neutrality. At the same time, AI technology is developing in a fast manner. These tools come with entirely new possibilities to make data driven decisions, which can revolutionize parts of the energy sector. At the same time, they come with their own challenges. Therefore, their effects must be thoroughly examined if they are to realize their potential, while the effects of potential risks are minimized.

This thesis examines the effects that these new tools have on the Swedish energy system, as well as the competencies required to use them. The focus is on different kinds of AI-driven forecasts, flexibility services and digital twins, which have been identified as the areas which will be most impacted by AI. The analysis is based on interviews with a variety of actors in the Swedish energy sector, as well as international scientific literature.

Based on the current state of the industry, a number of recommendations for appropriate investments are proposed. These should be done by a suitable actor in the energy sector. These initiatives vary in technical complexity and aim to maximize the system benefits of integration AI tools in the Swedish energy sector.

Keywords: AI, artificial intelligence, digital twins, energy system, flexibility services, forecasts

Förord

Detta examensarbete genomfördes våren 2026 på Lunds Tekniska Högskola i samarbete med Energiforsk AB.

Jag vill tacka min handledare Max Åhman för hans värdefulla handledning och stora tålamod.

Jag vill tacka hela teamet på Energiforsk för det varma välkomnande jag fick. Jag vill dessutom ge ett extra tack till min handledare Malin Strand som inte bara ställt upp med vägledning och uppmuntrat mina idéer, utan dessutom är ansvarig för att detta examensarbete över huvud taget blev av. Jag vill också tacka Mikael Karlsson och Stefan Montin som delat med sig av sina stora kontaktnät, vilket var en förutsättning för att detta examensarbete skulle kunna genomföras.

Jag vill dessutom tacka alla de som valde att avsätta sin dyrbara tid för att ställa upp på intervjuer och dela med sig av sina erfarenheter och kunskaper. Era insikter var väldigt givande att ta del av, inte bara för arbetets skull utan även på ett personligt plan.

Sist men inte minst vill jag tacka min klass för de här fem åren. Tack vare er kommer jag alltid se tillbaka på min studietid med värme och glädje.

Kasper Persson,
Juni 2026

Ordlista

AI - artificiell intelligens

DSO - distributionsnätsägare.

Hallucination - en AI ger ett felaktigt eller missvisande resultat

IoT (Internet of Things) - "Sakernas internet", innebär att det finns en stor mängd uppkopplade apparater som kan samla in data

Open source - öppen källkod, en mjukvara som byggs upp på ett sätt så att vem som helst kan redigera koden

Prosument - en aktör som agerar både konsument och producent

Svart låda - "black box", problematiken med att AI-system inte är transparenta i hur de tar sina beslut

Systemintegration - sammankoppling av olika IT-system så att de fungerar som ett stort ekosystem

Tidsserie - en samling datapunkter som samlats in över tid

TSO - transmissionsnätsägare, Svenska kraftnät i Sverige

Innehållsförteckning

1. Introduktion	1
1.1 Inledning	1
1.2 Syfte	2
1.3 Frågeställningar	2
1.4 Avgränsningar	3
1.5 Deklaration för användning av generativ AI	3
2. Bakgrund	4
2.1 Det svenska energisystemet - ett system i förändring	4
2.2 AI - Kort historik och utveckling	7
2.3 AI i energisystemet	8
2.4 AI-kommissionens Färdplan för Sverige	8
2.5 Olika sorters AI	9
2.6 Energiforsk	10
3. Metod	11
3.1 Litteraturstudie	11
3.2 Intervjustudie	12
4. Prognoser	14
4.1 Elförbrukningsprognoser	14
4.2 Elproduktionsprognoser för sol- och vindkraft	15
4.3 Elprisprognoser	15
4.4 Exempel från industrin: AI-prognoser för att optimera mot olika marknader	15
4.5 Prognostisering för obalanser	16
4.6 Exempel från industrin: Frekvensåterställningsreserverna aFFR och mFRR	16
4.7 Prediktivt underhåll	16
4.8 Analys över kunskapsläget för prognoser	17
5. Flexibilitetstjänster	20
5.1 Kommunikation med smart utrustning för att styra förbrukning	20
5.2 Optimering av småskaliga resurser för energilagring och produktion	20
5.3 Aggregering av decentraliserade resurser till virtuella kraftverk	21
5.4 Sektorkoppling - fjärrvärme som stödtjänst till elmarknaden	21
5.5 Analys över kunskapsläget för flexibilitetstjänster	22
6. Digitala tvillingar	25
6.1 Användningsområden för digitala tvillingar	25
6.2 Dataområden	27
6.3 Digitala tvillingar i Sverige	27
6.4 Framgångsfaktorer för digitala tvillingar	28
6.5 Analys över kunskapsläget om digitala tvillingar	29
7. Risker	31
7.1 Kompetens- och kunskapsmässiga risker	31

7.2 Förklarbarhet	32
7.3 Ekonomiska risker	32
7.4 Digital säkerhet	33
7.5 Beroende av externa leverantörer	33
7.6 Politiska hinder	34
7.7 Analys över kunskapsläget för risker	34
8. Diskussion	36
8.1 Effekterna av AI på det svenska energisystemet	37
8.2 Kompetens	40
8.3 Felkällor	44
9. Slutsatser	45
10. Referenser	46
11. Bilaga	51

1. Introduktion

1.1 Inledning

På grund av det svenska samhällets pågående elektrifiering och gröna omställning så genomgår energisystemet stora förändringar. Först och främst så kommer elbehovet vara mycket större i framtiden. Fram till år 2050 förväntas Sveriges årliga elanvändning öka från dagens 140 – 150 TWh till mellan 220 – 360 TWh (Energimyndigheten, 2025). Denna enorma energiökning kommer att medföra stora utmaningar för elnätet. Bland annat så kommer ny infrastruktur i form av elnät behöva byggas, men främst så måste stora kvantiteter ny elproduktion tillkomma. En stor del av den nya elproduktionen som byggs kommer att vara väderberoende, främst som vindkraft men också viss solkraft i form av solceller på byggnader (Energimyndigheten, 2025). Förnybar elproduktion är ett måste för att uppnå klimatmålen (Energimyndigheten, 2025), men det kommer att ställas höga krav på elnätets förmåga att hantera den intermittenta och svårförutsägbara produktion som dessa kraftslag ger. En strategi för att hantera dessa problem är diverse flexibilitetstjänster som efterfrågefleksibilitet, smartstyrning och olika former av batterilagring (Energimyndigheten, 2025). Även om dessa tjänster kan hjälpa till med att hantera problemen med intermittens och effektbehov så bidrar de också med att göra det nya energisystemet ännu mer invecklat och komplext. Detta innebär att energisystemet förvandlas från sitt traditionella utseende, där elen produceras på ett kraftverk för att sedan distribueras och användas, till ett nytt system. Det nya systemet karaktäriseras av en stor mångfald av olika sorters producenter, mycket decentraliserad produktion och ett stort behov av att lagra energi på diverse sätt (Energimyndigheten, 2025).

En gemensam nämnare för dessa förändringar är att det kommer att ställas höga krav på de verktyg som används för prognostisering och styrning av systemen. Dessa verktyg måste fungera på både stor och liten skala. Frekvensen i elnätet måste regleras på ett effektivt sätt, samtidigt som de små, lokala batteriägarna måste veta när de ska ta emot respektive skicka iväg el. För att detta ska kunna ske på ett bra sätt måste stora mängder data hanteras och analyseras snabbt och effektivt. Här kommer artificiell intelligens (AI) in i bilden. Parallellt med energisystemets omställning så fortskrider nämligen en stor digitalisering, samt en snabb utveckling av AI (Atanasova et al., 2025). Idag har AI möjligheten att snabbt gå igenom stora mängder data, identifiera komplexa mönster och utifrån detta ta snabba beslut och ge rekommendationer. Tekniken är i grunden inte ny, men väldigt stora framsteg har gjorts de senaste åren. Användningen av AI blir mer och mer utbredd i olika sektorer, inklusive energisektorn. (International Energy Agency, 2025)

Med bakgrund i detta har det svenska forskningsinstitutet Energiforsk gjort en förstudie om effekterna av AI och digitalisering på det svenska energisystemet. Denna studie togs fram i dialog med industrin för att identifiera vilka behov som finns. Här blir det tydligt att det finns en stor efterfrågan på mer satsningar inom prognos- och simuleringsverktyg. Detta då det nya, större och komplexare energisystemet som är på väg att växa fram ställer helt nya krav på

systemets aktörer. I samtalen med industrin blev det tydligt att AI kommer vara ett väldigt viktigt verktyg för att styra och övervaka framtidens energisystem, men ett antal frågetecken kvarstår om hur integrationen bör gå till. (Energiforsk, 2024).

I det här arbetet undersöks hur AI-baserade prognos- och simuleringsverktyg påverkar det svenska energisystemet, och vilka kunskapsluckor som står i vägen för deras fortsatta framgång.

1.2 Syfte

Detta examensarbete har genomförts i samarbete med Energiforsk och dess syfte är att undersöka vilken potential och vilka risker som finns med införandet av AI-verktyg i det svenska energisystemet. Studien baseras på internationell litteratur och intervjuer med aktörer inom den svenska energibranschen. Syftet med litteraturstudien har varit att identifiera vilka områden som AI-baserade verktyg kommer att få stor inverkan på. Denna kompletteras med en intervjustudie som ämnar att kartlägga den allra senaste utvecklingen inom den svenska energisektorn. Målet är sedan att utifrån denna nulägesbeskrivning identifiera de mest kritiska kunskapshöjande insatser som Energiforsk kan göra för att underlätta det svenska energisystemets AI-transformation. Vidare förs en diskussion om vilken kompetens som kommer krävas i framtiden, och ett antal rekommendationer på kunskapshöjande åtgärder görs. Dessa riktar sig dock inte till Energiforsk, utan snarare till Energibranschen som helhet.

En stor vikt i detta examensarbete har varit att ha ett svenskt perspektiv. Sveriges energisystem sticker ut på flera sätt ur en internationell synvinkel, genom exempelvis väl utbyggd fjärrvärme och en hög andel förnybar elproduktion. Eftersom dessa system är relativt unika kan de vara underrepresenterade i den internationella forskningen, och det finns ett behov av mer Sverigefokuserade analyser. Det anses även viktigt då Sverige befinner sig mitt i en omfattande energiomställning, vilket har effekten att en mängd nya aktörer sticker upp och försöker etablera sig på marknaden. Ny teknik är sällan kostnadseffektiv i början, men på lång sikt kan den leda till stor nytta för samhället. Därför är det viktigt att det satsas på forskning och innovation som underlättar deras etablering (Energimyndigheten, 2025).

1.3 Frågeställningar

För att uppfylla syftet har följande frågeställningar formulerats:

- *“Hur används olika AI-verktyg för prognostisering och simulering inom det svenska energisystemet idag?”*
- *“Hur kan AI-verktyg för prognostisering och simulering inom de svenska energisystemen utvecklas?”*
- *“Vilka risker innebär AI och digitalisering för det svenska energisystemet?”*

- *“Vilka kunskapsluckor behöver fyllas för att det svenska energisystemet ska uppnå potentialen av AI och digitalisering?”*
 - *Vilka kunskapshöjande satsningar inom området ‘AI och digitalisering’ bör Energiforsk göra för att underlätta den svenska energisektorns AI-transformation?”*
- *“Vilken kompetens kommer att krävas för att säkerställa att potentialen av AI och digitalisering uppnås inom de svenska energisystemen?”*
 - *Hur kan*

1.4 Avgränsningar

AI är ett verktyg som har otroliga mängder användningsområden, och det var omöjligt att täcka in samtliga i denna rapport. Därför gjordes tydliga avgränsningar tidigt i arbetsprocessen och områdena prognoser, flexibilitetstjänster och digitala tvillingar valdes ut som fokusområden. De områden som inte inkluderas är för många för att skriva ut, men de viktigaste redovisas här nedan.

- Systemeffekterna av stora språkmodeller och generativ AI, som exempelvis ChatGPT har inte undersökts.
- Driften av AI-agenter kräver stora mängder el och vatten. Det är ett stort problem som bör undersökas i detalj, men i denna rapport ligger istället fokus på de användningsområden som finns för AI inom energisektorn.
- AI kan användas till att effektivisera tillståndprocesser, vilket kan vara bra då utbyggnaden av elnät kan vara en begränsande faktor i omställningen.
- AI-analyser av ljud, bild och film har inte undersökts.

1.5 Deklaration för användning av generativ AI

I denna rapport har generativ AI använts i begränsad skala för att effektivisera skrivandeprocessen. Här nedan följer en lista på vad generativ AI har använts till, samt vilken agent som använts.

- Skapat källreferenser och gjort referenslistan enhetlig. (Microsoft Copilot via Lunds Universitet)
- Sammanfatta rapporter för att avgöra om de är relevanta för syftet innan de lästes i sin helhet. En AI:s sammanfattning har aldrig använts som källa utan den fullständiga rapporten har alltid lästs innan den har refererats till. (Microsoft Copilot via Lunds Universitet)
- Få tips och rekommendationer för vart det var lämpligt att leta efter relevanta akademiska källor. (ChatGPT)
- Ingen text i rapporten är i grunden författad av AI, men i ett fåtal stycken har AI använts för att få språklig feedback. (ChatGPT)

2. Bakgrund

2.1 Det svenska energisystemet - ett system i förändring

2.1.1 Det svenska energisystemet idag

2.1.1.1 Elsystemet

Ur ett internationellt perspektiv utmärker Sveriges energisystem sig på flera sätt. Det som sticker ut är främst den höga andelen el som produceras från fossilfria källor, främst kärn- och vattenkraft. 99% av den el som producerades i Sverige år 2023 kom från antingen förnybara källor eller kärnkraft (International Energy Agency, 2024). Den enskilt största källan är vattenkraft som står för cirka 40% av den producerade elen. Därefter kommer kärnkraften, som bidrar med cirka 30% av elproduktionen. Vindkraft har byggts ut i stor skala de senaste åren och stod för 19% av den producerade elen år 2022. Detta motsvarar en fördubbling jämfört med 2015 (International Energy Agency, 2024). Solel står för ett väldigt litet bidrag av den producerade elen på cirka 2% (Energimyndigheten, 2025).

Sveriges elanvändning har varit mer eller mindre oförändrad sedan 1990 och har legat på mellan 130 – 140 TWh årligen. Däremot har den installerade kapaciteten byggts ut de senaste åren vilket möjliggjort för stora energiexporter och Sverige har varit ett av de länder som exporterat mest el i hela Europa, främst till grannländerna Danmark och Finland (International Energy Agency, 2024).

Elpriset (spotpriset) varierar på flera sätt inom Sverige. Först och främst är Sverige indelat i fyra stycken elprisområden, från SE1 i norr till SE4 i söder. Strukturella flaskhalsar i form av överföringsbegränsningar är vad som avgjort var gränserna mellan områdena går (Svenska Kraftnät, 2025b). Generellt sett ökar priset ju längre ner i landet man kommer (Statistiska Centralbyrån, 2022). Anledningen till detta är den stora andelen inhemsk produktion (främst i form av vattenkraft) i SE1 & SE2, medan efterfrågan är större än utbudet i SE3 & SE4 (Svenska kraftnät, 2026a). Andra omständigheter som påverkar elpriset i Sverige är väderförhållanden som nederbörd, temperaturer och vind, då dessa faktorer har effekter på både elproduktion och elanvändning (Energiföretagen, 2025).

2.1.1.2 Värmesystemet

På värmesidan sticker Sverige ut med att fjärrvärme uppfyller en stor del av värmebehovet. Mer än hälften, cirka 60%, av alla byggnader och lokaler värms upp med hjälp av fjärrvärme (Energiföretagen, 2026). Drygt 50% av den tillförda energin är återvunnen, främst i form av avfallsförbränning, rökgaskondensering och spillvärme från industrin (Energiföretagen, 2024). Därefter står förnybara källor, som träd- och bibränslen för mer än 40% av den tillförda energin. Enbart 2,4% av bränslet till Sveriges fjärrvärmeproduktion kommer från fossila källor (Energiföretagen, 2024). Unikt för Sverige är också att en majoritet av all värme till fjärrvärmens produceras i kraftvärmeverk (International Energy Agency, 2024). Priset för fjärrvärme varierar beroende på vart i landet man bor, och därmed vilken leverantör man har.

Generellt så var dock priserna relativt stabila under 2010-talet (Energiföretagen, 2025) men ökade kraftigt då Ryssland invaderade Ukraina i februari 2022 (International Energy Agency, 2024).

