

Lagring av el – omvärldsanalys

Utveckling, potential och behovet av lagring av el och andra flexibilitetstjänster kopplat till drift, systemansvar och utbyggnad av transmissionsnät för en väl fungerande elmarknad.

Svenska kraftnät

Svenska kraftnät är ett statligt affärsverk med uppgift att förvalta Sveriges transmissionsnät för el, som omfattar ledningar för 400 kV och 220 kV med stationer och utlandsförbindelser. Vi har också systemansvaret för el. Vi utvecklar transmissionsnätet och elmarknaden för att möta samhällets behov av en säker, hållbar och ekonomisk elförsörjning. Därmed har Svenska kraftnät också en viktig roll i klimatpolitiken.

Version 1

Org. Nr 202 100-4284

Svenska kraftnät
Box 1200
172 24 Sundbyberg
Sturegatan 1

Tel: 010-475 80 00
Fax: 010-475 89 50
www.svk.se

Innehåll

1	Sammanfattning och slutsatser.....	6
2	Inledning.....	9
2.1	Bakgrund	9
2.2	Uppdraget.....	11
2.3	Avgränsningar	11
2.4	Svenska kraftnäts roll som systemansvarig	12
3	Energilager och flexibilitet i elsystemet	13
3.1	Kategorisering	13
3.2	Potential	14
3.3	Elsystemets behov.....	15
3.3.1	Stödtjänster och avhjälpande åtgärder	16
3.3.2	Effektivare användning av elnäten	16
3.3.3	Totalförsvar och leveranssäkerhet.....	17
3.4	Drivkrafter för aktörer i samhället	18
3.4.1	Minska energikostnader genom anpassning av förbrukning och minskat effektuttag.....	18
3.4.2	Lokala redundanslösningar	18
3.4.3	Driftsäker elförsörjning för isolerade elnät.....	19
3.4.4	Arbitragehandel av el	19
3.4.5	Handel på flexibilitets- och stödtjänstmarknader	19
3.5	Samhället samlade nytta av energilager	20
4	Tillväxt, teknik och marknad för energilager.....	21
4.1	Batterier.....	21
4.2	Pumpkraft.....	23
4.3	Svänghjul	23
4.4	Vätgas	24
4.5	Olika utveckling av kort- och långvarig energilagring.....	25
5	Regelverket kring energilager och flexibilitetstjänster	26
5.1	Flexibilitetstjänst som stödtjänst och avhjälpande åtgärder	26
5.2	Ägande av energilager.....	27

6 Aktuell forskning 29

Bilaga 1. Tillväxt, teknik och marknad för energilager31

Global marknadsutveckling	31
Tekniker av betydelse i ett femårsperspektiv	33
Batterier	34
Pumpkraftverk	48
Potential	50
Vätgas	52
Lagring av tryckluftsenergi (CAES)	55
Energilagring med hjälp av flytande luft (LAES)	56
Svänghjul.....	57
Termisk lagring.....	58
Utveckling på längre sikt.....	59
Marknaden för energilager	60

Bilaga 2: Analys av regelverket för flexibilitet och lager (Energimarknadsinspektionen) 63

Regelverkets principer för elmarknaden.....	63
Elmarknadsdesign	64
Aggregering	65
Dynamiska priser och tariffer	66
Regelverket för anskaffning av stödtjänster.....	67
Balansering	67
Icke-frekvensrelaterade stödtjänster	68
Nya regler i ellagen för anskaffning av flexibilitetstjänster till följd av elmarknadsdirektivet.....	68
Regler för hantering av överbelastning finns i elmarknadsförordningen	69
Ytterligare EU-regler för flexibilitet?	73
Specifika regler för energilagring.....	74
Definition	74
Ägande	74
Anslutning.....	76
Tekniska krav vid anslutning av produktion	76
Andra regelverk kan behöva ses över.....	78

Bilaga 3: Forskning och utveckling för ökad flexibilitet i transmissionsnätet (Energimyndigheten)	83
Innehåll	84
Sammanfattning	85
1 Inledning.....	86
1.1 Bakgrund	86
1.2 Metod och avgränsningar	86
1.3 Energiforskning i Sverige	86
2 Diskussion	88
2.1 Vilka forsknings- och utvecklingsinsatser behövs?	89
3 Större satsningar inom forskning och utveckling	91
3.1 Större programsatsningar.....	91
3.2 Nationella kompetenscentrum	93
3.3 Stora demonstrationer	96
4 Pågående och avslutade forsknings- och utvecklingsprojekt	101
4.1 Marknadsplatser och stödtjänstemarknader	101
4.2 Lagrings- och flexibilitetsresurser	102
4.2.1 Batterier	102
4.2.2 Vätgas.....	102
4.2.3 Termiska energilager.....	103
4.2.4 Övriga energilager	104
4.2.5 Storskalig förnybar elproduktion, t.ex. vindkraftparker eller hybridparker (sol/vind/batteri)	104
4.2.6 Smart laddning av elfordon	106
4.2.7 Kraftvärme.....	107
4.2.8 Vattenkraft/pumpkraft	108
4.2.9 Efterfrågefleksibilitet från sektorn bebyggelse	108
4.2.10 Efterfrågefleksibilitet från industrin	112
4.3 Övriga projekt, inom områdena digitalisering, cybersäkerhet, resiliens och sociala aspekter	113

1 Sammanfattning och slutsatser

I regleringsbrevet för 2022 gavs Affärsverket svenska kraftnät i uppdrag att i en omvärldsanalys beskriva utveckling, potential och behov av lagring av el och andra flexibilitetstjänster. Uppdraget har genomförts i samarbete med Energimarknadsinspektionen och Statens energimyndighet.

Omvärldsanalysen har gjorts med ett femårsperspektiv för att komplettera de mer långsiktiga marknadsanalyserna som Svenska kraftnät gör där framtida behov av flexibilitet ur ett försörjningsperspektiv berörs. Fokus har främst varit ett nationellt perspektiv och belyser teknik och affärspotential på den svenska marknaden men även en internationell utblick görs.

Analysen visar hur lagring av el (energilagrar) samt flexibilitet skapar nyttor för det nationella elsystemet samt möjlig användning i transmissionsnätet. Nyttor för andra aktörer såsom slutanvändare samt lokala och regionala elnät, berörs endast indirekt i analysen. Analysen syftar också till att indikera vilka lagrings- och flexibilitetslösningar som kan ha en affärsmässig potential i det svenska kraftsystemet i ett femårsperspektiv.

Energilagrar kan på olika sätt göra det möjligt att bidra till ökad flexibilitet i elsystemet och därmed till att skapa nytta, både för elsystemet men också direkt till innehavaren av lagret. Omvärldsanalysen belyser hur olika typer av tekniska lösningar kan bidra med olika nyttor utifrån energilagrens karakteristik och vilken form av flexibilitet dessa ger möjlighet att realisera.

De nyttor som energilagrar och andra flexibilitetstjänster kan bidra med till det svenska elsystemet finns inom flera områden. Nedan ges några exempel på hur energilagrar och flexibilitet kan bidra till en effektivare omställning av elsystemet men nyttor kan även uppstå inom andra områden.

- > Deltagande i Svenska kraftnäts stödtjänster och avhjälpande åtgärder
- > Användning för att bidra till att hantera effektoppar
- > Användning för utjämning av elproduktion från väderberoende källor som vind- och solkraft eller hos förbrukarna
- > Effektivare användning av existerande transmissions-, region- och lokalnät
- > Användning för att möjliggöra förbrukningsökningar i väntan på nätförstärkningar
- > Bidra till totalförsvarets behov av t.ex. lokal ö-drift

Svenska kraftnät arbetar aktivt med att utveckla och tydliggöra de tekniska kraven för hur energilager och flexibilitet kan delta i de befintliga stödtjänsterna, samt med utvecklingen av nya stödtjänster så att elsystemets behov kan tillgodoses. Målet är att se till att kraven är teknikneutrala så att olika teknikslag kan leverera stödtjänster, utan att det bakomliggande syftet med tjänsterna förloras.

Den stora ökningen av elförbrukningen som förväntas framöver behöver mötas av en ökning i elproduktion. Ökningen av elproduktionen förväntas leda till en kraftig ökning av mängden vind- och solkraft, oavsett hur den planerbara elproduktionen utvecklas. Följden blir ett ökat behov av att flytta förbrukning och produktion av el från tider med högt utbud till tider med hög efterfrågan, om dessa inte sammanfaller. I sådana fall kan energilager och andra flexibilitetstjänster komma att spela en avgörande roll.

Investeringar i energilager kan komma att göras av elproducenter med stora sol- och vindkraftsanläggningar för att kunna lagra den el som samhället inte efterfrågar vid den tidpunkt den produceras, och mata ut den vid ett senare tillfälle då behovet är större. Det finns även motiv för aktörer med egna solkraftsanläggningar som privatpersoner, kommersiella fastighetsägare och industrier, att lagra sin egengenererade el för att minska eller jämna ut sina uttag från elsystemet. De ekonomiska motiven för lokala energilager kan också förväntas öka i takt med att effekttariffer införs för slutkunder då nyttan med att jämna ut uttagen ökar.

Utvecklingstakten av energilager på transmissionsnätets nivå är hög och ett antal av de stora internationella projekten redovisas i rapporten. Under 2021 togs t.ex. ett batteri om 300 MW i drift i Australien och den kommersiella efterfrågan på stora batterilager ökar även i övriga världen. Kapaciteten blir också allt större, och energilager med effekt på över 1000 MW övervägs nu.

I Sverige sker en omfattande installation av energilager i dag på lokal och regional nivå, till största del i form av batterier. De primära motiven varierar men en viktig ekonomisk drivkraft är i många fall deltagande i Svenska kraftnätets stödtjänstmarknader. Svenska kraftnät arbetar också med att sänka barriärer för att göra det möjligt för fler aktörer att kunna delta på dessa marknader. Större energilager, och då speciellt batterilager, kan i dag anses vara tillräckligt mogna för att kunna utgöra en byggsten i utvecklingen av transmissionsnätet. Svenska kraftnät studerar hur de kan användas för att snabbt öka kapaciteten mellan områden med stora prisskillnader men har i nuläget inte dragit någon slutsats runt en ev. konkret åtgärd.

Omvärldsanalysen visar att det finns en brist på mogna tekniska lösningar för att hantera den långvariga energilagringen, det vill säga säsongslagring. Detta

behov är starkt kopplad till ett energisystem med allt större andel väderberoende elproduktion. Här kan den förväntade stora mängden vätgasproduktion och vätgaslager komma att få en viktig roll.

Svenska kraftnät arbetar med frågor som rör flexibilitet och energilager i flera olika sammanhang. Bland annat bedrivs nu arbete i ett regeringsuppdrag, där Svenska kraftnät ska främja förutsättningar för flexibilitet på marknader inom Svenska kraftnäts ansvarsområde.

Omvärldsanalysen berör också regelverket kring förutsättningarna för hur energilagring får ägas och hur flexibilitetstjänster ska anskaffas av nätföretagen. Grunden i lagstiftningen, som ges av Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2019/944 av den 5 juni 2019 om gemensamma regler för den inre marknaden för el och om ändring av direktiv 2012/27/EU (elmarknadsdirektivet) är att ett nätföretag inte får äga, utveckla, förvalta eller driva en energilagringsanläggning. Direktivet ger dock möjlighet för undantag för nätföretag att äga energilager i det fall det är en integrerad nätkomponent för att t.ex. hantera en överbelastning.

2 Inledning

En ökad användning av lagring av el (energilagring) och andra flexibilitetstjänster bedöms vara en förutsättning för att över tid klara den ökade elektrifiering och ökad andel förnybar elproduktion som följer av energiomställningen. Möjligheter och nyttor med energilagring och flexibilitet finns i driften av elsystemet, inom utövandet av systemansvaret, i utbyggnaden av transmissionsnätet och är avgörande för en fortsatt väl fungerande elmarknad.