Efter fjärrvärme så är elvärme, främst i form av värmepumpar, den dominerande uppvärmningstekniken (Energimyndigheten, 2025). Den tillgodoser cirka 30% av värmebehovet. Resterande andel uppvärmning kommer från bibränsleeldade pannor, medan gas- och oljeeldade pannor är i princip utfasade ur det svenska energisystemet (Energimyndigheten, 2025).

2.1.2 Det svenska energisystemets utveckling och utmaningar

2.1.2.1 Elsystemets framtid

EU har beslutat att unionen som helhet ska vara klimatneutral, det vill säga ha nettonollutsläpp, senast år 2050 (Europeiska Kommissionen, u.å.). Sverige har dock antagit ett ännu ambitiösare mål, och siktar på att ha nettonollutsläpp redan år 2045 för att därefter ha negativa utsläpp (Regeringskansliet, u.å.). För att uppnå dessa mål kommer det svenska energisystemet behöva genomgå stora och omfattande förändringar.

Även om målet är satt så kan vägen till klimatneutralitet se ut på en mängd olika sätt. I rapporten "*Scenarier för Sveriges energisystem*" (Energimyndigheten, 2025) beskrivs fyra olika scenarier för hur övergången kan se ut. Även om scenarierna skiljer sig så finns det vissa gemensamma nämnare, som i stort sett är givna. Det svenska samhället genomgår just nu elektrifiering. Detta medför att elanvändningen i landet kommer öka drastiskt, från dagens 130 – 140 TWh till mellan 220 – 360 TWh år 2050 (Energimyndigheten, 2025). Därmed kommer det att behövas mycket ny elproduktion. Exakt hur den framtida mixen ser ut varierar mycket mellan scenarierna men i samtliga fall så är vindkraft, främst landbaserad, den form av elproduktion som expanderar mest. Räknar man ihop land- och havsbaserad vindkraft så kommer de stå för någonstans mellan 100 – 220 producerade TWh år 2050 (Energimyndigheten 2025). Även solkraften står för en utbyggnad, även om det rör sig om en betydligt mer blygsam sådan. Det kraftslaget förväntas stå för en produktion på mellan 10 – 18 TWh år 2050 (Energimyndigheten, 2025).

Vind- och solkraft är vad som kallas för intermittenta energikällor, vilket betyder att de inte kan producera el kontinuerligt. De är väderberoende, det vill säga att vindkraft producerar bara när det blåser och solkraft producerar bara när solen skiner. Detta medför en hel del svårigheter för elmarknaden och elnätet (Saleh et al., 2025). En sådan utmaning är att det kan orsaka stor volatilitet för elpriserna. En annan svårighet med intermittent elproduktion är dess påverkan på elnätet. Då stora volymer av el tillkommer eller försvinner på relativt kort varsel så störs frekvensen i elnätet (Saleh et al., 2025). Konsekvensen blir då att det svenska elnätet på flera sätt blir ännu mer beroende av väderförhållanden än det är idag.

En annan förväntad utveckling i det svenska elnätet, som kommer hjälpa till att avlasta problemen med intermittent elproduktion, är etablerandet av nya sorters flexibilitetstjänster.

Detta är tjänster som kan se ut på en mängd olika sätt, men har det gemensamma syftet att hjälpa elnätet hantera situationer när elproduktionen inte räcker till. Exempel på flexibilitetstjänster inom elnätet är efterfrågefleksibilitet, smarta elnät, batteri- och vätgaslager samt smart laddning av elbilar. (Energimyndigheten, 2025)

Sammanfattningsvis så kan man säga att det svenska elsystemet genomgår ett skifte. Från att traditionellt varit ett linjärt system (Bild 1), där el har producerats centralt, för att sedan distribueras och till sist användas, till ett nytt och mycket mer spretigt system (Bild 2). Detta nya system karaktäriseras av hög komplexitet, där elen kan strömma fram och tillbaka mellan användare, en större andel av prosumenter, fler decentraliserade kraftkällor och hög digitalisering (International Energy Agency, 2025). Det nya, framtida, systemet visualiseras i Bild 2.



Bild 1: Sveriges historiska elsystem. Bildkälla: PowerCircle. Använd med tillstånd.

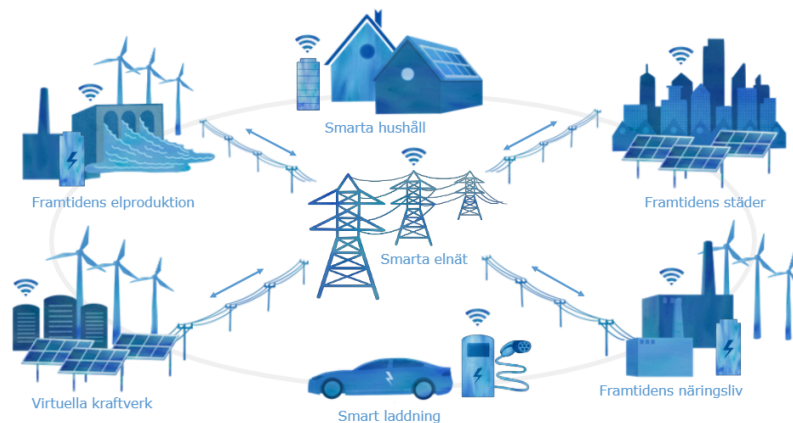


Bild 2: Framtidens elnät. Bildkälla: PowerCircle. Använd med tillstånd.

2.1.2.2 Värmesystemets framtid

De kommande 25 åren förväntas stora förändringar ske även inom värmesektorn (Energimyndigheten, 2025). I kontrast till elbehovet så kommer Sveriges värmebehov för uppvärmning av lokaler och vatten att minska. År 2050 förväntas värmebehovet att ligga på cirka 80 TWh årligen, att jämföra med dagens 90 TWh. Det finns flera anledningar till minskningen. I huvudsak är det på grund av olika energieffektiviseringsåtgärder, som exempelvis bättre isolering, fönsterbyten, men också förbättrade styr- och regleringsystem (Energimyndigheten 2025). En annan bidragande faktor är klimatförändringarna, då ett varmare klimat kommer att kräva mindre uppvärmning.

Även om det är svårt att säga exakt hur mycket, så kommer fjärrvärmens ledande position inom värmesektorn att utmanas fram till 2050. Detta beror på att dess konkurrenskraft kommer att försvagas då priset på biobränslen förväntas öka i framtiden, då flera sektorer kommer att göra anspråk på dem (Energimyndigheten, 2025). Dessutom så kommer ett mer resurseffektivt samhälle minska tillgången på avfall som kan energiåtervinnas. Då fjärrvärmens blir mindre attraktiv förväntas elbaserad uppvärmning, främst i form av värmepumpar, att ta större marknadsandelar (Energimyndigheten, 2025).

2.2 AI - Kort historik och utveckling

Parallellt med energisystemets utveckling har AI-teknologi gått från att vara en relativt nischad bransch till en världsindustri. Det stora uppsvinget kom med lanseringen av språkmodellen ChatGPT under hösten 2022. Detta var första gången som allmänheten fick tillgång till ett AI-verktyg som kunde producera mängder av information utifrån en enkel instruktion, som dessutom kunde härma mänskligt språk på ett förtroendeingivande sätt. Även om språkmodeller kan upplevas som ny teknik så är det i själva verket bara den senaste iterationen av en teknologi som har utvecklats under en väldigt lång tid (Rai, 2024). Tekniken bygger på idéer som formulerades redan under 1940-talet. I decennierna som följde så utvecklades datorernas förmåga att hantera stora mängder av information med nya tekniker som exempelvis neurala nätverk (Grzybowski et al., 2024). I början av 2000-talet så skedde stora framsteg inom djupinlärning, vilket senare ledde till utvecklingen av exempelvis språkmodeller. Därmed kan lanseringen av ChatGPT betraktas som det senaste steget i en teknikutveckling som pågått i flera decennier (Grzybowski et al., 2024). Just språkmodeller som ChatGPT är vad många tänker på när de hör begreppet AI. Det är dock inte denna formen av AI som är i fokus i detta arbete, utan det handlar mer om hur "traditionell" AI används inom energisektorn.

Idag finns det ingen allmänt vedertagen definition av AI (Worthmann & Malik, 2025). Men ett enkelt och populärt sätt att beskriva AI är "*möjligheten att få maskiner att göra saker som traditionellt kräver mänsklig intelligens*" (International Energy Agency, 2025). Det finns vissa områden där AI redan idag överträffar den mänskliga förmågan, men det är viktigt att poängtera att dagens AI-modeller *inte har något som helst* medvetande. En mänsklig hjärna kan anpassa sig och använda gamla erfarenheter till att ta sig an nya problem vilket AI inte är kapabel till. De AI-modeller som finns idag är tränade för att genomföra specifika uppgifter (International Energy Agency, 2025).

Ett område där dagens AI-modeller redan presterar väldigt högt är förmågan att hantera stora mängder information (Lin & Chang, 2023). De kan, genom att analysera stora och komplexa strukturer, lära sig olika mönster och sedan använda dessa mönster för att förbättra systemet. Genom att analysera stora system på detta sätt så erbjuder AI revolutionerande möjligheter att automatisera och optimera system genom att ta beslut baserat på stora mängder data. Dessutom kan det skapa kraftfulla prognostiseringsverktyg som tar hänsyn till en mängd faktorer som inte är möjliga med traditionella metoder (Fathy et al., 2025). På grund av det

stora databehovet så spås det att AI kommer få störst genomslag i de fall där det införs på storskaliga, digitaliserade system med stor datatillgång (International Energy Agency, 2025).

2.3 AI i energisystemet

Det finns som tidigare nämnt en stor uppsjö av användningsområden för AI i energisystemet. I detta examensarbete har fokus legat på tre appliceringsområden för AI inom det svenska energisektorn. De områdena är olika prognosverktyg, digitala tvillingar och flexibilitetstjänster. Dessutom har risker med att integrera tekniken i energisystemet undersökts.

Under hösten 2024 genomförde Energiforsk en förstudie som undersökte det aktuella läget för AI i energisektorn (Energiforsk, 2024). I denna rapport pekades prognosverktyg och digitala tvillingar ut som prioriterade områden för kommande satsningar. Detta är motiveringen bakom valet att fokusera på dessa tekniker. I denna rapport pekas inte flexibilitetstjänster ut som ett prioriterat område. Detta område valdes då det ofta diskuterades som en viktig AI-driven komponent i framtidens energisystem, enligt den internationella litteraturen. Utöver detta undersöktes riskerna med AI-tekniken, då arbetet strävade efter att ge en nyanserad bild av dagsläget.

2.4 AI-kommissionens Färdplan för Sverige

I februari 2025 publicerades AI-kommissionens rapport Färdplan för Sverige. Det är en utredning om vilka effekter som AI-genomslaget kan ha i Sverige, samt hur väl rustat Sverige är för att ta sig an de utmaningar som tekniken innebär. I rapporten görs bedömningen att AI-utvecklingen har potential att leda till stora vinster för det svenska samhället, som ökad konkurrenskraft och bättre välbefinnande. Rapporten drar även slutsatsen att Sverige har goda möjligheter att dra stor nytta av AI, men att vi har börjat att halka efter andra länder. (Regeringskansliet, 2025)

Rapporten Färdplan för Sverige diskuterar ett stort antal faktorer som påverkar hur väl ett land kommer att klara AI-omställningen. En av dessa faktorer är AI-kompetens. Det är något som måste spridas både inom samhället på rent demokratiska grunder, men även specifik bransch- och yrkeskompetens måste utvecklas där det behövs. Kompetensbehovet kommer inte att täckas enbart av nyexaminerade utan även de som redan är etablerade på arbetsmarknaden kommer behöva vidareutbildas. Det finns två anledningar till detta; dels är behovet så stort att det inte räcker med nyexaminerade, dels så går utvecklingen så fort att de inte kommer att hinna utbildas i tid. (Regeringskansliet, 2025)

Rapporten varnar för att idag saknar i princip alla branscher tillräcklig AI-kompetens. Den kompetens som finns är ofta centraliserad runt ett fåtal experter och stora delar av organisationer saknar bred kompetens. Detta gäller även för tekniska branscher, som till exempel energibranschen. (Regeringskansliet, 2025)

Enligt rapporten har framförallt små- och medelstora företag svårt att tillförskansa sig information om vilken sorts kompetens som behövs. Svårigheten ligger inte i att det finns brist på information, utan snarare att den information som finns är svår att överblicka, samt att den information som finns snabbt blir utdaterad. För att motverka detta behövs en regelbunden kunskapsuppdatering om de effekterna som AI har på de olika branscherna, och i förlängningen vilken kompetens som kommer efterfrågas i framtiden. (Regeringskansliet, 2025)

Det är det här behovet som detta examensarbete ämnar att bidra till, med sin analys av vilken kunskap och kompetens som kommer krävas i det svenska energisystemet de kommande åren.

2.5 Olika sorters AI

All AI som finns idag går under begreppet *snäv* eller *svag AI* (*narrow/weak AI*). Det är en form av AI som kan tränas till att utföra specifika uppgifter, men gör det mycket snabbare och effektivare än vad en mänsklig hjärna skulle göra. Inom snäv AI finns många olika sorters intelligens. Hur dessa fungerar på djupet kommer inte diskuteras i denna rapport, men för helhetens skull så följer här en lista på de viktigaste formerna av AI som finns idag, samt har relevans för energisektorn. Återigen, det finns ingen allmänt vedertagen definition av AI utan här har författaren utgått från IEA:s variant som återfinns i kapitel 2.2.

- **Regelbaserad eller symbolisk AI** (*rules based/symbolic AI*) är en enkel typ av AI som förlitar sig på tydligt inprogrammerade och definierade regler. De agerar enligt “om - så”-regler vilket innebär att samma indata ger alltid samma resultat, och de kan inte lära sig något utan måste programmeras om för att ändra funktionalitet. (International Energy Agency, 2025)
- **Maskininlärning** (*machine learning*) innebär att algoritmer byggs upp genom att de tränas på data. Utifrån träningsdatan lär sig programmet att känna igen mönster och kan därför göra kvalificerade gissningar om ny data. Träningen kan vara både övervakad eller oövervakad. För övervakad träning krävs det att resultatet kan valideras för att algoritmen ska “veta” om den har gissat rätt eller inte. För oövervakad inlärning så finns det inget korrekt svar som algoritmen ska lära sig hitta, utan här kan fokus vara att identifiera underliggande strukturer. (IBM, u.å a)
- **Förstärkningsinlärning** (*reinforcement learning*) är en tredje variant av maskininlärning. Metoden liknar oövervakad inlärning, men genom att gissa sig fram i data och få en belöning när den kommer fram till rätt svar, och ett “straff” när den har fel så lär den sig till slut att utveckla strategier för hur den ska agera (Sutton & Barton, 2015)
- **Neurala nätverk** (*neural networks*) är inspirerade av hur hjärnans biologiska neuroner fungerar och bygger på att det finns ett system av sammankopplade noder där varenda nod bidrar lite till utvärderingen av datan. (MIT News, 2017)
- **Djupinlärning** (*deep learning*) bygger vidare på neurala nätverk. Här finns det väldigt många lager av noder som hjälps åt för att tillsammans bearbeta informationen. På grund av nätverkens storlek kan de lära sig känna igen komplexa mönster i exempelvis

bilder eller texter. Kopplingarna mellan noderna får också ett “viktningsvärde” som gör att vissa noder, via träning, får mer eller mindre inverkan på slutresultatet. (MIT News, 2017)

- **Prediktiv AI** är AI-modeller som används för att göra olika sorters förutsägelser och prognoser. (International Energy Agency, 2025)
- **Generativ AI**, som stora språkmodeller (*Large Language Models, LLM*) eller bildgenereringsprogram bygger på neurala nätverk och djupinlärning. Via träning på ofantliga mängder text så lär LLM:s sig att “gissa” fram en lämplig ordföljd som svar på en textinmatning (*prompt*). Exempelvis ChatGPT är en sådan här modell, och är det som folk ofta associerar begreppet AI till nuförtiden. Bildgenereringsmodeller lär sig på ett motsvarande sätt, fast de tränas på bilder istället. (IBM, u.å. b)

Förutom snäv AI så pratas det på det teoretiska planet om *generell AI* och *superintelligent AI*. Generell AI är en AI som kan tänka “utanför boxen”, vara kreativ och använda gamla erfarenheter för att lösa nya problem (IBM, u.å. c). Det kan ses som en artificiell hjärna som matchar den mänskliga. En superintelligent AI överträffar den mänskliga hjärnan, är medveten och kan ha egna mål och drömmar (IBM, u.å. d). Inget av dessa två teoretiska koncept kommer att diskuteras i denna rapport.

2.6 Energiforsk

Det här examensarbetet genomfördes i samarbete med Energiforsk AB. Det är ett icke-vinstutdelande och politiskt neutralt aktiebolag som ägs av Energiföretagen Sverige, Energigas Sverige, Svenska kraftnät och Nordion Energi. Energiforsks uppdrag är att initiera, genomföra och finansiera forskning inom energiområdet samt att se till att den kunskap och kompetens som det ger sprids till både allmänhet och beslutsfattare. (Energiforsk, 2023)

Energiforsk har under de senaste åren observerat att AI är både en möjlighet och utmaning inom flera områden av det svenska energisystemet och vill därför skala upp sina AI-relaterade satsningar. Detta är anledningen till att examensarbetet genomförs tillsammans med dem. Energiforsks mål med samarbetet är dels att få ut en nulägesbeskrivning om AI inom det svenska energisystemet, men framförallt förståelse om kunskapsgap inom AI i relation till energisystemet för att dra slutsatser om vad deras framtida initiativ inom AI ska fokusera på.

Energiforsks bidrag till detta examensarbete har främst varit att dela med sig av sitt kontaktnätverk, och utifrån detta nätverk har ett antal personer från energisektorn intervjuats. Även ett antal av Energiforsks experter (tre stycken) har ställt upp på intervju. Energiforsk har även bistått med handledning och rådgivning vid behov.

3. Metod

3.1 Litteraturstudie

En del av detta examensarbete har skett i form av en litteraturstudie. I det här kapitlet redogörs för hur den har genomförts.

3.1.1 Data och urval

De databaser som användes för att söka efter akademiska texter var Lunds Universitets söktjänst Finn och Webofscience.

När detta examensarbete inleddes hade författaren väldigt begränsad kunskap om AI och digitalisering, därför fick lämpliga söksträngar växa fram under tiden. Tidigt i processen gjordes väldigt breda sökningar med syftet att få en uppfattning om vilka användningsområden som finns för AI och digitalisering inom energisektorn. Denna första sökning hade enbart dessa få ord och villkor:

“AI” ELLER “artificial intelligence” OCH “energy sector”.

Denna (väldigt breda) sökning gav över sex miljoner träffar men genom att skumma några få rapporter kunde flera nyckeltermers identifieras, exempelvis “digital twin” och “forecast*”. Även typiska energisystembegrepp som “demand side management”, “frequency regulation” och “demand side flexibility” har använts när kunskap om AI:s påverkan på dessa specifika områden har eftersökts.

Den del av litteraturen som kommer utifrån akademien, exempelvis myndighetsrapporter, har ofta kommit som tips från de personer som intervjuats. Ett fåtal källor har hittats via söktjänsten Google. Detta är främst de gånger som hemsidor använts som källa. Enbart hemsidor som har bedömts som tillförlitliga (exempelvis myndigheter) har använts som källa. I några få fall har rapporter som googlats fram använts som källa. Det är de rapporter som kommer från International Energy Agency, Energiföretagen och Energimyndigheten, vilka bedöms ha väldigt hög trovärdighet.

I vissa fall har även intressanta rapporters referenser letats upp och lästs då det bedömts relevant, så kallad kedjesökning.

3.1.2 Relevant tidsperiod

När litteratur söktes och utvärderades lades stor vikt vid att rapporterna skulle vara aktuella på grund av den snabba utvecklingen inom AI de senaste åren. Därmed så har främst akademisk litteratur från åren 2020 - 2026 använts. Ett fåtal undantag förekommer, men i dessa fall har deras relevans idag bedömts som god.

3.1.3 Geografiskt relevanta källor

På grund av examensarbetets Sverigeperspektiv har målet varit att de källor som använts alltid ska vara relevanta i landet. Detta gäller främst de källor som har varit kopplade till energisystem på olika sätt. Även när internationell forskning har använts så har dess relevans för det svenska energisystemet utvärderats, och källan har enbart använts om dess resultat kan vara tillämpbara i Sverige.

När det gäller AI-teknologi så fungerar den likadant i hela världen, så här har i princip alla tekniska lösningar som dykt upp bedömts vara relevanta.

3.2 Intervjustudie

3.2.1 Energiforsk

I intervjustudiens första skede intervjuades tre av Energiforsks program- och rådsansvariga. Intervjuerna var semistrukturerade och hade en informell karaktär. Dessa hade två syften, dels att ge en bra överblick på Energiforsks pågående projekt med AI- och digitaliseringskoppling. Det andra syftet med dessa intervjuer var att identifiera övriga aktörer i näringslivet som kunde vara relevanta för en intervju. Ett enkelt underlag på sex frågor mejlades ut inför intervjuerna och det var dessa frågor som agerade bas till diskussionerna. Intervjuerna kommer refereras till enligt nedan;

Intervju 1, programansvarig för elnät på Energiforsk.

Intervju 2, programansvarig för energisystem på Energiforsk.

Intervju 3, rådsansvarig för energisystem på Energiforsk.

3.2.2 Externa aktörer

Efter de inledande intervjuerna med Energiforsk så sammanställdes ett antal aktörer som bedömdes ha relevant kunskap om de ämnen som examensarbetet kretsade kring. Dessa kom främst från Energiforsks kontaktnätverk. Ett trettiotal aktörer inom energibranschen kontaktades via mejl med en förfrågan om intervju. Av dessa svarade drygt 20 stycken, vilket ledde till 17 intervjuer med totalt 18 personer. I de fall då personen inte svarade efter sju dagar mejlades ett påminnelsemejl, och om hen fortfarande inte svarat efter sju dagar till skickades ännu ett. De flesta intervjuer skedde digitalt via Microsoft Teams eller Google Meet. Tre personer intervjuades på plats och en intervju skedde över mejl, då personen inte hade möjlighet att få till ett möte inom tidsramen.

De personer som bedömdes vara relevanta för denna studie var främst personer med högt uppsatta roller inom företag med ett långt framskridet AI- och digitaliseringsarbete. Genom att göra urvalet på det här sättet så säkerställdes att det är den mest aktuella tekniken och senaste forskningen som diskuteras i denna rapport. Nackdelen är dock att detta arbete saknar de mer AI-kritiska perspektiven, samt de som inte kommit lika långt i sitt AI-arbete.

Även dessa intervjuer var informella och av semistrukturerad karaktär. Ett antal basfrågor formulerades utifrån examensarbetets syfte som intervjuerna skulle besvara. Utöver detta så gjordes ett förarbete inför varje intervju, där grundläggande research om den intervjuades företag och dess roll gjordes. Frågorna anpassades sedan på grund av den stora bredden bland de intervjuade aktörerna. De externa intervjuerna kommer att refereras till enligt;

Intervju 4, affärsstrateg på elnätsbolag.

Intervju 5, data scientist på Svenska kraftnät.

Intervju 6, representant för företag för energidata och optimering.

Intervju 7, representant för företag som är aktivt inom digitalisering av fjärrvärmenät.

Intervju 8, representant för elnätsbolag.

Intervju 9, representant för företag inom smart energistyrning.

Intervju 10, representant för företag inom solenergi och energimarknadsanalys.

Intervju 11, representant för nationell AI-organisation.

Intervju 12, representant för företag inom digital representation för elnät.

Intervju 13, forskare inom digitala tvillingar, RISE.

Intervju 14, specialist inom digital tvilling, detaljnivå på Svenska kraftnät

Intervju 15, specialist inom digital tvilling, systemnivå på Svenska kraftnät.

Intervju 16, representant för branschorganisation med fokus på flexibilitetstjänster.

Intervju 17, anställda på ett företag som arbetar med batterier som stödtjänst.

Innan examensarbetets publicering kontaktades alla personer som blivit intervjuade återigen via mejl. De fick då granska och godkänna sin egen anonymisering samt alla textstycken där de blivit refererade till.

4. Prognoser

Intervjuerna och litteraturen har visat att AI, framförallt via maskininlärning, redan haft stor påverkan på det svenska energisystemet. Det är prediktiv AI som blivit avsevärt bättre, vilket möjliggör mer träffsäkra prognoser. När det har blivit möjligt att göra bättre förutsägelser har det förändrat hur delar av energisystemet fungerar och beter sig, då det blir möjligt att ta datadrivna beslut i förebyggande syfte.

4.1 Elförbrukningsprognoser

När man pratar om elförbrukningsprognoser så är det viktigt att skilja på lång- och kortsiktiga prognoser. En kortsiktig prognos förutspår elbehovet de kommande minuterna, timmarna eller dagarna och används för att planera exempelvis produktion. Långsiktiga prognoser berättar hur förbrukningen kan komma att ändras de nästkommande åren, och är ett underlag för hur man bör planera sin nätutbyggnad.

4.1.1 Elförbrukningsprognoser med korta tidshorisonter

Redan idag används maskininlärning för att prognostisera elförbrukning på systemnivå av den stora elnätsägaren som intervjuades (Intervju 8). Genom att ta hänsyn till en mängd faktorer som solinstrålning, spotpriser, temperatur och historisk användningsdata så har de förbättrat sina elförbrukningsprognoser avsevärt. De har verifierat att deras nya, maskininlärningsbaserade metoder ger mer träffsäkra resultat och detta tillskrivs till att de kan hantera stora mängder data på ett betydligt effektivare sätt. Den faktorn som har störst påverkan på elförbrukningen har identifierats som spotpriser. Det här gäller framförallt de områden där det finns tunga industrier, och extra tydligt blir det när det är en industri som befinner sig i lågkonjunktur. De mer avancerade prognosverktygen har gett elnätsägaren förutsättningar för att ta bättre beslut angående vilka produktionsresurser de ska avropa eller styra ned. Detta styrks även av Intervju 12, som sett att flera elnätsägare, även mindre sådana, får ett proaktivt och mer konkret beslutsunderlag för vilken reservkraft som ska aktiveras, och när det ska ske.

Maskininlärning utmärker sig i de fall när det finns starka mönster. Den beteendestyrd lasten på elnätet är därför särskilt lämplig att prognostisera med denna metod, och utifrån detta finns det förutsättningar för att lägga om denna last. En metod att göra det på är att lagra värme i fastigheten (Intervju 9).

4.1.2 Elförbrukningsprognoser med långa tidshorisonter

I mars 2026 publicerade Energiforsk rapporten “AI-modeller för prognostisering av efterfrågan på el, subproject 1” (Energiforsk, 2026). Detta var den första delen i ett större forskningsprojekt som syftar till att ta fram modeller som kan prognostisera förändringar i elförbrukning, baserat på vad som sker i privata hushåll. Dessa prognoser ska ha långsiktiga tidshorisonter på upp till tio år.

När större industrier skalar upp sitt elbehov så sker detta ofta i dialog med DSO:n men om ett privat hushåll till exempel installerar värmepump eller köper en elbil så underrättas inte

DSO:n. När detta händer på stor skala så kan det orsaka oreda i de lokala näten. Projektet undersöker hur AI-baserade metoder kan användas för att analysera data och förutsäga i vilka geografiska områden det är sannolikt att exempelvis en kraftig ökning av elbilar eller värmepumpar kommer att ske. I denna fas av projektet har inga modeller börjat utvecklas, utan det är branschens behov och önskemål som undersökts. Det finns konkreta planer på att gå vidare med modellutveckling, men det är inte ett arbete som startat när denna rapport publiceras. (Energiforsk, 2026)

En svårighet som nämns i rapporten är att vissa av dessa konsumentbeteenden påverkas av politiska beslut som subventioner. Dessa faktorer kan vara svåra att ta hänsyn till då historisk data kan bli mindre träffsäker ifall en reform införs eller avskaffas. En åtgärd som gjordes i detta projektet för att bemöta denna svårighet var att utvidga det dataset som skulle användas. Data som då inkluderades var sådan som på något sätt skulle kunna symbolisera värderingar i samhället samt ekonomisk köpkraft. (Energiforsk, 2026)

4.2 Elproduktionsprognoser för sol- och vindkraft

När det gäller prognoser framtagna för att förutse elproduktion från förnybara källor så rör det sig om en tvåstegsraket. I det första steget så kan AI-användning leda till att väderprognoserna blir mer tillförlitliga. Väderprognoser använder idag kombinationer av fysikaliska modeller och machine-learning, vilket har dokumenterats förbättra träffsäkerheten (Intervju 5; Intervju 10). Sedan görs ett andra led prognoser baserat på dessa prognoser, där själva produktionsprognoserna görs. Det rör sig alltså om att prognoser tas fram, som sedan används för att prognostisera något helt annat (Intervju 5). Stärks hela denna kedjan, det vill säga att både verktygen för att göra väderprognoser och verktygen för att använda dem på rätt sätt förbättras, finns stora möjligheter för att underlätta integrationen av förnybar elproduktion. Exempelvis så kan bättre väderprognoser hjälpa till med att hantera elnätets frekvensproblematik (Intervju 10).

4.3 Elprisprognoser

Elprisprognoser kan förbättras med hjälp av AI-teknik, även om det fortfarande var primärt traditionella statistiska metoder som användes så sent som 2024. Att prognostisera elpriser har dock flera svårigheter, då de är betydligt mer volatila och inte har samma starka mönster som förbrukningsprognoser. (Ezzat et al., 2024)

I vilken utsträckning som AI används till elprisprognoser i Sverige har inte undersökts i denna studie då författaren inte kom i kontakt med en lämplig person att intervjua. Det lämnas därmed till en framtida undersökning.

4.4 Exempel från industrin: AI-prognoser för att optimera mot olika marknader

Det finns också nya affärsidéer som möjliggörs av AI-utvecklingen, vilket skapar förutsättningar att ge energisystemnytta på helt nya sätt. Ett sådant företag intervjuades inom denna studien. Här används AI för att optimera batteriparker mot olika marknader. Syftet med

detta är att på så sätt sälja el på stödtjänstmarknaderna på ett så ekonomiskt gynnsamt sätt som möjligt. (Intervju 17)

Batterierna laddas när det finns ett överflöd av el i nätet och elpriset är lågt, samt skickar ut el när det finns ett underskott och priset är högt. På detta sätt bidrar deras affärsmodell till att hålla elnätet stabilt. De använder AI för att ta fram ett stort antal prognoser för olika elmarknader och har dessutom automatiserat processerna för köp och försäljning av el. (Intervju 17)

4.5 Prognostisering för obalanser

Svenska kraftnät tar kontinuerligt fram en mängd olika prognoser för obalanser med hjälp av bland annat prediktiv AI, men även statistiska och fysikaliska modeller används fortfarande. Vissa av dessa görs på korta tidshorisonter och de är starkt baserade på situationen i nätet just nu, samt nyligen inträffade händelser. Att använda för mycket historisk data har visat sig vara mindre lämpligt här, då det inte är lika relevant vad som hände i nätet längre bak i tiden. (Intervju 5)

4.6 Exempel från industrin: Frekvensåterställningsreserverna aFRR och mFRR

Sedan ett år tillbaka har AI-baserade prognoser genomfört en stor förändring på hur frekvensåterställningsstjänsterna aFRR och mFRR (*automatic* respektive *manual Frequency Restoration Reserve*) fungerar i det svenska elnätet. Historiskt sett så har aFRR aktiverats reaktivt för att återställa frekvensen efter bästa förmåga. Därefter har mFRR kopplats in för att jämna ut kvarvarande fel och återställa aFRR. Sedan 2025 har dock funktionaliteten förändrats, och aFRR och mFRR har bytt fördelning. Nu aktiveras mFRR först och proaktivt, baserat på prognoser för frekvensfelet som tas fram på en femminutersbasis av Svenska Kraftnät. Därmed tar mFRR hand om den största andelen av frekvensdifferansen. Ett antal olika prognosticeringsverktyg (både AI-baserade men även traditionella, som berättat i kapitel 4.1.5) "tävlar" hela tiden med varandra och deras prognoser jämförs med realtidsdata på hur stort frekvensfelet varit de senaste timmarna. Det verktyg vars prediktioner stämde bäst överens med verkligheten får avgöra i vilken utsträckning som mFRR ska aktiveras kommande tiden. Buden aktiveras på femtonminutersbasis. Helt rätt blir det dock aldrig, så därefter går aFRR in och reglerar kvarvarande differens i frekvensen. Anledningarna till att systemet designats om på detta vis är flera. Dels är denna modell i linje med de EU-regler som finns för hur reglertjänsterna ska fungera. Under 2027 ska de svenska frekvensåterställningsreserverna anslutas till de europeiska storskaliga ditona, som heter MARI för mFRR och PICASSO för aFRR (Svenska Kraftnät, 2025a). En annan fördel med det här systemet är också att det är kostar mindre att aktivera då mFRR-buden är billigare än de för aFRR. (Intervju 5)

4.7 Prediktivt underhåll

Prediktivt underhåll syftar till att identifiera när komponenter riskerar att gå sönder innan ett faktiskt fel inträffar. Detta möjliggörs genom att använda maskininlärning för att analysera data från den dagliga driften som samlas in via IoT-sensorer. Genom att analysera denna data

kan AI-modeller upptäcka avvikelser och därigenom prognostisera när en specifik komponent sannolikt kommer att gå sönder (Atanasova et al., 2025). Baserat på denna data kan servicepersonal genomföra underhåll i förebyggande syfte, innan den slitna komponenten orsakar en störning i driften. Prediktivt underhåll kan tillämpas både inom produktionsenheter (Atanasova et al., 2025) och inom elnätsinfrastruktur (Intervju 8; Intervju 12).