Syftet med omvärldsanalysen är att visa på vilka lagrings- och flexibilitetslösningar som har en affärsmässig potential i det svenska kraftsystemet inom en femårsperiod. Målet är att kartlägga nyttorna med lagring av el och flexibilitet i kraftsystemet, primärt ur ett affärsmässigt perspektiv, för att identifiera lösningar som kan öka flexibiliteten och stabiliteten. Rapporten syftar även till att belysa hur lagring av el kan bidra till ett effektivt utnyttjande av befintligt och tillkommande elnät.

2.1 Bakgrund

Denna rapport består av en övergripande omvärldsanalys som syftar till att beskriva utveckling av tekniska lösningar för energilagring samt de nyttor, men även de hinder, som finns med en kraftigt ökad användning av energilagring och andra flexibilitetstjänster. En översikt av teknikutvecklingen görs i huvudrapporten, vilken fördjupas i bilaga 1 med exempel från energilagranvändning i omvärlden. Rapporten ger inte självständigt en fullständig bild av alla aspekter kopplat till energilagring och andra flexibilitetstjänster utan utgör en av flera rapporteringar som myndigheten självständigt eller i samverkan med andra myndigheter ska rapportera till Regeringskansliet under 2022 och 2023.

Energimyndigheten och Energimarknadsinspektionen har båda pågående analyser och nyligen publicerade rapporter om bland annat flexibilitetsmarknaden och energilagring, och dessa har utgjort underlag i arbetet. Vidare gavs i augusti 2022 Svenska kraftnät, tillsammans med Energimarknadsinspektionen, Energimyndigheten och Swedac, i uppdrag att utveckla förutsättningarna för att realisera potentialen för flexibilitet i elsystemet¹. Uppdraget innehåller bland annat fyra deluppdrag till den 6 april 2023. I ett av deluppdragen ska Svenska kraftnät främja förutsättningar för

¹ Regeringsbeslut I2022/01578 Uppdrag att främja ett mer flexibelt elsystem.

flexibilitet, inklusive hos små kunder, på marknader inom Svenska kraftnäts ansvarsområde. I uppdragets slutredovisning den 15 december 2023 ska myndigheterna göra en gemensam sammanställning av vad som görs för att främja flexibilitet och om det krävs ytterligare åtgärder för att potentialen ska realiseras. De förutsättningar för flexibilitet som redovisas i den här omvärldsanalysen utgör grunden för det fortsatta arbetet.

Arbetet med omvärldsanalysen har utförts genom att Svenska kraftnät efter studier och samtal med olika aktörer och intressenter inom de aktuella områdena², inklusive Energimyndigheten och Energimarknadsinspektionen, beskrivit möjlig användning, nytta samt tekniska förutsättningar och utvecklingspotential för olika typer av energilager och andra flexibilitetstjänster. Energimyndigheten och Energimarknadsinspektionen har lämnat bidrag utifrån sina respektive ansvarsområden och dessa underlag sammanfattas i kapitel 5 och 6, men redovisas även i sin helhet i separata bilagor till rapporten. Energimarknadsinspektionen har gjort en regulatorisk genomgång som innefattar både en analys av befintlig EU-rättslig och nationell lagstiftning samt kommande relevant lagstiftning. Energimyndigheten har gjort en sammanställning av aktuell forskning och innovation inom området. Huvudrapporten har skrivits av Svenska kraftnät och är därför verkets syn och tolkningar. I denna rapport används begreppet energilager och energilagring som beteckning på olika typer av anläggningar som tar el från elnätet, lagrar den i olika former för att vid ett senare tillfälle åter mata in el till elnätet. Det finns även andra former av energilager där energi tillförs på annat sätt som inte berörs i denna omvärldsanalys. Ett energilagars storlek ges av dess effekt (MW) och dess lagringskapacitet (MWh). Effekten beskriver hur mycket el som momentant kan matas in till elnätet och lagringskapaciteten beskriver den totala energimängd lagret kan hålla. Olika tekniker för energilager skiljer sig också åt vad gäller hur snabbt de kan mata ut el eller ändra från laddning till utmatning, hur lång tid de tar att fylla o.s.v. Dessa typer av förmågor hos lagren har stor betydelse för vilka nyttor de kan bidra med till elsystemet.

Med flexibilitet avses här en förändring av elproduktion eller elanvändning, på en individuell eller aggregerad nivå, som en aktiv reaktion på t.ex. en extern signal, jämfört med den elproduktion eller användning som annars skulle skett. Den utlösande faktorn för flexibilitet kan vara rena prissignaler från elmarknad eller nättariffer men även genom avrop av stödtjänster eller från en önskan att

² Materialet är baserat på offentligt tillgänglig information samt på intervjuer med personer inom Energimyndigheten, Energiföretagen, Energiforsk, Fortum, Uniper, H2GS, Profu, Ferroamp, Phoenix Biopower, Senergia, SaltX, Power Circle, CheckWatt, Entelios, Power Cell och Azelio.

bidra till elsystemets och samhällets bästa. Energilager spelar här en stor roll för att öka möjligheten att vara flexibel mot elnätet utan att för den skull behöva påverka t.ex. sin användning av el.

2.2 Uppdraget

I regleringsbrevet för 2022 gavs Affärsverket svenska kraftnät följande uppdrag.

Lagring av el

Affärsverket svenska kraftnät ska i en omvärldsanalys, inklusive mot bakgrund av affärsverkets långsiktiga marknadsanalys, beskriva utveckling, potential och behovet av lagring av el och andra flexibilitetstjänster kopplat till drift, systemansvar, utbyggnad av transmissionsnät och för en väl fungerande elmarknad. Affärsverket svenska kraftnät ska utföra uppdraget i samarbete med Energimarknadsinspektionen och Statens energimyndighet. Uppdraget ska redovisas till Regeringskansliet (Infrastrukturdepartementet) senast den 30 november 2022.

2.3 Avgränsningar

Mot bakgrund av uppdragets breda karaktär har vissa avgränsningar gjorts.

Energilager kan ofta ha en förmåga att utöver aktiv effekt (MW) också direkt eller indirekt bidra till spänningsstabiliteten i elsystemet. Detta är ett område som inte behandlas lika ingående som andra områden i rapporten men där stora nyttor för elsystemet kan förekomma.