Historiskt sett har underhåll antingen utförts baserat på komponenters ålder (tidsbaserat underhåll) eller först efter att ett fel har inträffat och orsakat driftstopp (reaktivt underhåll). AI-baserade lösningar möjliggör ett mer proaktivt arbetssätt, vilket kan minska avbrott genom att felaktiga komponenter hittas och åtgärdas innan de leder till driftstopp (Intervju 16). Dessutom så har nya komponenter ofta en kortare livslängd än äldre varianter, vilket ger en tydlig nytta med att basera underhåll på andra faktorer än ålder (Intervju 12).

4.8 Analys över kunskapsläget för prognoser

Intervjuerna har visat att det är just inom området prognoser som AI, främst via maskininlärning, har haft störst påverkan på det svenska energisystemet. Den tekniska mognaden för AI-baserade prognosverktyg bedöms generellt som väldigt god. Större och etablerade företag jobbar aktivt med att integrera de nya verktygen i sina verksamheter och skördar redan framgångar med det genom att effektivisera sina befintliga system. Samtidigt så finns det relativt nystartade “cutting edge”-företag som har byggt hela sin affärsmodell på prognoser framtagna med maskininlärning för att sälja el på ett så lönsamt sätt som möjligt.

Det grundar sig inte i att AI-baserade prognoser är “magiska” utan att de har kapacitet att hantera mycket mer data än traditionella metoder. Därmed kan prognostiseringsverktygen oftare och mer effektivt producera nya prognoser. När prognoserna har blivit mer tillförlitliga har detta förändrat funktionaliteten på sina håll inom energisystemet, och det har gått från ett reaktivt till ett proaktivt system. Saker som historiskt sett har gjorts först efter att en störning inträffat, kan nu göras i förebyggande syfte vilket ger ett mer robust och driftsäkert energisystem.

Den största utmaningen för prognosverktygens utveckling rör datatillgången. Olika prognoser kräver olika sorters data, som ibland kan vara mer eller mindre tillgänglig. Mycket av den data som används inom energisektorn är tidsserier eller sekretesskyddad. Att datan är sekretessbelagd försvårar datadelningen, medan tidsserier har ett “bäst före-datum” på grund av energisystemets föränderliga natur.

För att prognostisera vissa saker, främst sådana som har korta tidshorisonter, finns det dessutom inneboende svårigheter i att för mycket historisk data inte stärker prognosen, utan snarare tvärtom.

4.8.1 Förslag på satsningar inom prognoser

De förslag på satsningar som presenteras nedan syftar inte till att utveckla bättre prognostiseringsalgoritmer, då marknaden redan sköter detta bra. Fokus här ligger snarare på

att skapa systemnytta genom att facilitera datadelning och kunskapsutbyte mellan olika aktörer. Dessa förslag är riktade till Energiforsk.

4.8.1.1 Gemensamma modeller med federerad inlärning

Intervjustudien visar att det idag görs stora mängder prognoser baserade på en rad olika parametrar inom energisektorn. Det är tydligt att AI och maskininlärning inte bara har förbättrat kvaliteten på dessa prognoser, utan även bidragit till att öka deras antal inom branschen. Ofta är det de större aktörerna som har tillgång till de mest avancerade prognostiseringsverktygen, vilka dessutom har tränats på deras egen data.

AI-baserade prognoser blir (ofta) bättre när mängden träningsdata ökar. Samtidigt sitter många bolag på omfattande datamängder som är skyddade av sekretess. Genom att identifiera vilka behov som de olika aktörer inom energibranschen delar finns det möjlighet att utveckla gemensamma modeller för prognostisering. Detta kan med fördel göras som en open source-satsning, där alla inblandade parter bidrar till att gemensamt utveckla modellerna.

Genom att därefter träna dessa modeller med hjälp av så kallad federerad inlärning kan man uppnå hög kvalitet i prognoserna för samtliga deltagande aktörer, utan att känslig data behöver delas mellan parterna. Federerad inlärning är en maskininlärningsteknik när en modell tränas på decentraliserad data (RISE, u.å a). Själva modellen kan befinna sig på en server men träningsdatan kan finnas i olika, lokala databanker. Genom att använda federerad inlärning kan modeller tränas på oberoende aktörers data, utan att de faktiskt behöver ge varandra tillgång till sin egen data. Alla får sedan tillgång till den tränade modellen utan att de kommer åt den bakomliggande träningsdatan.

I teorin kan denna metodik tillämpas på en mängd olika användningsområden inom energisektorn, och modellerna kan vara specialiserade på allt från elanvändningsprognoser till prediktivt underhåll.

Denna metod används redan brett inom många olika sorters branscher, men är än så länge outforskad inom energisektorn (Intervju 11).

4.8.1.2 Prognostävlingar

Internationellt har det skett framgångsrika och uppskattade "tävlingar" där olika företag fått tävla inom prognosmodellering och maskininlärning. Vinnaren får sedan, utöver ett eventuellt pris, redovisa hur de kom fram till sina resultat. (Intervju 5)

Att genomföra liknande tävlingar i Sverige hade varit ett lämpligt projekt för Energiforsk, tillsammans med eventuella samarbetspartners. Inspiration kan tas från den amerikanska plattformen Kaggle som under många år arrangerat tävlingar inom mängder av olika maskininlärningsapplikationer. Men i jämförelse med Kaggle, som är en mycket större och bredare tävlingsplattform, bör Energiforsk ha en mycket mindre roll. Det ansvar som Energiforsk tar bör vara att utlysa och organisera tävlingen, samt ta fram och tillhandahålla den data som tävlingen utgår från.

Ett sådant koncept skulle kunna främja kunskapsdelning inom den svenska energibranschen, både kring hur effektiva AI-modeller utvecklas men även vilka typer av modeller som lämpar sig bäst för olika sorters prognoser.

5. Flexibilitetstjänster

Framtidens energisystem kommer präglas av en stor mängd flexibilitetstjänster, och en viktig möjliggörare för detta är att prognosverktygen blir mer träffsäkra. Detta ger en systemkomplexitet som är avsevärt högre än dagens. Användningen av AI-verktyg spelar redan en viss roll när det gäller att prognostisera och flytta laster på ett effektivt sätt. I framtiden kommer AI troligtvis fylla en mycket mer kritisk funktion än vad det gör idag, i rollen av att automatisera och styra de olika systemen och hjälpa dem att samverka med varandra. Utan AI finns det en risk att systemen blir alldeles för komplexa för att vi över huvud taget ska kunna hantera dem.

5.1 Kommunikation med smart utrustning för att styra förbrukning

En stor del av nyttan med flexibilitetstjänster ligger i att de möjliggör förflyttning av förbrukning från höglasttimmar till låglasttimmar genom att kommunicera med, samt styra smart styrutrustning. Detta kan exemplifieras med två typer av förbrukning; beteendestyrd respektive icke-beteendestyrd förbrukning. Beteendestyrd förbrukning är sådan som är direkt knuten till mänskliga aktiviteter, exempelvis lagar stora delar av befolkningen mat vid tidig kvällstid. Eftersom det finns väldigt starka mönster för dessa laster så är maskininlärning väldigt bra på att lära sig dessa, och därefter ta fram prognoser för hur de kan se ut. Utifrån dessa förutsägelser kan AI sedan flytta på den icke-beteendestyrd förbrukningen. Det är sådan användning som står på i bakgrunden, som kylskåp, ventilation och värmepumpar. Det finns redan ett antal AI-baserade lösningar på den svenska marknaden som flyttar på den icke-beteendestyrd lasten utan att märkbart minska komforten. Det kan ske genom att till exempel öka värmepumpens effekt tidigt på morgonen, och sedan stänga av den när det blir en lasttopp och elpriset stiger. (Intervju 9)

5.2 Optimering av småskaliga resurser för energilagring och produktion

Framtidens energisystem kommer att innefatta smarta elnät och en hög andel förnybar elproduktion. Men de problem som intermittent elproduktion har medför stora svårigheter för att de ska kunna integreras på ett bra sätt. Att optimera produktion och lagring med hjälp av AI ger stora möjligheter att underlätta dessa svårigheter. (Saleh et al., 2025)

Möjligheterna med att optimera småskaliga flexibilitetstillgångar exemplifieras här nedan med elbilar, men det finns betydligt fler resurser än dessa.

5.2.1 V2G-system

År 2050 förväntas i princip hela Sveriges fordonsflotta att vara elektrifierad (Energimyndigheten, 2025). Alla dessa nya elbilar kan bli en stor last, men även en tillgång, för elnäten. Genom så kallad vehicle-to-grid (V2G)-funktionalitet kan en parkerad och nätansluten elbil både skicka och ta emot el (Vattenfall, u.å).

Idag så finns redan enkla digitala lösningar för att ladda elbilar på ett smart sätt, exempelvis genom att ladda på natten när lasten är lägre (Intervju 9). När det gäller att skicka ut el på det

svenska nätet igen så är tekniken mogen men har inte lanserats i stor skala ännu, utan det har bara prövats i ett fåtal pilotprojekt (Tidningen Energi, 2025).

För att V2G-system ska kunna fungera och stärka framtidens elnät krävs väl utvecklade tekniska lösningar. Med hjälp av AI kan smartare beslut om när elbilen ska ta emot eller skicka ut el genom att basera batteriaktiviteten på fler variabler, som data om till exempel väder eller elpris (Saleh et al., 2025). Det är dock inte säkert att AI är den enda lösningen.

5.3 Aggregering av decentraliserade resurser till virtuella kraftverk

När en elbil står uppkopplad och laddar batteriet eller en enstaka solcellsanläggning skickar ut el är det inte en nämnvärd last på nätet. Det blir dock ett problem om tusentals resurser vill konsumera eller producera el samtidigt, och då kan det orsaka stora störningar (Saleh et al., 2025). Denna effekt kan motverkas genom att flexibla resurser aggregeras till något som kallas *virtuella kraftverk*. Virtuella kraftverk samlar in utspridda och olika elproduktionsresurser och samordnar dem mot nätet, och har därmed lite funktionen av ett klassiskt kraftverk (Li et al., 2026). Man kan likna det med ett stort kraftverk som har många små produktionsenheter som kan stängas av eller sättas på individuellt.

Genom att kontrollera en bredd av olika resurser, som batterier, solceller, elbilar m.fl, kan ett virtuellt kraftverk välja när de olika resurserna ska konsumera el, producera el eller laddas. De olika produktionsenheternas styrkor och svagheter kan därmed komplettera varandra. Genom denna funktionalitet kan ett virtuellt kraftverk avlasta elnätet genom att flytta last eller bidra med effekt under förbrukningstoppar (Li et al., 2026).

Virtuella kraftverk kräver avancerade AI-lösningar för att kunna fungera (Li et al., 2026). Detta då de arbetar utifrån stora mängder data som kombinerar olika sorters prognoser med schemaläggning, produktionsoptimering och budgivningar på olika marknader.

5.4 Sektorkoppling - fjärrvärme som stödtjänst till elmarknaden

Intervjuerna med branschen har visat att det finns en oro för fjärrvärmens framtid i Sverige. Anledningarna till detta är att priserna redan har börjat stiga och förtroendet för fjärrvärmebolagen har börjat minska (Intervju 6; Intervju 7). Därtill så kommer priserna på svensk fjärrvärme fortsätta stiga på grund av minskade mängder avfall och högre konkurrens om biobränslen (Energimyndigheten, 2025). Fjärrvärmebolagen kommer behöva hjälp för att ställa om till denna nya verklighet och behålla sin konkurrenskraft. Intervjuerna har visat att AI-verktyg kan hjälpa till i denna omställning, och ett ämne som dykt upp är fjärrvärmens möjligheter att agera på elmarknaderna.

Det finns flera resurser i fjärrvärmesystem som är lämpliga flexibilitetsresurser. Det rör sig bland annat om kraftvärmeverk, stora värmepumpar och elpannor som kan användas flexibelt samt byggnader/ackumulatortankar som kan agera värmelager (Energimyndigheten, 2023).

Idag så agerar vissa fjärrvärmeföretag på elmarknaden, men det är främst på day ahead- och intradagmarknaderna (Intervju 6). På stödtjänstmarknaderna, som kommer bli betydligt viktigare i framtiden, har författaren inte hittat något underlag för att det finns fjärrvärmebolag som agerar i dagsläget. Det har inte heller identifierats någon AI-användning för dessa ändamål, även om det, enligt intervjuerna, finns potential för det.

5.5 Analys över kunskapsläget för flexibilitetstjänster

Flexibilitetstjänster är idag en snabbt växande marknad, där nya aktörer etablerar sig där det finns pengar att tjäna. Många av de nya affärsidéer som bygger på datadrivna och AI-baserade lösningar, ofta för att ta datadrivna beslut om när energi ska lagras, användas eller skickas vidare på både stor och liten skala. AI har därför potential att bli en central möjliggörare i frågan om systemintegration.

Det finns många utforskade potentialer inom området flexibilitetstjänster, men de olika tjänsterna kan använda mer, mindre eller ingen AI. Då det rör sig om en mängd olika användningsområden går det inte att uttala sig om i vilken utsträckning tekniken är "mogen" utan det varierar stort mellan olika applikationer. Däremot kommer olika sorters flexibilitetstjänster vara centrala i framtidens energisystem, och AI är en förutsättning för att detta komplexa system ska fungera.

5.5.1 Förslag på satsningar inom området flexibilitetstjänster

De forskningssatsningar som görs bör i första hand sikta på att skapa en större systemnytta genom att framhäva fördelarna med AI, samt hur verktygen kan stärka systemintegrationen på stor skala. Dessa förslag är riktade direkt till Energiforsk.

5.5.1.1 Nyttan med AI och digitalisering i fjärrvärmenäten

Det är väl dokumenterat av både svensk och europeisk forskning att det finns stora nyttor med flexibilitetstjänster i digitaliserade elnät, då det möjliggör kapacitetsökning utan utbyggnad. Det går att spara mellan 27 – 80 % på investeringskostnaden för nybyggnation och förstärkning av befintlig infrastruktur genom att integrera flexibilitetstjänster (Smart Energy Europe & DNV, 2022).

Intervjuerna har visat att det finns liknande vinningar att skörda inom fjärrvärmesektorn, men det saknas ordentlig forskning på ämnet. Framförallt i mindre fjärrvärmenät går det att spara mycket investeringskostnader genom att digitalisera istället för att bygga ledningar eller ackumulatortankar (Intervju 9).

Eftersom fjärrvärme är typiskt svenskt finns det lite internationell forskning på ämnet, och det finns därför många frågeställningar att undersöka. En vinkel på projekt inom området hade kunnat vara potentialen, det vill säga hur stora besparingar kan man göra genom att utnyttja kundflexibilitet i ett digitaliserat nät för att öka nätens kapacitet. Detta samtidigt som man undviker att överbelasta näten. Ett annat fokus skulle kunna vara hur det sker, vilka

digitaliseringslösningar ger störst kapacitetsökning. Sammanfattat skulle projekt som visar nyttan med digitalisering inom fjärrvärmesektorn ge stort kunskapsvärde.

5.5.1.2 Demonstrationsprojekt och scenarioanalys om nyttan med AI och digitalisering inom el- och fjärrvärmenät

Idag premieras fortfarande klassiska lösningar, främst i form av nätutbyggnad, för att åtgärda problem med kapacitetsbrist i elnäten (Intervju 12). Detta trots att det, som beskrivs i föregående förslag, finns mycket forskning som tyder på att det går att öka kapaciteten betydligt med hjälp av digitalisering och flexibilitet istället.

Ett nästa steg, för att vidare “hamra in” denna kunskap, hade varit tydliga scenarioanalyser och praktiska demonstrationsprojekt. Vad händer om man ersätter hårdvara (som batterier eller ledningar) med mer digitalisering och flexibilitet?

I dagsläget är detta mer relevant för elnäten då det redan finns grundläggande stöd för att det finns mycket pengar att tjäna med flexibilitet där. Det hade dock varit lämpligt som framtida projekt inom fjärrvärme, efter att den grundläggande analysen i föregående forskningsförslag genomförts.

5.5.1.3 Ersättnings- och auktionsmodeller för olika sorters flexibilitet

I dagsläget håller många olika flexibilitetslösningar på att växa fram i Sverige. Den potentiella nyttan för framtidens energisystem är stor, men det saknas ofta tydliga modeller för hur dessa ska fungera. Det finns risker förknippade med att låta dessa system operera för isolerat, då exempelvis för många system som tar beslut baserat på enbart en faktor, som exempelvis elpris, kan orsaka svängningseffekter i nätet (Elforsk, 2013).

För att minimera dessa risker samt maximera systemnyttan som flexibilitetstjänster ger så bör dessa modeller agera datadrivet och ta hänsyn till flera parametrar. Utöver elpris, så kan faktorer som nätstabilitet, kapacitet men också ersättning till flexibilitetsresursens ägare beaktas. Att ta fram koncept för hur dessa algoritmer kan se ut och fungera vore lämpliga forskningsprojekt för Energiforsk. Dessa bör rikta sig brett till olika flexibilitetsresurser, men behov som författaren identifierat rör ersättningsmodeller för V2G och flexibilitet för större fastighetsägare.

Ett viktigt första steg i dessa forskningsprojekt vore att identifiera *om* AI är lämplig metod för att lösa dessa problem, då det inte är givet. Det kan vara så att de går att lösa mycket effektivare med hjälp av traditionella matematiska metoder.

5.5.1.4 Algoritmer för hur fjärrvärme kan agera på stödtjänstmarknaden

Då fjärrvärmens konkurrenskraft kommer försvagas i framtiden är det rimligt för fjärrvärmeägarna att söka efter nya inkomstkällor. En potentiell sådan är en utökad aktivitet på stödtjänstmarknaden för elnät. Samtidigt så blir det väldigt komplext då tekniska lösningar, affärsmodeller och marknader måste interagera.

Enligt Energimyndigheten, 2023, finns det stora och outnyttjade möjligheter för fjärrvärme att agera stödtjänst åt elmarknaden. Intervjuerna har i sin tur pekat ut att AI kan spela en viktig roll för att bygga ut dessa system. Det finns dock stora kunskapsluckor i hur det ska ske, och här kan Energiforsk göra stor nytta.

Lämpliga forskningsprojekt för Energiforsk är hur detta kan gå till, rent tekniskt. Det finns mängder av frågeställningar att undersöka, men de som rör AI är hur algoritmerna som ska sköta jobbet kan fungera. Då det kommer att vara väldigt komplext med massor av olika marknader kommer en gedigen teknisk modell behövas för att kunna sköta systemet på ett bra sätt, och lägga automatiserade bud samtidigt som de ger maximal lönsamhet.

Återigen, det första och viktigaste steget i dessa projekt hade varit att identifiera om AI behövs, eller om det finns traditionella matematiska metoder som är mer lämpliga för uppgiften.

5.5.1.5 Virtuella kraftverk i Sverige

Virtuella kraftverk är något som inom den internationella litteraturen beskrivs som en viktig AI-driven komponent i det framtida energisystemet, men diskuteras inte så mycket om i Sverige. Det finns dock stor potential för virtuella kraftverk här, då det finns mycket intermittent elproduktion, samtidigt som antalet elbilar, batterier och solceller växer. Tekniken är dessutom tillräckligt mogen för storskalig användning, vilket kan ses i exempelvis Tyskland där Statkraft driver fungerande virtuella kraftverk (Statkraft, u.å.). En sökning på Google visar att ett fåtal svenska aktörer som Greenely och Tibber använder begreppet, men det har inte slagit igenom på stor skala.

Här finns det en potential för att utöka sin verksamhet men Energiforsk bör, i ett första steg, undersöka om det här är ett ämne de ens kan samla intressenter till i dagsläget.

6. Digitala tvillingar

Gemensamt för de analysobjekten i de två föregående delkapitlen är att de bidrar till att framtidens energisystem kommer att vara mycket komplext. Därmed kommer det att krävas avancerade verktyg för att övervaka och styra systemen. Här kommer digitala tvillingar in i bilden, som kan beskrivas som nästa generations systemrepresentation.

Det finns en mängd olika definitioner av digitala tvillingar, men den som kommer användas i denna rapport är: “[en digital tvilling är] en dynamisk, virtuell motsvarighet av ett föremål, system eller process som kontinuerligt uppdateras med data från sin verkliga motsvarighet” (ENTSO-E, 2026). Digitala tvillingar kan ses som ett stort steg inom energisystemens digitalisering då det är ett sätt att skapa verklig nytta av all den data som skapats eller samlats in (Atanasova et al., 2025). Det är just på grund av den enorma datamängd som måste hanteras som storskaliga digitala tvillingar kräver AI för att fungera på tillfredsställande sätt (Rathore et al., 2021). Digitala tvillingar kan också finnas på olika skalor. Det finns ambitioner om att skapa väldigt storskaliga digitala tvillingar, som exempelvis över ett helt lands elnät. Där är vi dock inte idag, utan de som finns idag är på betydligt mindre skala och modellerar specifika saker i små nät (DSO Entity & ENTSO-E, 2026).

6.1 Användningsområden för digitala tvillingar

Enkelt beskrivet så representerar en digital tvilling en kopia av exempelvis ett elnät i mer eller mindre realtid. Men möjligheterna med tekniken är mycket större än att enbart studera föremålets tillstånd, och vad en digital tvilling i slutändan kan göra beror på vilka ambitioner som finns när den utvecklas. Vilka behov en digital tvilling bör uppfylla beror på vad det är för företag som ska använda den. Inom energisektorn är det på elsidan som de största digitala tvillingprojekten är på gång, och då kan behoven på vissa håll överlappa medans de på andra håll skiljer sig mellan elnätsägare och transmissionsnätsägare. Att skapa en digital tvilling är ett väldigt komplext projekt och funktionaliteten bör växa fram långsamt och i delsteg, och dess användningsområden bör utökas successivt. I de kommande kapitlena redogörs för olika användningsområden av digitala tvillingar. (DSO Entity & ENTSO-E, 2026)

6.1.1 Optimering och styrning

En välfungerande och AI-driven digital tvilling ger stora möjligheter att styra och optimera ett elnät i realtid. Då den hela tiden matas med data från det verkliga nätet kan den snabbt flagga och varna systemoperatören då någon sorts obalans eller övrigt fel är på väg att uppstå. Därmed möjliggör tekniken för att åtgärda problemen på ett proaktivt och effektivt sätt. Det innebär inte bara att det bidrar till en leveranssäker elförsörjning, utan det gör systemet som helhet mycket mer effektivt och lättarbetat. (Mchirgui et al., 2024)

Vidare kan digitala tvillingar även reglera efterfrågeflexibiliteten i ett elnät. Genom att lära sig nätet och kundbeteenden blir det möjligt att med hjälp av tekniken matcha tillgång och efterfrågan på ett effektivt sätt. En AI-driven digital tvilling kan i realtid analysera data för att förutspå när det kommer finnas en stor tillgång på el genom exempelvis intermittent elproduktion eller laddinfrastruktur. Denna data kan sedan kombineras med data om

storskaliga användningsmönster i realtid för att jämna ut laster. Detta kan sprida ut förbrukningen och minska konsumtionstopparna i nätet avsevärt. (Mchirgui et al., 2024)

Den stora utmaningen med att styra stora och komplexa system med hjälp av AI och digitala tvillingar ligger i sällsynta störningar som har hög påverkan. Det finns ofta mycket bra och tillgänglig träningsdata som gäller systemets normaldrift, men datatillgången på hur systemet påverkas av, och bör bete sig under, exempelvis ett extremväder är mycket mer begränsad. (Intervju 15)

6.1.2 Simulering av elnätets utveckling

En digital tvilling bidrar inte endast med en aktuell representation av nätet, utan den ger den även möjligheter att analysera historisk data. Utifrån denna data så blir det också möjligt att göra olika sorters framtidssimuleringar. Därmed kan en digital tvilling användas till att undersöka diverse händelsers effekter på näten, och utifrån detta ta datadrivna beslut om vilka insatser och investeringar som bör göras. (DSO Entity & ENTSO-E, 2026)

En typ av framtidsscenario som kan förutspås är var nya anslutningar för produktion och användning troligtvis kommer ske i framtiden. Med hjälp av högkvalitativ data blir det även möjligt att förutspå vilken sorts anslutningar det rör sig om, exempelvis laddstationer eller intermittent elproduktion. Då blir det även möjligt att ta hänsyn till utmaningarna som dessa medför. Genom att analysera dessa förändringar blir det möjligt att fatta välinformerade investeringsbeslut i ett tidigt skede. (DSO Entity & ENTSO-E, 2026)

Traditionella simuleringsmetoder har varit begränsade av att mycket av arbetet har behövt ske manuellt, och därför har det ofta endast tagits fram ett fåtal scenarier. Digitala tvillingar förändrar detta genom att med hjälp av AI ta hänsyn till mycket mer data och automatiserat analysera en mängd andra utfall, vilket banar vägen för mycket mer omfattande scenarioanalyser. En AI-driven digital tvilling kan därmed ta fram många fler analyser, i teorin så många som operatören begär. (Intervju 15)

6.1.3 Simulering av större störningar

Med hjälp av digitala tvillingar som använder AI går det att simulera effekterna av olika större störningar på näten (DSO Entity & ENTSO-E, 2026). Exempel på sådana störningar skulle kunna vara bortfall av en stor produktionsenhet eller ledningar som rivs ner. Orsakerna till dessa störningar kan vara både fysiska händelser som svåra väderförhållanden, eller digitala problem som cyberangrepp. Genom att simulera exempelvis ett extremväder i en digital tvilling blir det möjligt att se vilka delar av nätet som är i störst behov av förstärkning och göra dessa investeringar i förebyggande syfte. Därmed blir det möjligt att lindra de effekter som vädret får om något liknande faktiskt inträffar (Mchirgui et al., 2024).

På motsvarande sätt kan även cyberattacker modelleras och studeras preventivt i en digital tvilling. Det finns flera studier i hur sådana kan simuleras för att identifiera olika svagheter i systemet och hur man effektivt kan utveckla säkerhetsåtgärder. (Mchirgui et al., 2024)

6.1.4 Prediktivt underhåll i digitala tvillingar

Beroende på vilka parametrar en digital tvilling involverar så finns det även förutsättningar för att använda den för prediktivt underhåll. Genom att på olika sätt modellera komponenternas egenskaper går det att prioritera service och underhåll utifrån fler parametrar än enbart hur länge sedan de installerades. Då kan man få en modell för hur komponenten beter sig och använda denna för att ta underhållsbeslut. Med hjälp av detta datadrivna beslutsstöd kan operatören undvika onödigt underhåll och istället fokusera på de komponenter som har störst behov. Konsekvensen av det här blir ett minskat antal driftstörningar då det blir lättare att hitta och åtgärda de komponenter som är på väg att gå sönder i förtid, innan de hinner påverka systemet. (Mchirgui et al., 2024)

6.1.5 Träning av personal

Då det även går att få en komplett replika av ett system som inte har någon påverkan på verklighetens motsvarighet så är digitala tvillingar lämpliga för att träna personal. Det skapar en trygg miljö där yrkesmänniskor kan få möjligheten att utsättas för olika sorters scenarier och lära sig att hantera dem. Därmed kan digitala tvillingar vara ett viktigt verktyg för att lära personal hur man hanterar exempelvis extremväder eller en cyberattack som nämnts ovan, men även den dagliga driften. (Mchirgui et al., 2024)

6.2 Dataområden

En förutsättning för att digitala tvillingar ska fungera på storskalig nivå är att det utvecklas dataområden (*data spaces*). Ett dataområde är en stor databas där information kan delas vid behov under kontrollerade former. Det kan liknas vid en klassisk datasjö där data kan lagras och hämtas, men med den stora skillnaden att den som bidrar med informationen fortfarande äger den. Genom att ta fram tydliga regler för hur och när man får tillgång till varandras data, så möjliggör dataområden informationsdelning på ett nytt sätt. Dataägaren förlorar aldrig kontrollen över sin data, men kan ge tillstånd för att låta andra använda deras data om det finns ett tydligt syfte med det. Skapandet av omfattande dataområden möjliggör för olika aktörer att dela med sig av, samt komma åt, data som kan vara känsliga eller konfidentiella utan att sekretessen bryts. I väl utvecklade dataområden finns dessutom möjlighet att integrera realtidsdata samtidigt som den skapas. (DSO Entity & ENTSO-E, 2026; RISE, u.å b)

6.3 Digitala tvillingar i Sverige

Intervjuerna har visat att det finns en mängd digitala tvillingar i Sverige idag, både på marknaden men även under utveckling. Följande delkapitel handlar om hur dessa ser ut.

6.3.1 Företag vars affärsidé är en digital tvilling

De flesta digitala tvillingar som finns i Sverige idag är småskaliga och specifika sådana, där ett företag har utvecklat en digital tvilling som affärsidé. Det finns digitala tvillingar inom både elnät och fjärrvärme. Ett företag som har en produkt inom elnät har intervjuats i denna studie, och de har en digital tvilling över de reläskydd som ingår i deras kunders elnätsområde (Intervju 12). På fjärrvärmesidan finns ett företag som ger fastighetsägare en digital tvilling över värmebehovet för de fastigheter som de förfogar över (Intervju 7).

6.3.2 Exempel från industrin: Svenska kraftnäts Kraftsystemhubben

Svenska kraftnät håller för tillfället på att utveckla en digital tvilling till det svenska kraftsystemet (Svenska kraftnät, 2026b). Delar av den är redan i drift men det är ett system som utvecklas kontinuerligt (Intervju 15). Kraftsystemhubben fungerar som ett stort “system of systems” där mängder av olika system utbyter data med varandra (Intervju 14). På grund av detta så går åsikterna isär om det då kan räknas som en digital tvilling. Denna diskussion kommer dock inte att undersökas i denna rapport då Kraftsystemhubben utåt sett har funktionaliteten av en digital tvilling. Ifall man bortser från denna definitionsmässiga oklarhet så ger Kraftsystemhubben ett tydligt och intressant exempel på hur en digital tvilling kan fungera.

Kraftsystemhubbens funktionalitet är i stort sett en aggregator av information som samlar in data och därefter slussar den till rätt program inom Svenska kraftnät. Mycket av den data som ligger till grund för de prognoser som Svenska kraftnät tar fram samlas in via Kraftsystemhubben, som tar emot data från exempelvis DSO:er och andra länders TSO:er. När informationen tagits emot så slussas den sedan vidare till det system inom Kraftsystemhubben som har användning för det. Ett exempel på ett annat system som ingår inom Kraftsystemhubbens paraply är den prognostiseringsalgoritm för obalansprognoser som redogörs för i kapitel 4.1.6. Här skapas ny data om vilka frekvensregleringsbud som bör avropas, och denna nya information skickas sedan iväg inom och eventuellt ut ur Kraftsystemhubben, för att hamna på den plats där den behövs. (Intervju 14)

6.3.3 RISE:s digitala tvilling

Den 30 april 2026 togs beslut om att RISE får finansiering till att gå vidare med sitt projekt om att bygga en nationell digital tvilling för elnät (Strand, M., personlig kommunikation, 4 maj 2026). Detta projekt finansieras till stor del av Vinnova och bland annat Energiforsk och Svenska kraftnät är med i projektet. Det här projektet är vid tidpunkten då detta examensarbete skrivs fortfarande i sin linda, men ambitionen är att ha en forskningsbaserad ingångsvinkel. Den ska fungera lite som ett “laboratorium”, där modellen ska kunna anpassas efter olika utgångslägen och på det sättet analysera olika scenarier. (Intervju 13)

6.4 Framgångsfaktorer för digitala tvillingar

Då digitala tvillingar just nu är en teknik som håller på att blomma ut finns det många projekt som nyligen försökt sig på konceptet, somliga har lyckats och andra har misslyckats. Intervjuerna har lyft fram två viktiga framgångsfaktorer för att en digital tvilling ska ge en return-of-investment.

Den första framgångsfaktorn är att de designas utifrån ett tydligt användningsfall och är gjorda för att lösa ett specifikt problem. Funktionaliteten i den digitala tvillingen måste vara anpassad efter dess ändamål. Syftet bör inte heller vara för brett eller i stil med “skapa en digital tvilling”, då dessa projekt aldrig lyckas utan enbart slutar som ett slöseri av resurser. (Intervju 14; Intervju 15)

Den andra framgångsfaktorn är att digitala tvillingar bör designas utifrån ett “bottom up”-perspektiv där man börjar med att konstruera de minsta relevanta delarna för att sedan lägga ihop dem. Ska flera digitala tvillingar interagera med varandra bör de designas för sitt eget specifika syfte och sedan kopplas ihop. Dock hade det varit bra om industrin hade kommit överens om allmänna standarder för datorhanteringen tidigt, för att underlätta eventuella sammanlänkanden av programvaror. (Intervju 14; Intervju 15)

6.5 Analys över kunskapsläget om digitala tvillingar

I dagsläget så är digitala tvillingar ett relativt nytt begrepp och det är inte säkert att de enorma, sammankopplade system som litteraturen målar upp kommer att uppnås. De som finns idag rör sig om småskaliga och specialiserade produkter som har en tydligt definierad funktion. Inom dessa företag är kunskapen ofta god, men i branschen som helhet behöver användningen och kunskapen om digitala tvillingar mogna och utvecklas.