Utgångspunkt för analysen är att den behandlar energilagringstekniker som kan komma att få betydelse i Norden de närmaste fem åren. Urvalet är gjort utifrån var det kan finnas potential för investeringar och goda förutsättningar för projekt under de närmaste åren. Fokus ligger på tekniker som är etablerade internationellt och där det i dag redan sker betydande investeringar eller där det pågår kraftig industriell utveckling. Teknik som befinner sig i ett forskningsskede eller tidigt utvecklingsskede berörs endast översiktligt i bilaga 1. Energimyndighetens finansierade forskning på området beskrivs i bilaga 3. Redan etablerade tekniker som i dag har liten påverkan, eller som har bedömts få en minskande påverkan på elsystemets behov, inkluderas inte i analysen. Ett exempel på sådana är blybatterier.

Analysen visar hur energilager samt andra flexibilitetstjänster skapar nyttor på nationell nivå. Nyttor för andra aktörer såsom slutanvändare, lokala och regionala distributionsnät, berörs endast indirekt i rapporten. Det gör också att

analyser över förbrukningsmönster och beteenden inte hanteras i denna rapport utan kommer bland annat belysas av Energimarknadsinspektionen i det regeringsuppdrag om främjad flexibilitet som nämnts tidigare. På samma sätt är användning av energilager och flexibilitet för att hantera begränsningar i elnäten i första hand fokuserad på användningen i transmissionsnätet, men motiv och nyttor är likartade även för region- och distributionsnät.

2.4 Svenska kraftnäts roll som systemansvarig

Svenska kraftnät är systemansvarig myndighet och systemansvarig för överföringssystem, vilket är detsamma som transmissionsnätsföretag enligt ellagen. Som systemansvarig för överföringssystem träffas Svenska kraftnät av drygt tio EU-förordningar som i detalj styr verksamheten samt av nationell rätt. Därutöver styrs verksamheten av regeringens instruktion (SFS2007:1119 med ändring t.o.m. SFS2019:1305) och regleringsbrev (I2021/03311).

Svenska kraftnät har följande huvudsakliga ansvarsområden:

- > Förvalta samt utveckla ett kostnadseffektivt, driftsäkert samt miljöanpassat överföringssystem.
- > Hantera anslutningar till och nyttjande av överföringssystemet.
- > Beräkna och tilldela överföringskapacitet till elmarknaden.
- > Drift av överföringssystemet med hjälp av
 - stödtjänster för balansering,
 - icke-frekvensrelaterade stödtjänster,
 - avhjälpande åtgärder,
 - systemskyddsåtgärder samt
 - återuppbyggnadsåtgärder.
- > Övervaka samt genomföra bedömningar gällande resurstillräcklighet.

Utav ovanstående områden är det framför allt stödtjänster för balansering, avhjälpande åtgärder, ökning av överföringskapaciteten, anslutning till och nyttjande av överföringssystemet samt resurstillräcklighet där energilager kan komma att användas.

3 Energilager och flexibilitet i elsystemet

Energilager och andra flexibilitetstjänster bidrar redan i dag till ett mer effektivt elsystem genom att göra det möjligt att t.ex. öka uttagen i områden med begränsad nätkapacitet exempelvis i Uppsala och minska kostnaderna för kunder som laddar elbilar i lågprisperioder. Användningen och påverkan på transmissionsnätets nivå är dock än så länge begränsad, något som förväntas komma att ändras framöver.

Den kraftigt ökade elektrifieringen av bl.a. industrier som i dag är beroende av fossila bränslen och insatsråvaror leder till ett behov av stora mängder ny elproduktion i det svenska elsystemet. En utmaning i detta är att det generellt går fortare att ändra energianvändningen från fossila källor till el än vad det gör att bygga ny elproduktion och öka överföringskapaciteten i elsystemet. Följden är att risken för elbrist förväntas öka om inga åtgärder vidtas. För att bidra till att överbrygga detta gap bedöms energilager och flexibilitet vara en nyckelfaktor.

Den nya elproduktionen förväntas till stor del komma från väderberoende källor som vind- och solkraft, oavsett vad som sker i framtiden med utbyggnad av kärnkraften och annan planerbar elproduktion. Detta leder till att variationerna i elproduktionen, både under dagen och mellan årstider, ökar och med det behovet av att jämna ut och balansera produktion och förbrukning. Även här bedöms energilager och flexibilitet få avgörande betydelse för elsystemets förmåga att möta behoven av god leveranssäkerhet.

3.1 Kategorisering

Energilager kan bidra med olika former av flexibilitet i elsystemet. Flexibilitet kan i sin tur delas upp och kategoriseras på olika sätt. För denna omvärldsanalys har följande kategorier använts:

- > Effektflexibilitet
- > Spänningsflexibilitet
- > Överföringsflexibilitet
- > Energiflexibilitet

Tabell 1 sammanfattar de olika typerna av flexibilitet och var i elsystemet de har en funktion.

Kategorisering av flexibilitet	Behov/Nytta	Tidshorisont	Exempel på lösningar
Effektflexibilitet	Möjlighet att på kort sikt balansera tillgång och efterfrågan i elsystemet och därmed hålla frekvensen stabil.	Från delar av en sekund upp till en timme	Batterier, pumpkraft
Spänningsflexibilitet	På kort sikt kunna upprätthålla spänningen	Sekunder till tiotal minuter	Batterier, svänghjul och pumpkraft
Överföringsflexibilitet	På kort till medelkort tid öka överföringskapaciteten. Överföringsflexibilitet kan även minska behovet av utbyggd kapacitet.	Minuter till timmar	Batterier och pumpkraft
Energiflexibilitet	Hålla jämvikt i det nationella elsystemet mellan tillgång och efterfrågan på medellång till lång sikt	Timmar upp till år	Pumpkraft, långvariga batterier, vätgas, tryckluftslagring och lagring av flytande luft

Tabell 1. Olika typer av flexibilitet och deras funktion

Utöver att flexibilitet kan skapa nyttor i olika tidshorisont kan nyttor från flexibilitet och energilager även skapa nyttor på olika nivåer i elsystemet, från lokal- till transmissionsnät. Energilager kan även skapa nyttor för systemet som helhet eller på olika marknader. Rapportens fokus är på transmissionsnätet, men en åtgärd som införs t.ex. med syfte att balansera transmissionsnätet kan också påverka lokalt och regionalt.