Som alltid när det rör sig om nya och “trendiga” tekniker så är det viktigt att skaffa sig kunskap om dess möjligheter och inte investera på ett osunt sätt. Återigen stavas en stor osäkerhet data, men här rör det sig mer om hur datadelning ska kunna ske på ett tryggt sätt mellan olika aktörer.

6.5.1 Förslag på satsningar inom området digitala tvillingar

De satsningar som görs inom digitala tvillingar bör ha de ovan nämnda framgångsfaktorerna i åtanke. Speciellt i detta tidiga skede bör fokus ligga på att sprida kunskap om hur digitala tvillingar skapas och designas på ett bra sätt. Samtidigt, eftersom att tekniken fortfarande är relativt ung, så finns det ett guldläge att skapa en branschstandard för hur datadelning ska se ut och gå till. Dessa förslag är riktade till Energiforsk.

6.5.1.1 Definiering av use cases

Enligt intervjuerna så finns det en tydlig framgångsfaktor för att en digital tvilling ska lyckas, nämligen att den är byggd för att lösa ett tydligt formulerat problem (Intervju 14; Intervju 15). Här finns en tydlig roll som Energiforsk kan fylla. Antingen genom att själva definiera tydliga use cases där digitala tvillingar är lämpliga, lyfta fram lyckade exempel från industrin, eller genom att bidra med att ta fram en metodik för hur ett bra use case ser ut.

6.5.1.2 Digital tvilling-grupper

Energiforsk hade, med hjälp av sitt förtroendekapital, kunnat samla olika aktörer som på ett eller annat sätt jobbar med digitala tvillingar inom energisektorn. Eftersom digitala tvillingar än så länge är ett nytt begrepp inom den svenska energibranschen finns det en mängd mindre företag som håller på att etablera sig. Att hjälpa dessa företag hitta och lära av varandra kan ge stort värde till branschen som helhet.

Här finns också en stor möjlighet att tidigt, i samarbete med branschen, utveckla olika standarder för hur dataområden ska se ut och fungera. Det finns ett stort värde i detta då

gemensamma datastandarder beskrivs en viktig faktor för “ihopkopplandet” av olika digitala tvillingar i framtiden (DSO Entity & ENTSO-E, 2026).

Dessa nätverk kan antingen skapas i form av en enda stor digital tvilling-grupp, eller två stycken uppdelade i el- och värmesystem.

6.5.1.3 Ekonomisk analys av den nya infrastrukturen

Då en digital tvilling ska uppdateras i realtid krävs det stora mängder av uppkopplade IoT-sensorer som konstant gör mätningar och skickar iväg data. Denna faktor förbises ofta då kostnaderna för det framtida energisystemets infrastruktur diskuteras, trots att de kan bli så höga att de utgör ett hinder för hela utvecklingen (Intervju 14). Det hade därför varit nyttigt att undersöka kostnaderna för all den nya utrustningen och de sensorer som kommer att krävas. Det här kan göras antingen som en separat analys, eller inkluderas i övriga ekonomiska analyser över framtida kostnader.

7. Risker

När den här studien inleddes så var olika risker med digitaliseringen och AI inte ett stort fokus. Det var dock något som många branschföreträdare såg ett stort behov för mer forskning och kunskap inom, framförallt på grund av den snabba utvecklingen. Med bakgrund i detta växte denna del av studien för att anpassas efter branschens önskemål.

7.1 Kompetens- och kunskapsmässiga risker

Intervjuerna har visat en del risker kopplade till kompetens- och kunskapsbrister inom energisektorn. Det som dykt upp under intervjuerna redogörs för här nedan, medan ett större resonemang om kompetensfrågor och lämpliga satsningar återfinns i rapportens diskussionskapitel.

7.1.1 Brist på kvalificerad kompetens

Sverige har en hög utbildningsnivå inom olika tekniska områden men det finns ett växande glapp mellan den kompetens som finns och vad industrin efterfrågar (TechSverige, 2026). Även om det inte är utrett i vilken utsträckning som detta även gäller för energisektorn så har det genomgående understrykts som ett problem i intervjuerna.

Det rör sig dels om en övertro på möjligheterna med AI. När det rör sig om problemlösning så vill organisationer ofta använda den senaste tekniken, vilket idag är AI. Kunskapen om att AI är ett väldigt avancerat datahanteringsverktyg som kräver stora kvantiteter av högkvalitativ data för att ge bra resultat finns inte alltid. Detta kan, i vissa fall, leda till att AI används felaktigt och ineffektivt, vilket i slutändan leder till bortslösade resurser (Intervju 5; Intervju 11; Intervju 13).

En annan utmaning är att energibranschen består av många traditionella kraft- och elingenjörer som saknar tillräcklig kompetens inom datateknik och användning av AI-verktyg (Intervju 1; Intervju 8). Dessa nya verktyg kan rullas ut i väldigt hög fart till personal som inte har kompetensen för att använda dem (Intervju 6). Ingenjörerna måste känna sig trygga i att dels använda verktygen, men även kunna veta att resultaten går att lita på.

Dessutom så kan det finnas en inneboende, kulturell motståndskraft mot förändring i etablerade branscher. Om det finns en stor mängd personal som har gjort på sitt sätt under en massa år, är de ofta negativt inställda till att göra sitt jobb annorlunda. Detta är ett problem inom energibranschen, som historiskt sett varit en bransch med ett stort fokus på förvaltning men nu måste ställa om i högt tempo. (Intervju 11)

Vidare så finns det en risk att AI automatiserar bort en del av kompetensen inom energisektorn. Om vissa "enkla" arbetsuppgifter tas över av AI kan det uppstå kunskapsluckor inom organisationen, vilket kan bli ett problem ifall AI:n ger ett felaktigt resultat och kompetensen att uppmärksamma eller åtgärda det saknas. (Intervju 5; Intervju 12)

Dessa problem blir särskilt tydligt bland små och medelstora företag, då de saknar resurserna för att locka kompetens med högre löner eller utbilda sin personal internt. Då blir resultatet att kompetensen samlas hos de stora bolagen, vilket kan vara ett hinder för AI-utvecklingen i branschen som helhet. (TechSverige, 2026)

7.1.2 Risker med den snabba utvecklingen

De senaste åren har utvecklingen inom AI och digitalisering gått i mycket snabb takt. Följaktligen blir det svårt att sprida kunskap om verktygen, samtidigt som förståelsen för vilka konsekvenser införandet av tekniken får ofta släpar efter. En rapport riskerar därför att vara inaktuell redan när den publiceras. (Intervju 6)

7.2 Förklarbarhet

Att en AI är förklarbar (*Explainable AI*) innebär att det finns transparens kring hur den tar beslut och hur dess algoritmer funkar (Adadi & Berrada, 2018). Det är en förutsättning för att kunna hantera den svarta lådan-problematik som en AI ger upphov till.

En AI som inte är förklarbar leder till att det inte går att härleda varför en AI tog ett visst beslut. Det finns flera problem med detta. Dels går det inte att utkräva ansvar ifall modellen tar ett felaktigt beslut (Intervju 5; Intervju 16). Det blir även svårare att upptäcka om AI:n har blivit utsatt för ett digitalt angrepp. (Fathy, 2025)

Förklarbarhet har dykt upp som ett genomgående tema i intervjuerna, framförallt bland de personer som haft mer IT-kompetens. En AI i sig räcker inte, utan en människa med rätt kompetens måste alltid kunna granska och förstå de beslut som tas i kontrollrummet (Intervju 12). Den intervjuade aktör som använder AI-algoritmer för att köpa och sälja el påtalar vikten av att alltid ha en människa som kan granska och förstå affärsbesluten (Intervju 17).

Förklarbarhet är även viktigt ur ett effektivitetsperspektiv. Om AI-modeller utvecklas utan att bli granskade kan det leda till att de använder väldigt komplexa metoder för att lösa väldigt enkla problem, vilket istället resulterar i slöseri av resurser. (Intervju 5)

7.3 Ekonomiska risker

7.3.1 Risken med att inte börja i tid

Framförallt för små företag finns det risker med att inte komma igång med sitt digitaliseringsarbete i tid (Intervju 11). Dels saknar de ofta den kompetensen som krävs för att digitalisera sina nät, och då blir det ännu svårare för dem att ta steget. Då det även krävs stora mängder data för att kunna digitalisera på ett bra sätt finns det ofta en fördröjning från att digitaliseringsarbetet börjar tills dess att det ger verkligt värde. Dessutom kan det leda till stora ekonomiska konsekvenser i framtiden. Detta då priset på viktiga komponenter redan har börjat öka, och troligtvis kommer stiga ännu mer i framtiden (Intervju 4; Intervju 12). Därmed blir det en ännu större risk för små företag, som kanske saknar kapitalet till att göra dessa investeringar (Intervju 12).

7.3.2 Risken med att investera fel

Digitaliseringen kommer att kräva mycket ny och dyr infrastruktur, i form av bland annat mängder av IoT-sensorer. När komponentpriserna stiger finns ett behov av kompetens om vilken sorts teknik och sensorer som pengarna bör läggas på. Viss utrustning kan samla in för mycket, för lite eller irrelevant data och om en inköpare saknar kompetensen att göra rätt investeringar kan det leda till ett stort slöseri av kapital. (Intervju 14)

7.4 Digital säkerhet

När energisystemet digitaliseras så skapas en mycket större attackyta för olika typer av cyberangrepp (Atanasova et al., 2025). Det rör sig dels om "traditionella" cybersäkerhetsfrågor, som intrångsrisken men vissa nya säkerhetshot uppstår också.

7.4.1 Hallucinationer och felaktiga beslut

En ny säkerhetsrisk som uppkommer i takt med AI-expansionen är så kallad dataförgiftning (*data poisoning*). Det är när felaktig kod införs i en AI-modell med uppsåt att få den att hallucinera (Atanasova et al., 2025). Detta kan ske både under träningsfasen eller under driftsfasen. I träningsfasen kan det handla om att skadlig träningsdata laddas upp för att lära modellen fel, medan det i användningsfasen kan handla om att manipulera inputs på ett sätt som ger ett felaktigt resultat (Tang & Xiao, 2024). I dagens läge så agerar AI främst beslutsstöd inom energisystemet, men när mer mjukvara som faktiskt kan styra systemen kopplas på finns det en risk att en främmande aktör kan skapa störningar i exempelvis elnät (Intervju 12).

7.4.2 Integritet

Då AI kräver stora mängder data behövs även verktyg som kan samla in den information som behövs. Detta sker ofta med olika sorters smarta mätare och andra varianter av IoT-apparater, som redan finns i princip i alla hushåll. Dessa sensorer kan ofta mäta exempelvis energiförbrukning med väldigt hög upplösning och kan därför visa på mönster i privatpersoner eller företags energianvändning. Skulle data börja läcka från dessa sensorer kan den användas för exempelvis övervakning eller utnyttjas på andra sätt. (Atanasova et al., 2025)

7.5 Beroende av externa leverantörer

Risken med att göra sig alltför beroende av externa, utländska leverantörer är något som dykt upp i intervjuerna. Det har identifierats två aspekter till detta; dels finns det en risk att använda sig av molntjänster som har servrar i en antagonistisk stat. Ifall en eventuell konflikt skulle bryta ut eller eskalera finns det en risk att dessa servrar blir otillgängliga, vilket skulle kunna leda till att viktig infrastruktur i Sverige inte fungerar som den ska. (Intervju 6; Intervju 10; Intervju 11)

Den andra aspekten är att i och med att digitaliseringen rör sig framåt så kommer mer och mer ny hårdvara behöva installeras. Det är inte ovanligt att tillverkarna av hårdvaran har möjlighet att skicka mjukvaruuppdateringar efter installation. Skulle Sverige hamna i konflikt med ett

land som har producerat mycket av denna hårdvara finns möjligheten att den andra parten börjar skicka felaktiga och skadliga mjukvaruuppdateringar. Finns stora mängder av denna hårdvara installerad i exempelvis elbilar knutna till V2G-system eller uppkopplade växelriktare så finns det en risk att vi tappar kontrollen och stor skada orsakas på energisystemet som helhet. (Intervju 10)

7.6 Politiska hinder

Under intervjuerna har svårigheten med att politiken inte förstår eller hänger med i utvecklingen kommit upp. De föreskrifter som finns börjar bli föråldrade och belönar fortfarande klassiska metoder som att bygga ut nätet och annan fysisk infrastruktur för att motverka problem i nätet. Investeringar i digitala lösningar missgynnas, även om de i många fall hade varit mer kostnadseffektiva. (Intervju 7; Intervju 9; Intervju 12; Intervju 16)

7.7 Analys över kunskapsläget för risker

När man tittar på hur AI förvandlar det svenska energisystemet kan man bli upprymd av alla fördelar det innebär, men det är inte på något sätt en oproblematisk övergång. Det är förenat med ett antal risker, och dessa måste beaktas för att övergången ska ske på ett så smidigt sätt som möjligt.

Många av de risker som identifierats i denna studie kan härledas till den snabba utvecklingen av AI. När aktörer blir rädda för att hamna efter i omställningen finns det en risk för att de gör osunda investeringar. Detta kan vara i form av ineffektiva lösningar som använder AI på ett onödigt sätt, eller att det implementeras lösningar som inte är fullt ut förklarbara. Även politiska hinder kan kopplas till detta, då utvecklingen sker i ett sådant tempo att lagstiftningen inte hänger med. För att motverka detta är det viktigt att den kunskap som forskningen ger sprids till beslutsfattare.

Det största hindret för AI-integrationen har med olika kompetensrelaterade problem att göra. Därför görs ett större resonemang om dessa frågor i rapportens diskussion.

7.7.1 Förslag på satsningar inom området risker

Inga riktade insatser rekommenderas här inom de ämnen som rör de "klassiska" digitala säkerhetsfrågorna integritet och cyberangrepp. Det här är viktiga frågor, men de diskuteras redan brett inom IT och författaren har inte identifierat några specifika frågeställningar för energibranschen som Energiforsk bör djupdyka i. Övriga satsningar här nedan är riktade till Energiforsk.

7.7.1.1 En filosofi om förklarbarhet

Energiforsk bör säkerställa att alla AI-relaterade projekt de medverkar i alltid inkluderar en tydlig förklarbarhetsaspekt när det är relevant. Genom intervjuerna har riskerna med att utveckla och använda modeller som saknar transparens återkommit som ett genomgående tema. För att behålla det höga förtroende som företaget har idag är det därför viktigt att

Energiforsk ställer höga krav på förklarbarhet i både utveckling och användning av AI-lösningar.

Eventuella formella krav på hur förklarbarheten ska se ut kommer sannolikt att bestämmas på högre nivå. Däremot kan Energiforsk spela en viktig roll genom att sprida kunskap och stärka kompetensen inom området. Detta kan exempelvis ske genom workshops, seminarier och andra kunskapshöjande insatser som visar hur man praktiskt kan arbeta med förklarbarhet i det dagliga arbetet.

7.7.1.2 Sårbarhetsanalys för molnbaserade tjänster

Intervjustudien visade att stora delar av den digitala infrastrukturen lagras i molntjänster på servrar som kan vara placerade var som helst i världen. Det finns därför ett behov av att öka kunskapen om de risker som är förknippade med att bli beroende av en enskild leverantör. En sådan kunskapsspridning skulle kunna ske genom forskningsinsatser som kartlägger och kvantifierar dessa risker, samt genom workshops eller seminarier som belyser vikten av fungerande backuplösningar och av att utveckla mjukvara som är flyttbar mellan olika och leverantörer och molntjänster.

7.7.1.3 Sårbarhetsanalys om installerad hårdvara

Utöver risken att molnbaserade system kan göras otillgängliga så bör riskerna med den installerade hårdvaran också undersökas. Anledningen är att vi vill undvika att den samhällskritiska infrastrukturen är beroende av komponenter från en potentiellt antagonistisk stat, som kan skicka felaktiga uppdateringar och störa energisystemet. Detta är extra viktigt i framtidens komplexa energisystem som har en väldigt stor attackyta. I ett första led skulle ett projekt inom det här området kunna kvantifiera risken, genom att titta på varifrån de installerade komponenterna kommer och om det är länder där det finns risk för konflikt. I ett senare steg hade man kunnat titta på vilka åtgärder som kan göras för att minska risken.

8. Diskussion

På grund av det nya, komplexa energisystem som håller på att växa fram i Sverige kan inte digitalisering och AI betraktas som fristående komponenter. Tvärtom kommer de att genomsyra hela systemet, och de är till och med en förutsättning för att omställningen ska lyckas. Samtidigt, som med all ny teknologi, är det avgörande att införandet sker på ett genomtänkt sätt där olika utfall analyseras i god tid. Detta blir både extra viktigt och ovanligt svårt i fallet AI, då utvecklingen går väldigt snabbt och forskningen riskerar att halka efter. Den kunskap och kompetens som dessa satsningar ger måste också spridas inom sektorn.

Energibranschen behöver både digitaliseras och utveckla sin användning av AI, men det måste ske under kontrollerade former. Just nu finns det dessutom en enorm "AI-hype" i världen vilket kan leda till dels en övertro på tekniken, men också att okloka satsningar görs. Botemedlet mot osunda beslut och dåliga investeringar kan ofta stavas kunskap.

8.1 Effekterna av AI på det svenska energisystemet

AI håller på att förändra stora delar av det svenska energisystemet i grunden. Det blir mindre och mindre en isolerad företeelse, utan snarare något som genomsyrar hela systemet. Mer träffsäkra prognosverktyg, smartare flexibilitetstjänster och digitala tvillingar må vara separata tekniker, men tillsammans driver de utvecklingen mot ett mer autonomt energisystem. På vissa håll finns det “cutting edge”-bolag med hög AI-kompetens som använder verktygen till helt nya affärsidéer som inte var möjliga tidigare, medan etablerade aktörer jobbar mer eller mindre framgångsrikt med att implementera AI i sin befintliga verksamhet.

Kärnan i energisystemets transformation är de nya prognosverktygen som AI möjliggör. Det är redan väletablerat att dessa nya modeller ger mycket mer träffsäkra resultat än de traditionella algoritmerna. Det handlar inte om att AI är ett magiskt verktyg som i sig själv gör bättre prognoser, utan snarare om att de kan ta hänsyn till mer data och uppdatera sig själva med frekvenser som inte var möjliga då de gjordes mer manuellt. Prognoserna har inte bara blivit bättre, utan de möjliggör att fler parametrar kan förutspås. Som en konsekvens av detta så rör sig energisystemet från att ha en reaktiv funktionalitet till en proaktiv sådan. Det betyder att många av de problem som tidigare hanterats när de uppkommit, nu kan förutspås och åtgärdas innan de orsakar några störningar.

Med hjälp av dessa nya och bättre prognoser så får energisystemet helt andra förutsättningar att ta sig an elektrifieringens utmaningar. Genom att prognostisera variabler på alla nivåer i energisystemet kan bland annat flexibilitetstjänster och produktionsenheter drivas på effektivare sätt som är mer lönsamt för alla involverade, inklusive slutkonsumenter. Sverige har redan elpriser som är väldigt beroende av väder, och därför kan AI-baserade prognoser vara en stor hjälp i att förutspå och stabilisera framtidens elpriser.

Alla dessa skiftande variabler leder till att framtidens energisystem kommer att drivas på ett sådant informationstungt sätt att AI blir en förutsättning för att det ska fungera. Att vänta sig att mänskliga operatörer ska ha en överblick över allt som händer är orimligt, därför kommer AI-stöd att vara absolut nödvändigt. Konceptet med digitala tvillingar är ett verktyg som är väldigt aktuellt just nu, men än så länge väldigt oprövat. Det finns utopiska visioner om hur mängder av sammankopplade digitala tvillingar kommer styra hela energisystemet i framtiden, men i dagsläget är det väldigt ovisst om vi kommer att ta oss dit.

Implementeringen av AI-verktyg är dock inte helt oproblematiske utan kommer med ett antal risker och utmaningar. Den största utmaningen stivas data. Oavsett vad den ska göra så kräver AI-modeller stora mängder träningsdata för att kunna utföra sina funktioner. Utan bra data är en AI-modell värdelös, hur välutvecklad den än är så kommer ett dåligt input alltid ge ett dåligt output. Det som det finns mycket data på är generellt den dagliga driften, och det är här som AI kommer göra störst nytta. Outliers eller andra sällsynta tillfällen, som extremväder eller digitala angrepp, är det väldigt svårt att ta fram bra data till och i dessa tillfällen kan AI snarare bli en belastning. Det är därför viktigt att alltid komplettera AI med en “human in the loop” som övervakar systemet.

Det finns också en stor “AI-hype” och övertro på verktygets möjligheter i världen idag. När marknaden befinner sig i ett sådant upptrissat läge är det viktigt att ha is i magen och inte agera utifrån rädsla att hamna efter. Målet bör inte vara att ha maximalt med AI i energisystemet, utan snarare att AI ska vara på rätt plats och användas till rätt saker. Den snabba utvecklingen gör det dessutom svårt för forskningen och kunskapsutvecklingen att hänga med.

Den “AI-bubbla” som diskuteras i media då denna rapport skrivs handlar mer om generativ AI. Det är därför inte så relevant om den spricker eller inte, utan de system som diskuterats är sannolikt här för att stanna. Risken att man som orolig aktör tar ett dåligt investeringsbeslut kvarstår dock, och därför är det viktigt att det sprids kunskap om AI:s användningsområden och begränsningar inom energisektorn. Framförallt kommer mindre aktörer och nätägare behöva stöttning i denna övergång, då de oftast jobbar med ett mer begränsat kapital.

Ännu en viktig anledning till att inte glömma bort de mindre energiföretagen är en strävan efter att bevara energisystemets maktbalans. När datatillgång och AI-kompetens blir konkurrensfördelar riskerar det att makten centraliseras hos de stora aktörerna i större utsträckning än idag. När de stora bolagen sitter på sina egenutvecklade modeller kan det ge hög driftsäkerhet i deras elnät. Samtidigt så tvingas de mindre aktörerna köpa in externa lösningar som kanske har brister i förklarbarhet eller ligger lagrade på en opålitlig server.

Dåliga investeringar och otillräcklig data är dock inte de enda riskerna förknippade med AI i energisystemet. Att de system som används inte fungerar som svarta lådor, utan är förklarbara är av yttersta vikt. Om en svart låda hallucinerar och tar ett felaktigt beslut är det inte bara omöjligt att försvara den, det är dessutom svårt att säkerställa att den inte gör samma sak igen. Ifall AI-modeller någonsin ska kunna anses som legitima verktyg inom energibranschen är det därför essentiellt att de som används kan leva upp till högt ställda krav.

I dagens geopolitiska läge är energisystemets resiliens en viktig fråga. AI och digitaliseringen skapar förutsättningar för att öka energisystemets robusthet. Bättre prognoser ger högre leveranssäkerhet och smartare flexibilitetstjänster kan bidra till mer förnybart och mer decentraliserad elproduktion. Detta är faktorer som är bra ur ett resiliensperspektiv. Dessutom har AI redan möjliggjort för nya affärsmodeller att stötta elnätet på sätt som inte var möjliga för några år sedan, och denna utveckling kommer troligtvis fortsätta.

När den digitala infrastrukturen utvecklas så blir också den potentiella attackytan större. Detta är något som måste tas på största allvar. Dels finns det en fara för att antagonistiska aktörer eller stater utför cyberangrepp som på allvar stör eller skadar vår energiförsörjning, men även risker kopplade till integritetsfrågor. I framtidens energisystem kommer mängder av olika sorters data att skapas hos kundernas mätare, för att sedan användas och skickas runt mellan mängder av olika system. Utvecklingen måste därför kompletteras med hårda krav på dataskydd och informationssäkerhet, för att skydda energisystemets förtroende och driftsäkerhet, men även individers integritet.

Det största hindret som denna studie identifierat för AI:s framgång i energisystemet rör dock frågan om kompetens.

8.2 Kompetens

Utifrån de intervjuer som genomförts så pekar denna studie på att kompetensfrågan är den största utmaningen som energisystemets AI-integration måste hantera. Det mest grundläggande problemet handlar om att kompetens om AI:s användningsområden och begränsningar inte finns, utan det betraktas som nästintill en magisk lösning. Detta leder till ineffektivt användande av verktyget vilket bara blir ett slöseri av resurser. I många fall finns det dessutom många, betydligt enklare lösningar som hade varit mycket mer lämpade för problemet, men de åsidosätts för att man “ska” använda AI idag.

En annan effekt av AI som bör utredas är hur det kommer påverka de arbetsuppgifter som idag genomförs inom energibranschen. Troligtvis kommer många nya uppgifter att behöva göras, men en hel del befintliga sådana kommer att effektiviseras med hjälp av AI.

För att locka bra kompetens till branschen måste satsningar på detta göras både till etablerade yrkespersoner men även till folk som fortfarande studerar. Anledningen är att efterfrågan kommer vara så stor att ingen av kvoterna enskilt kan täcka upp behovet.

Ifall nödvändig kompetens *inte* byggs upp så kan det leda till att det utvecklas stora beroenden av externa konsulter som saknar grundläggande energikompetens. Det kan leda till betydligt mer ineffektiva system. Dessutom kan det leda till onödigt stora kostnader för företagen som behöver hyra in extern hjälp. Det kan också skapa stora organisatoriska sårbarheter om enbart ett fåtal personer förstår hur systemen fungerar. Ifall dessa personer av någon anledning inte är tillgängliga och en incident inträffar så kan det äventyra driftsäkerheten.

8.2.1 Förslag på kompetensrelaterade satsningar

För att verkligen uppnå potentialen med AI inom energisektorn krävs att de som jobbar med det har en bred kompetens inom både relevanta energifrågor och IT samt digitalisering. Nedan följer ett antal förslag på kompetensrelaterade satsningar som bör göras. Dessa är inte riktade till Energiforsk utan snarare till energibranschen som helhet.

8.2.1.1 En grundläggande kartläggning om framtidens kompetensbehov

AI-kommissionens färdplan för Sverige slår fast att i princip alla branscher, inklusive energibranschen, kommer behöva stor kompetensutveckling för att kunna fullt ut dra nytta av de fördelar som AI medför. Dessutom finns det mängder av rapporter som säger att det kommer behövas många el- och energiingenjörer för att Sverige ska klara av elektrifieringen. Det saknas dock kunskap om vilken sorts kompetens som kommer behövas i skärningspunkten mellan AI och energi. Exempel på saker som skulle kunna undersökas är vilka arbetsuppgifter som kommer utföras och vilken sorts verktyg som kommer användas. En sådan här grundläggande redogörelse kommer att underlätta arbetet med att rikta övriga insatser för kompetensutveckling och utbildning.

8.2.1.2 Tvärdisciplinära kompetenser

Ett stort hinder för digitaliseringen av energisystemet är att energibranschen är full av traditionella kraft- och elingenjörer som har stor kunskap inom energi men mindre sådan inom IT. Detta leder till en kompetensbrist i hur de ska jobba med de nya AI-verktygen. Dels finns

det en osäkerhet i hur man använder verktygen, men personalen måste också känna sig trygga i att använda resultaten som de ger. Framförallt måste de kunna avgöra om AI-verktyget hallucinerar då ett felaktigt beslut kan leda till stora ekonomiska och samhälleliga konsekvenser.

På en annan sida av arbetsmarknaden finns det data scientists som är väldigt kunniga inom AI och förstår möjligheterna med verktyget, men saknar grundläggande kompetens inom energifrågor då det historiskt varit relativt fränkopplat från deras yrkesområden.

Det som behövs är mycket personal som kan både IT och energi. För att uppnå detta behövs breda kompetenslyft på flera nivåer och från flera ingångar. En ingång kan vara “AI för energiingenjörer” men det kan också röra sig om “energi för data scientists”. Ett möjligt tillvägagångssätt för detta skulle kunna vara olika former av konferenser och workshops, dels för att väcka intresse men även för låta olika kompetenser interagera med varandra och utbyta kunskap.

8.2.1.3 Framtagande av lättillgängligt utbildningsmaterial

Under de intervjuer som skedde med personer som hade en bakgrund utanför energibranschen (ex matematiker) efterfrågades lättillgängligt material för att snabbt skaffa sig grundläggande kunskaper om energisektorn. Med “lättillgängligt” menas både att det ska vara enkelt att få tillgång till materialet, samt att det ska vara på en nivå som är medveten om sin målgrupp (till exempel data scientists eller matematiker). Detta skulle kunna vara i form av små informationsblad eller kortare kurser, publicerade eller arrangerade av Energiforsk alternativt en annan lämplig aktör.

8.2.1.4 Kompetenslyft för små och medelstora företag

Små och medelstora företag är i den största riskzonen för att inte hänga med kompetensmässigt när AI sprider sig. Detta då de större aktörerna ofta har mer resurser och kan attrahera kunnig personal genom att betala högre löner eller i högre grad utbilda sin personal internt (Tech Sverige, 2026). När kompetensen samlas hos ett fåtal stora aktörer leder det till att enkla digitaliseringslösningar som kan ge stora fördelar inte blir av för att de mindre företagen saknar den nödvändiga kompetensen (TechSverige, 2026; Intervju 6). Därför är det viktigt att de kompetenshöjande satsningar som görs inte missar de mindre företagen, då de ofta behöver mer hjälp med att ställa om.

8.2.1.5 Kunskapsspridning bland studenter

Energibranschen som helhet bör satsa på nya sätt att sprida kunskap om sektorns framtida behov bland studenter. Ett sätt att göra detta är att delta på de tekniska högskolornas arbetsmarknadsmässor. Inte för att i första hand locka arbetskraft till sig själva, utan för att sprida kunskap bland studenter om vilken sorts kompetens som kommer behövas inom energibranschen. Utifrån de intervjuer som skett med personer som har en bakgrund inom datavetenskap så visste de inte att energibranschen var en potentiell arbetsgivare förrän de

kom ut i arbetslivet. Det pekar på att det är en målgrupp som hade kunnat nå tidigare genom närvaro på dessa mässor och motiveras att överväga en karriär inom energisektorn.

Ett annat sätt att nå ut till studenter är att anordna olika gästföreläsningar i samarbete med läroverken. Detta kan ske mer eller mindre formellt. Ett tillvägagångssätt är att via läroverkens institutioner anordna gästföreläsningar på specifika kurser. Nackdelen med detta är att det är svårt att locka studenter till föreläsningar "som inte kommer på tentan". Alternativt så kan "bredare" satsningar ske i form av lunchföreläsningar, där ett företag håller en föreläsning och bjuder på lunch som tack för uppmärksamheten. Det här är (enligt författarens erfarenhet) ett enkelt och uppskattat sätt att locka till sig studenter.

Genom att sprida kunskap om vilken sorts problem och utmaningar som energisektorn erbjuder så kan intresset bland mer dataorienterade studenter öka. Om de är medvetna om att denna möjlighet finns så finns det också en möjlighet att de skaffar viss energikompetens redan innan de tar examen.

8.2.1.6 Effekterna av AI på juniora tjänster

Det finns indikationer på att många juniora tjänster på arbetsmarknaden försvinner då AI integreras mer och mer på arbetsplatsen. Det rör sig inte om att AI direkt ersätter jobben, utan snarare att senior personal effektivt kan utföra de juniora arbetsuppgifterna med hjälp av AI. Antalet jobb förändras alltså inte, utan arbetsmarknaden blir mer vriden till att gynna personer med mer erfarenhet. (Tidningen Näringsliv, 2026)

Utifrån vad författaren hittat så finns det än så länge inget stöd för att detta även skulle gälla energisektorn, men det kan vara för att inga sådana undersökningar har gjorts. Detta är något som bör utforskas då det kan leda till i första hand stor arbetslöshet bland nyexaminerade, men även på sikt att senior kompetens saknas.

Något som hade kunnat undersökas är hur man kan utforma nya traineetjänster som är mer anpassade för framtidens energisystem.

8.2.1.7 Kartläggning över möjligheterna och begränsningarna med AI inom energisektorn

Ett av de större kompetensrelaterade problemen som identifierades under intervjuerna är att det finns en stort kunskapslucka om vad AI är och vad det kan göra. Ofta rör det sig om en övertro på tekniken, och okunskap om att det i grunden är ett datahanteringsverktyg. När man råkar ut för ett problem som man inte vet hur man ska lösa så försöker man ofta använda AI, även om en traditionell metod hade varit mycket effektivare och smartare. Detta leder till osunda investeringar i att AI används där det redan finns mycket enklare och billigare lösningar samt att det används på problem det inte kan lösa. Anledningen till detta är att företagen, framförallt mindre sådana, har stor kompetens inom energi men väldigt begränsad sådan inom IT.