I denna rapport behandlas inte kategorin spänningsflexibilitet annat än översiktligt eftersom hantering av spänningsstabilitet kan bli tekniskt komplex och inte tillför något avgörande till den beskrivning av energilager och flexibilitet som ges.

3.2 Potential

För att klara omställningen till ett elsystem med en högre andel intermittent väderberoende elproduktion och med en betydligt högre elanvändning kommer behovet av flexibilitet, t.ex. i form av energilager, att öka. I Svenska kraftnäts

långsiktiga marknadsanalys 2021³ (LMA2021) dras slutsatsen att tillkommande flexibilitet är en viktig del för att klara energiomställningen. I LMA2021 delas flexibilitet in i tre kategorier: mängden el för vätgasframställning, installerad batterikapacitet och andel elbilar som antas kunna laddas flexibelt. I LMA2021 togs fyra scenarier fram och för 2045 varierar årselbehovet för vätgas mellan 11 och 84 TWh, batterikapaciteten mellan 2 och 12 TWh och andelen bilar som laddas flexibelt mot elnätet vara mellan 30 och 50 procent. De högre siffrorna är kopplade till scenariot med högst grad av elektrifiering. För vätgas har en lagerkapacitet på sju dygn antagits för den vätgas som behövs som reduktionsmedel för järnmalm till järnsvamp i elområde SE1. I LMA2021 antas också en viss grad av flexibilitet på efterfrågesidan, där en neddragning sker vid höga simulerade elpriser. Analyserna av effekttillräcklighet visar att Sverige blir beroende av flexibilitet i elanvändningen för att klara ansträngda timmar samt att behovet av import från grannländer ökar.

Modellresultaten i marknadsanalysen visar att flexibilitet är nödvändigt för ett fungerande elsystem 2045, men de antaganden som görs är osäkra. Det visar hur svårt det är att uppskatta behovet av flexibilitet kvantitativt, och det gäller även lagring.

Inom ramen för denna omvärldsanalys har ingen uppdaterad analys gjorts av potentialen för energilager, men en uppdaterad uppskattning av behovet kommer göras i Svenska kraftnäts Långsiktiga marknadsanalysen 2023.

Trots de stora osäkerheter som finns runt den framtida utvecklingen framstår det dock som rimligt att dra slutsatsen att elektrifieringen av industri och annan tillkommande elanvändning måste ske på ett sätt som möjliggör att de kan vara flexibla i när de använder el för att risken för effektbrist inte ska bli för stor. I vissa fall kan det komma att leda till ökade behov av energilager, i andra till anpassningar i t.ex. hur elektrolysörer för vätgas och vätgaslager utformas.

3.3 Elsystemets behov

Energilager och andra flexibilitetstjänster kommer att kunna stödja elsystemet och bidra till en fortsatt säker systemdrift och ett effektivt nätutnyttjande och de kan bli viktiga för att snabbt kunna integrera förnybar produktion.

Energilager kommer också kunna användas för att optimera transmissionsnät, region- och lokalnät som behöver byggas i samband med elektrifieringen.

³ Svenska kraftnät 2021: Långsiktig marknadsanalys 2021.

Nätföretag kan behöva väga kostnader för energilager mot kostnaden för en större anslutning, när behovet av kapacitet ökar. Dessutom kan energilager komma att användas både för att skjuta upp och permanent ersätta nätinvesteringar eller som övergångslösning till dessa finns på plats.

3.3.1 Stödtjänster och avhjälpande åtgärder

Energiomställningen och den ökade andelen väderberoende elproduktion leder till ett ökat behov av olika stödtjänster och avhjälpande åtgärder för att driva elsystemet med god driftsäkerhet och elkvalitet. Dessa tjänster och åtgärder är i huvudsak marknadsbaserade och utformade i enlighet med de europeiska regelverken inom området. Energilager och flexibilitet, både direkt eller genom aggregatorer, behöver bli aktörer på dessa marknader för att öka volymerna på de åtgärder som finns att tillgå för att systemsäkerheten även på sikt ska kunna hållas god till rimliga kostnader.

3.3.2 Effektivare användning av elnäten

Energilager och flexibilitet har potential att bidra till en effektivare användning av befintliga elnät. Detta kan ske i olika former men det finns två huvudsakliga områden: utjämning av produktion och förbrukning för att minska toppar och bättre utnyttja den kapacitet som finns samt åtgärder som direkt kan öka överföringskapaciteten.

3.3.2.1 Utjämning

I dag är överföringen i elnäten väldigt ojämn med tydliga toppar och dalar. När elproduktion eller förbrukning ökar så kommer överföringstopparna att bli det som begränsar hur stor ökning som säkert kan tillåtas. I tiderna utanför topparna finns det dock utrymme för en ökad överföring. Genom ökad användning av energilager och flexibilitet kan topparna sänkas genom att inmatning eller uttag flyttas till de tider då överföringen är lägre, till dalarna. Effekten är en utjämning och en högre energiproduktion eller energianvändning är då möjlig.

Utjämning kan ske i olika tidsperspektiv där de dagliga variationerna är ett klart exempel men även säsongsvariationer har stor betydelse. I situationer med risk för effektbrist får förmåga att hålla nere förbrukningstopparna inte

bara koppling till överföringskapaciteten utan även till tillräckligheten. Detta är något som Svenska kraftnät har berört i kampanjen ”Plana ut kurvan i elsystemet och minska risken för effektbrist”⁴.