I denna studie har fokus legat på att undersöka situationen för de aktörer som har ett långt framskridet AI-arbete. Det är på många sätt dessa som driver utvecklingen framåt, men det är ofta inte inom de företagen som kompetensbristerna finns. Uppföljande studier hade kunnat göra stor nytta genom att involvera de som inte har kommit långt och i större grad riskerar att halka efter i digitaliseringen. Nyckeln här är sedan kunskapsdelning mellan olika branschaktörer. Genom att låta olika företag dela med sig av både sina lyckade, men även misslyckade, satsningar hade kunskapsnivån inom branschen som helhet kunnat höjas betydligt.

Ett annat sätt att angripa denna problematik hade varit att låta en konsult med djup kompetens inom AI och IT kartlägga branschens behov, framgångar och misslyckanden. På detta sätt hade det varit möjligt att skapa en överblick inom branschen om vad som är möjliga, rimliga, onödiga och omöjliga applikationer för AI inom energisektorn. Detta bör delas upp i en mängd projekt, som riktar sig till olika delar av energibranschen för att kunna få fram tydliga sektorsspecifika riktlinjer.

8.3 Felkällor

En felkälla som troligtvis har påverkat resultatet i detta examensarbete är det begränsade antalet personer som intervjuades (18 stycken fördelat på 17 intervjuer), samt hur urvalet gick till. Fokus låg på att få in en bra bredd av olika områden och kompetenser i analysen vilket har vissa nackdelar. Energibranschen är en väldigt stor bransch med en stor mängd mångfaldiga aktörer och det går därför inte att med säkerhet säga att de slutsatser som dras i denna rapport är generaliserbara för hela sektorn. Resultaten reflekterar därför i viss mån personliga åsikter av de personer som blivit intervjuade. Detta är i sin tur beroende av vilka personer som hade tid och möjlighet att ställa upp på en intervju, då många av de förfrågade antingen inte svarade eller avböjde. Dessutom så kommer de intervjuade personerna nästan uteslutande från Energiforsks kontaktnät, och därmed har personer med "bra" relation till Energiforsks anställda intervjuats. Ett antal av de intervjuade har också varit högt uppsatta företrädare för sina företag, och därför kan deras opartiskhet ifrågasättas.

Då ett stort fokus i denna rapport låg i att rekommendera framtida forskning har de intervjuade sannolikt förespråkat åtgärder som är lönsamma för deras egen verksamhet. Många av de intervjuade arbetar aktivt med AI och digitalisering, och är troligtvis väldigt teknikoptimistiska. Urvalet har därför blivit väldigt snedvridet till tekniskt mogna aktörer. Även om risker har diskuterats flitigt, så är det sannolikt att denna studie har missat mer AI-negativa perspektiv. För att minimera dessa omständigheternas effekter på resultaten har ett större fokus placerats på de tankar och ämnen som dykt upp i flera intervjuer, och de som enbart vädrats av en person har inte givits lika stor tyngd. Viktigt att notera är dock att urvalet fortfarande är väldigt litet.

En annan felkälla i denna rapport har att göra med den extremt snabba utvecklingen som sker inom AI och digitalisering just nu. Detta har främst att göra med den kunskap som kommer från den akademiska litteraturen att göra. Även om författaren i största möjliga mån strävat efter att använda aktuell information så finns det en risk att nya innovationer har gjorts sedan källrapporternas publicering. Därför finns det en risk att vissa av de slutsatser som dragits var utdaterade redan när de skrevs.

För full transparens vill författaren också tydliggöra att digitaliseringen av de svenska energisystemen är mycket omfattande. Den innefattar en mängd tekniska lösningar och AI-modeller som inte har kunnat inkluderas i denna rapport. Arbetet bör därför inte betraktas som en fullständig redogörelse för nuläget, utan ambitionen har snarare varit att identifiera de mest kritiska utvecklingarna och kunskapsluckorna vid tidpunkten för dess tillkomst, våren 2026.

9. Slutsatser

Den främsta och viktigaste slutsatsen som detta examensarbete har gett är att AI inte bara har potentialen att förändra det svenska energisystemet i grunden, utan det är en förutsättning för att vi ska lyckas med elektrifieringen. De nya näten som håller på att växa fram är så pass informationstunga att det är orimligt att låta människor övervaka allt som händer. Det behövs avancerade redskap för att detta ska kunna göras, samtidigt som det är viktigt att det ställs höga krav på verktygen med avseende på transparens och tillförlitlighet.

AI är dock ingen magisk lösning, och verktyget måste användas på rätt sätt. För att verkligen uppnå den potential som AI erbjuder inom energisystemet krävs att de som jobbar med det har en bred kompetens om relevanta energifrågor, IT samt digitalisering. Det finns idag en hel del skrivet om hur AI kommer påverka den generella arbetsmarknaden, men nästintill ingenting om vilka specifika kompetensrelaterade utmaningar som väntar energisektorn. Detta måste undersökas i detalj och lämpliga insatser måste göras för att facilitera en kunskapsbefruktning mellan energi- och AI-kompetenserna.

En annan avgörande faktor för att AI ska kunna implementeras fullt ut i det svenska energisystemet är datatillgången. I princip alla som intervjuats har påtalat vikten av att det finns både mycket data som har hög kvalitet. För att tillgodose detta är det viktigt att det är möjligt för olika aktörer att på ett säkert och enkelt sätt dela data med varandra.

Slutligen så står inte bara energibranschen, utan hela samhället, inför en potentiell revolution i samband med AI:s framfart. De fördelar som den nya teknologin ger är många och omöjliga att blunda inför. Men det går inte heller att ignorera de risker och svårigheter som tekniken medför. För att övergången ska ske på ett säkert och smidigt sätt finns det ett stort behov av forskning och gemensamma satsningar mellan energibranschens aktörer.

10. Referenser

Adadi, A., & Berrada, M. (2018). *Peeking inside the black-box: A survey on explainable artificial intelligence (XAI)*. IEEE Access, 6, 52138–52160.

<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2870052>

Atanasova, T., Danev, V., & Dineva, K. (2025). *Integrating AI into the energy transition towards renewable energy sources*. 2025 10th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE). IEEE.

<https://doi.org/10.1109/EEAE65901.2025.11273792>

Elforsk. (2013). *Efterfrågefleksibilitet på en energy-only marknad: Budgivning, nättariffer och avtal*.

Energiforsk. (2023). *Ågardirektiv*.

<https://energiforsk.se/media/32702/energiforsks-agardirektiv-antaget-20230428.pdf>

Energiforsk. (2024). *Förstudie: AI och digitalisering med fokus på elnäten*.

<https://energiforsk.se/media/33830/2024-1048-ai-och-digitalisering-med-fokus-pa-elna-ten.pdf>

Energiforsk. (2026). *AI-modeller för prognostisering av efterfrågan av el*.

<https://energiforsk.se/media/eymip0kg/2026-1168-ai-modeller-for-prognostisering-av-efterfragan-pa-el.pdf>

Energiföretagen. (2024). *Tillförd energi*.

<https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrvarmestatistik/tillford-energi/> (

Energiföretagen. (2025). *Fjärrvärmepreiser*.

<https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrvarmestatistik/fjarrvarmepreiser/>

Energimyndigheten. (2026). *Fjärrvärme*.

<https://www.energimyndigheten.se/energiberedskap/om-el-fjarrvarme-och-naturgas/fjarrvarme/>

Energimyndigheten. (2016). *Risken för avbrott i fjärrvärme: Utredning om fjärrvärmeföretagens ekonomiska ställning samt deras förmåga att förebygga och åtgärda avbrott*.

Energimyndigheten. (2023). *Förslag till en fjärrvärme och kraftvärmestrategi - Slutleverans*.

https://www.energimyndigheten.se/4afb45/globalassets/klimat--miljo/elektrifiering/del-2-och-slutleverans-kraftvarme-och-fjarrvarmestrategin-er_2023_27-15-dec2023.pdf

Energimyndigheten. (2025). *Scenarier över Sveriges energisystem*.
<https://www.energimyndigheten.se/energisystem-och-analys/framtidens-energisystem/langsiktiga-scenarier/>

ENTSO-E. (2026). *Digital Twins – Towards a Federated Approach*.
<https://www.entsoe.eu/news/2026/02/20/entso-e-publishes-a-report-on-the-benefits-of-a-coordinated-approach-to-digital-twins-for-the-european-power-system/>

ENTSO-E & DSO Entity. (2026). *Use cases & digital twin solutions*.
<https://www.entsoe.eu/news/2026/01/30/joint-report-on-tso-dso-digital-twin-use-cases/>

Europeiska Kommissionen. (u.å.). *EU climate, energy and environmental targets*.
https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/overall-targets-and-reporting_en

Ezzat, A. A., Mansouri, M., Yildirim, M., & Fang, X. (2026). *IISE PG&E Energy Analytics Challenge 2024: Forecasting day-ahead electricity prices*. *IISE Transactions*, 58(1), 117–129.
<https://doi.org/10.1080/24725854.2024.2447049>

Fathy, R. A. (2025). *Artificial intelligence in the energy sector: Regulatory compliance, challenges, and cybersecurity implications*. In 2025 IEEE Conference on Power Electronics and Renewable Energy (CPERE). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/CPERE65146.2025.11240055>

IBM. (u.å. a). *What is machine learning?*
<https://www.ibm.com/think/topics/machine-learning>

IBM. (u.å. b). *What is Generative AI?* <https://www.ibm.com/think/topics/generative-ai>

IBM. (u.å. c). *What is Artificial General Intelligence?*
<https://www.ibm.com/think/topics/artificial-general-intelligence>

IBM. (u.å. d). *What is Artificial Superintelligence?*
<https://www.ibm.com/think/topics/artificial-superintelligence>

International Energy Agency. (2024). *Sweden 2024: Energy policy review*.
<https://www.iea.org/reports/sweden-2024>

International Energy Agency. (2025). *Energy and AI World Energy Outlook Special Report*.
<https://www.iea.org/reports/energy-and-ai>

Li, J., Wang, C., & Liu, Y. (2026). *AI-Driven Virtual Power Plants: A Comprehensive Review*. *Energies*, 19(4), 1084. <https://doi.org/10.3390/en19041084>

Lin, K.-Y., & Chang, K.-H. (2023). *Artificial Intelligence and Information Processing: A Systematic Literature Review*. Mathematics, 11(2420). <https://doi.org/10.3390/math11112420>

Mchirgui, N., Quadar, N., Kraiem, H., & Lakhssassi, A. (2024). *The Applications and Challenges of Digital Twin Technology in Smart Grids: A Comprehensive Review*. Applied Sciences, 14(23), 10933. <https://doi.org/10.3390/app142310933>

Rai, D. H. (2024). *Artificial intelligence through time: A comprehensive historical review*. Tribhuvan University, Institute of Science and Technology.

Rathore, M. M., Shah, S. A., Shukla, D., Bentafat, E., & Bakiras, S. (2021). *The role of AI, machine learning, and big data in digital twinning: A systematic literature review, challenges, and opportunities*. IEEE Access, 9, 32030–32052. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3059144>

Regeringskansliet. (2025). *AI-kommissionens färdplan för Sverige* <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/statens-offentliga-utredningar/2025/02/sou-202512/>

Regeringskansliet. (u.å.). *Det klimatpolitiska ramverket*. <https://www.regeringen.se/regeringens-politik/klimat/det-klimatpolitiska-ramverket/>

RISE. (u.å a). *Federated learning*. <https://www.ri.se/en/artificial-intelligence/expertise/federated-learning>

RISE. (u.å b). *Vad är dataområden?* <https://www.ri.se/sv/vad-ar-dataomraden>

Saleh, A. M., Vokony, I., Waseem, M., Khan, M. A., & Al-Areqi, A. (2025). *Power system stability with high integration of RESs and EVs: Benefits, challenges, tools, and solutions*. Energy Reports, 13, s. 2637–2663. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2025.02.001>

Smart Energy Europe & DNV. (2022). *Demand-side flexibility in the EU: Quantification of benefits in 2030*. Smart Energy Europe. https://smarten.eu/wp-content/uploads/2022/10/SmartEN-DSF-benefits-2030-Report_DIGITAL-1.pdf

Statistiska Centralbyrån. (2022). *Stigande elpriser varierar kraftigt i norr och söder*. <https://www.scb.se/hitta-statistik/redaktionellt/stigande-elpriser-varierar-kraftigt-i-norr-och-soder>

Statistiska Centralbyrån. (2025). *Kraftig ökning av solcellsanläggningar*. www.scb.se/hitta-statistik/redaktionellt/2025/kraftig-okning-av-solcellsanlaggningar/

Statkraft. (u.å.). *Virtuellt kraftverk: Europas största kraftverk är 100 procent förnybart*
<https://www.statkraft.com/sv/newsroom/news-and-stories/2018/Virtuellt-kraftverk-Europas-st%C3%B6rsta-kraftverk-blir-100-f%C3%B6rnybart/>

Sujatha, V., Jayakumar, S., Niveditha, V. R., Srinivasan, C., Murugesan, G., & Allan, D. C. (2025). *AI-enhanced grid frequency regulation for reliable renewable energy grids*. In Proceedings of the 6th International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC-2025) s. 318–323. IEEE.
<https://doi.org/10.1109/ICESC65114.2025.11212579>

Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2015). *Reinforcement learning: An introduction* (2nd ed.). A Bradford Book, The MIT Press.

Svenska Kraftnät. (2025a). *Anslutning till europeiska marknadsplattformar*.
<https://www.svk.se/utveckling-av-kraftsystemet/systemansvar--elmarknad/ny-nordisk-balanse-ringsmodell-nbm/anslutning-till-europeiska-marknadsplattformar/>

Svenska Kraftnät. (2025b). *Elområden*.
<https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-elmarknaden/elomraden/>

Svenska Kraftnät. (2026a). *Icke-intuitiva flöden – när elen handlas åt ”fel håll”*.
<https://www.svk.se/aktorsportalen/om-flodesbaserad-kapacitetsberakning-for-aktorer/icke-intuitiva-floden/>

Svenska Kraftnät. (2026b). *Kraftsystemhubben - kraftsystemets digitala tvilling*.
<https://www.svk.se/utveckling-av-kraftsystemet/systemansvar--elmarknad/kraftsystemhubben/>

Svenska Kraftnät. (2022). *Hur ofta är frekvensen inom de områden där FCR aktiveras?*
<https://www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/fragor-och-svar-om-reserver/fcr/hur-ofa-ar-frekvensen-inom-de-omraden-dar-fcr-aktiveras/> (Hämtad 2026-03-17)

Tang, Z. & Xiao, Q. (2024). *Guarding the Grid: Data Poisoning Attacks and Countermeasures in Power System Stability Assessment AI Model*. 2024 4th International Conference on Electrical Engineering and Control Science (IC2ECS) s. 205-209,
<https://doi.org/10.1109/IC2ECS64405.2024.10928646>

TechSverige. (2026). *AI och arbetsmarknaden*.
https://techsverige.se/app/uploads/2026/01/TechSverige_AI_och-arbetsmarknaden.pdf

Tidningen Energi. (2025). *Så kan V2G gå från projektform till marknaden*.
<https://www.energi.se/artiklar/2025/november-2025/sa-kan-v2g-ga-fran-projektform-till-marknaden/>

Tidningen Näringsliv. (2026). *Nu stänger AI dörren för nytexade - instegsjobben försvinner*. <https://www.tn.se/arbetsmarknad/47190/nu-stanger-ai-dorren-for-nyutexade-instegsjobben-for-svinner/>

Vattenfall. (u.å). *Vehicle-to-grid*. <https://www.vattenfalldistribution.se/var-verksamhet/vart-arbete/innovation/vehicle-to-grid/>

Worthmann, C., & Malik, K. (2025). *Comprehensive and comparative analysis of AI in the energy sector*. *AI and Ethics*, 5, s. 5941–5953. <https://doi.org/10.1007/s43681-025-00728-2>

11. Bilaga

Det fanns inte ett enda frågebatteri som användes till de intervjuer som genomfördes i detta examensarbete. På grund av den mångfald som fanns bland intervjupersonernas roller och yrken anpassades därför frågorna efter den specifika intervjun. Det fanns dock ett antal "grundfrågor" eller frågeställningar som intervjuerna byggdes upp ifrån. Det redogörs för här:

- Hur jobbar ni med AI inom energisektorn idag?
- Vad finns det för projekt kopplade till AI eller digitalisering som är på gång inom ert område just nu?
 - Finns det något som ni tycker är extra intressant/spännande?
- Hur tror du AI kan utvecklas, både kort- och långsiktigt, inom ert område?
- Vilka kunskapsluckor tror ni behöver fyllas igen för att AI ska kunna göra största möjliga nytta inom er sektor?
 - Finns det områden med hög potential men låg kunskap?
- Ser ni några risker med AI eller digitalisering inom ert område?
- Ser ni några övriga hinder som kan hämma utvecklingen inom din sektor?
- Om ni får önska, vilken forskning inom AI i energisektorn hade ni velat se?