3.3.2.2 Ökad överföringskapacitet

Energilager kan i vissa fall också användas för att mer direkt öka överföringskapaciteten i elnäten. Överföringskapaciteten beräknas i grunden utifrån principen att systemet alltid skall klara av ett bortfall av enstaka komponenter utan att resten av systemet hamnar utanför tillåtna gränser, det s.k. N-1-kriteriet. I ett illustrerande exempel med två ledningar som utgör ett överföringssnitt, sätts gränsen av hur mycket kapacitet som den svagaste av dem kan överföra med viss överlast om den andra ledningen faller bort. Efter felet vidtas åtgärder i nätdriftcentraler för att sänka överföringen från den tillåtna överlasten till den nivå som kan tillåtas över tid. Om ett snabbt energilager, eller snabb flexibilitet som minskar förbrukningen, fanns tillgängligt på den mottagagande sidan skulle det kunna bidra till att sänka överföringen mycket snabbt om det startades automatiskt vid felet på ledningen i exemplet. Den mycket snabba sänkningen kan användas som ett komplement till åtgärderna som vidtas av nätdriftcentralerna och medge en högre tillåten överföringskapacitet.

I transmissionsnätet är situationen sällan så tillrättalagd som i exemplet ovan. Där är nätet mer omfattande, det är många olika fenomen som begränsar överföringskapaciteten och driftsituationerna varierar som följer av t.ex. mängden vindkraft som produceras. Följden är att det så här långt inte varit möjligt att finna konkreta fall eller placeringar där energilager har visat sig vara effektiva lösningar för att ge ökad överföringskapacitet, men Svenska kraftnät överväger åtgärden.

3.3.3 Totalförsvar och leveranssäkerhet

I skenet av det ökade behovet att ta med totalförsvaret i planeringen av elsystemet finns en tydlig koppling till energilager och flexibilitet. Energilager i olika former har en given roll som alternativ till traditionella dieselgeneratorer i reservkraftaggregat och som en del i lokal ö-drift. Redan i dag är kombinationen solpaneler och batterier en etablerad lösning för t.ex. båtar och stugor utan elanslutning. Det är troligt att utvecklingen gör det möjligt att större och större enheter i samhället kan klara sin elförsörjning under kortare perioder på samma sätt. Totalförsvarets behov av ett samhälle som är bättre

⁴ Länk till Svenska kraftnäts webbplats: [Tema: Plana ut kurvan i elsystemet och minska risken för effektbrist | Svenska kraftnät \(svk.se 2022-11\)](#)

förberett för störningar i elleveranser kan lättare mötas med den utveckling som pågår inom energilagertekniken och flexibilitet/styrning av elförbrukningen.

På nationell nivå finns behov av elproduktionskällor som kan bidra till att återstarta och återställa elsystemet efter en större störning. Här kan energilager utformade med det i åtanke komma att spela en allt större roll framöver.

3.4 Drivkrafter för aktörer i samhället

De behov som finns för elsystemet och som beskrevs ovan kan både sammanfalla eller skilja sig från de drivkrafter för energilager och flexibilitet som finns bland aktörerna i samhället. Drivkrafterna för aktörerna är i huvudsak ekonomiska eller följer av olika former av krav, även om viljan att bidra till klimatomställningen många gånger också finns där. Fram till nu har de rent kommersiella motiven inte lett till någon omfattande etablering av större energilager i Sverige, något som bör kunna förbättras i takt med att t.ex. marknaderna för stödtjänster och agerande på prisvolatiliteten lättare kan göras tillgänglig för aktörerna. Nedan görs en sammanfattning av de viktigaste drivkrafterna för olika aktörer ur deras perspektiv.

3.4.1 Minska energikostnader genom anpassning av förbrukning och minskat effektuttag

En tydlig drivkraft för både privatpersoner och företag att skaffa egna energilager är att det ger större möjligheter att ta del av de ekonomiska fördelar som följer av minskade maximala effektuttag genom lägre nätavgifter och jämnare energiuttag. I kombination med timprisavtal kan energilager skapa möjligheter att köpa el under de timmar det är lågt pris för att sedan använda den lokalt lagrade energin när priset är högre.

Den ekonomiska drivkraften för energilager blir sannolikt större när energilagren kombineras med el producerad i den egna fastigheten, vanligen från solcellspaneler, eller i mikronät som är gemensamma för flera fastigheter. Det ger en möjlighet för kunderna att lokalt lagra sitt eget elöverskott i stället för att sälja det när det produceras, något som ofta sker dagtid när priset är lågt. Den lagrade elen kan sedan användas för att minska behovet av att köpa el när priset är högre.

3.4.2 Lokala redundanslösningar

Dagens reservkraftaggregat som används i bl.a. serverhallar och sjukhus består många gånger av generatorer som drivs av fossila bränslen och ger upphov till buller och utsläpp när de används. Det finns tydliga drivkrafter att finna

lösningar som inte har dessa nackdelar och moderna energilager kan komma att bli en sådan ersättning. Redan i dag används batterier för att säkra elförsörjningen till de mest kritiska funktionerna vid ett avbrott i elmatningen fram till dess att reservkraftaggregaten startat. Med en utveckling där allt fler industriprocesser elektrifieras blir el, eller den vätgas som produceras med el, en allt viktigare del av de kritiska råvaror som industrin kan se ett behov av att lagra lokalt. Med en ökad andel vind- och solkraft, och därmed allt volatilare elpriser och även risker för effektbrist, kommer det sannolikt finnas intresse för egna energilager i många industrier för att bättre säkra sin egen leveransförmåga av de produkter eller tjänster som produceras.

3.4.3 Driftsäker elförsörjning för isolerade elnät

Billigare och effektivare batterier eller andra energilager kan i kombination med vind- och solenergi göra det ekonomiskt intressant att bygga energilösningar som inte är kopplade till, eller har ett svagt beroende av, elnätet i framtiden. Det gör det också möjligt att skapa smarta lösningar för redundans i områden där kunder upplever att de ofta får elavbrott vid t.ex. vinterstormar. Den mest extrema formen av detta är s.k. off-grid-lösningar men en mer sannolik drivkraft är t.ex. möjligheten att arbeta på distans eller driva verksamheter från platser där det i dag kan vara svårt att göra det till följd av avsaknaden av säker elförsörjning.

3.4.4 Arbitragehandel av el

Kommersiella verksamheter som har som primär drivkraft att utöva arbitragehandel med el kan komma att öka i ett elsystem med mer varierande elpris. Det kan på sikt komma att leda till en ökad etablering av energilager som utgör grunden för denna typ av handel men ger också ytterligare ett ekonomiskt incitament att skaffa energilager primärt för andra behov.

Handel med el som har sin utgångspunkt i att utnyttja de prisskillnader som finns under dygnet sker primärt på dagen före- och intra-dag-marknaderna.

3.4.5 Handel på flexibilitets- och stödtjänstmarknader

Marknaderna för flexibilitets- och stödtjänster förväntas öka de närmaste åren som en följd av att andelen elproduktion från icke-planerbara källor som vind och sol ökar. I takt med att mängden energilager ökar bör dessa komma att bli en allt naturligare del av de resurser som bjuds in till dessa marknader. Ägare av större lager kan sannolikt komma att agera själva på marknaderna medan mindre hushållsnära lager kan komma att delta genom olika aggregatorer. Att

erbjuda energilager på marknaderna för flexibilitet och stödtjänster bör kunna ge en tillräckligt stor ekonomisk vinst för att påverka investeringen i energilager positivt.

3.5 Samhället samlade nytta av energilager

Sammantaget finns det tydliga behov och drivkrafter för en ökad etablering av energilager och andra flexibilitetstjänster både för elsystemet och samhällets behov, men också för enskilda aktörer. I grunden bör därför förutsättningarna vara goda för att få en snabb ökning av mängden installerade energilager och flexibilitet. Det är dock av vikt att marknaden utvecklas och produkter utformas, både tekniskt och avtalsmässigt, så att energilagren både kan bidra med nytta till de aktörer som installerar dem men också till elsystemets behov. De funktioner som behöver finnas för att energilager och annan flexibilitet ska kunna stödja elsystemet är t.ex. kopplade till kommunikationsmöjligheter och vissa tekniska prestanda, krav som redan i dag ställs för deltagande på Svenska kraftnäts stödtjänstmarknader.

Med rätt ställda krav bör kostnaden för energilager och andra källor för flexibilitet inte påverkas avgörande samtidigt som det säkerställer att de kan bidra till att möta de utmaningar som energiomställningen leder till. Genom att få kommande energilager att delta aktivt för att också möta elsystemets behov kan den samlade samhällsnyttan öka betydligt.

4 Tillväxt, teknik och marknad för energilager

I det här kapitlet görs en genomgång av olika tekniker för energilager och hur marknaden utvecklas. Den globalt installerade lagringskapaciteten av el förväntas öka med 56 procent under de kommande fem åren enligt International Energy Agency (IEA). Globalt sker den största tillväxten för lagringskapacitet av el inom batterier och pumpkraft.

En fördjupad teknisk genomgång finns i bilaga 1, med fokus på de tekniker som bedöms som tillgängliga inom en femårsperiod. Utöver de tekniker som beskrivs finns ett stort antal lagringstekniker, såsom superkondensatorer, tyngdkraftsenergilager, lagring av lufttrycksenergi (CAES), energilagring med hjälp av flytande luft (LAES), termisk lagring, som har potential för framtida användning eller för speciella tillämpningar. Några av dem beskrivs kort i bilagan.

4.1 Batterier

Batterier, framför allt litiumjonbatterier, är den energilagringsform som bedöms dominera utbyggnaden av energilager i Sverige under den kommande femårsperioden. Det är en lättillgänglig, flexibel och effektiv typ av lagring och tack vare den snabba elektrifieringen av transportsektorn finns det i dag en kostnadseffektiv volymproduktion av litiumjonbatterier. Utvecklingstakten inom batteriområdet är hög och utvecklingen drivs i huvudsak av transportsektorn. Av den anledningen är det huvudsakligen batterier med hög energidensitet som är tillgängliga kommersiellt. Priset på litiumjonbatterier minskade med 87 procent under 2010-2019.

Den största delen av den installerade volymen av batterier förväntas att vara placerade i olika typer av fordon. Detta leder till en stor potential att finna sätt att ge ekonomiska eller andra drivkrafter för dessa att också bidra till elsystemets behov s.k. vehicle-to-grid (V2G). Konceptet bygger på att batterierna i elbilar, direkt eller indirekt, kan bidra med flexibilitet i elsystemet.

Nackdelen med litiumjonbatterier, förutom att de är relativt resurskrävande att tillverka, är att kostnadsbilden endast medger relativt kortvarig lagring av energi. Marginalkostnaden för högre kapacitet är hög. Litiumjonbatterier används därför ofta för ellagring med en drifttid med full effekt i 1-4 timmar. Det görs därför även stora investeringar i forskning och utveckling av nya batterikemier med egenskaper som kan passa bättre för exempelvis längre energilagring.

Ett energilager i form av ett batteri kan tillföra flera olika nyttor i elsystemet, både på kort sikt och för långvarig lagring. Under närmsta åren förväntas en stor mängd energilager i form av batterier att anslutas till elsystemet. Batterierna kan bidra med olika sorters flexibilitet beroende på deras syfte men det de har gemensamt är att de kan bidra med effektflexibilitet. De batterier som installerats för att möjliggöra högre överföringskapacitet i nätet har placerats i anslutning till de förbindelser som utgör flaskhalsar i elsystemet. Ett exempel på batterianläggning som byggts för att hantera ett växande elbehov är Vattenfalls stora batteri i Gränby i Uppsala. Ett annat exempel är Boo Energis batteri i Saltsjö-Boo utanför Stockholm.

Batterier kan bidra med systemtjänster i form av frekvens- och spänningsreglering och därmed bidra till att kapa effektoppar men också till att avlasta belastningen på nätet och på så sätt ge en mer driftsäker elförsörjning.

Utöver batterier till transportsektorn är det i Sverige flexibilitetsmarknaderna som i kombination med ett högt elpris har skapat ett stort intresse från många aktörer att utnyttja möjligheterna med energilager. Utvecklingen av flexibilitetsmarknaderna drivs också på av elhandlare och kraftproducenter i samarbete med aggregatorer som tillsammans erbjuder marknaden kompetens, digitala plattformar och en palett av tjänster kopplat till energilagring och flexibilitet.

Ett flertal kraft- och energibolag kommer under 2022 och 2023 att göra investeringar och installationer av stora batterier och denna marknad växer kraftigt. Här bedöms det finnas möjligheter även för finansiella investerare och sannolikt kommer det att ske investeringar av andra än kraft- och energibolag.

Uppskattningsvis kommer den totala installerade batterikapaciteten hos kraftbolag vara i storleksordningen 80-100 MW i slutet av 2022. Siffran är dock osäker då det inte finns någon officiell statistik över energilager.

Det finns även intresse hos elproducenter att utnyttja batterier som ett komplement till sin elproduktion. Vattenkraftsproducenter har t.ex. uppgivit att de vill minska slitaget på turbinerna i vattenkraftverk som uppstår till följd av snabb reglering vid leveranser av flexibilitetstjänster, genom att använda batterier. Ett sådant exempel finns hos Jämtkraft som installerat ett batteri vid vattenkraftverket i Granbo och har planer på batterier med större kapacitet⁵.

⁵ Länk till nyhet på Energinyheterers webbplats: [Jämtkraft storsatsar på batterilagring | ENERGINyheter.se](https://energinyheter.se/nyheter/jamtkraft-storsatsar-pa-batterilagring/).

Sammantaget är bedömningen att batterier kommer utgöra den stora majoriteten av den energilagringsskapacitet som tillförs elsystemet de närmsta fem åren.

Bilaga 1 innehåller en fördjupad analys av marknads- och teknikutveckling för batterier.

4.2 Pumpkraft

Pumpkraftverk utgörs till största delen av anläggningar där vatten pumpas upp till ett lager, en reservoar eller bassäng, för att sedan släppas ned till en lägre nivå genom en vattenkraftturbin som producerar el. Pumpkraftverk utgör ett mycket bra komplement till väderberoende elproduktion som vind- och solkraft eftersom vatten som pumpas upp till lagret kan bevaras där under mycket lång tid för sedan utnyttjas för elproduktion i perioder med låg vindkraftsproduktionen. Pumpkraftverk kan också användas som reserver t.ex. vid bortfall av andra generatorer. Genom att pumpkraftverken baseras på traditionella turbiner och generatorer kan de också bidra med rotationsenergi för att stabilisera elsystemet.

Internationellt har pumpkraftverk, vid sidan av vanlig vattenkraft där regn och snösmältning fyller magasinerna, varit den enda storskaliga lagringsteknik som varit kommersiellt tillgänglig. I Sverige undersöker några av de större energiföretagen möjligheterna att bygga fler pumpkraftverk, men det finns ingen utbyggnad som är nära förestående. Två svenska bolag, Mine Storage AB och SENS Sustainable Energy Solutions AB, arbetar med projekt och koncept kring idén om att bygga pumpkraftverk under jord i nedlagda gruvor. Principen bygger på att utnyttja gruvornas volym och fallhöjd och att skapa ett slutet system i gruvan där vatten kan lagras på olika nivåer beroende på om energilagret ska vara laddat eller urladdat.

Både SENS och Mine Storage uppger att de huvudsakliga intäkterna för pumpkraftverken kommer att vara flexibilitetstjänster, elhandel och erbjudande om kapacitetsreserv till elbolag. Bedömningen är dock att pumpkraft i det korta perspektivet inte kommer ha någon större betydelse för energilagring i Sverige även om enstaka anläggningar kan komma att byggas.

4.3 Svänghjul

Ett tungt svänghjul som bringas att rotera kan användas för att lagra energi i form av rotationsenergi. Denna kan användas för att åter producera el genom att driva en generator under korta perioder men också för att stabilisera elsystemet. Användningen av svänghjul för elproduktion har till stor del ersatts av batterier men deras förmåga att stabilisera elsystemet är av allt större

intresse. De tekniker som väderberoende förnybar elproduktion baseras på ger inte direkt den tröghet som elsystemet behöver för att drivas stabilt eftersom de inte är synkront anslutna utan genom kraftelektronik. För att kunna hantera situationer då andelen av denna elproduktion är hög har det internationellt åter börjat införas anläggningar avsedda för spänningsreglering baserat på synkront anslutna generatorer, s.k. synkronkompensatorer som ger högre rotationsenergi i näten. För att höja rotationsenergin ytterligare kan synkronkompensatorerna kombineras med separata stora svänghjul.

4.4 Vätgas

Vätgas ses som en viktig teknik på lång sikt, men bedöms inte vara relevant ur ett femårsperspektiv, vilket denna omvärldsanalys fokuserar på.

Vätgas kan produceras genom att med el spjälka vattenmolekyler till vätgas och syre i elektrolysörer. Huvuddelen av satsningarna på att producera vätgas med hjälp av elektrolys kommer att göras för att ersätta fossila insatsvaror inom industrin och för att ersätta fossila bränslen som kol, olja och gas i transportsektorn. De planer som finns på elektrifiering genom vätgas är mycket omfattande och kommer om de realiseras ge en väsentlig påverkan på elsystemet.

I en framtida situation där betydande delar av elproduktionen går till vätgasproduktion behöver den kunna användas flexibelt och för frekvens- och balanseringstjänster, genom att reglera vätgasproduktionen utifrån den aktuella situationen. Olika typer av elektrolysörer har olika tekniska förmågor men de snabbaste har tekniskt sett potential att leverera både korta och mer långvariga frekvensregleringstjänster. För att fullt ut kunna realisera behovet av flexibilitet krävs sannolikt stora vätgaslager för att hantera längre perioder med låg elproduktion. Utvecklingen av vätgas i mycket stor skala pågår och det är svårt att dra några tydliga slutsatser runt utveckling av vätgaslager.

Vid kontakt med olika aktörer, bland annat Hybrit och H2 Green Steel (H2GS), framkommer att de har olika strategier för vätgaslager. H2GS planerar att minimera investeringar i egna vätgaslager och strävar efter maximalt utnyttjande av elektrolysörerna. Därmed planerar de för lager med högst några timmars drift. Hybrit beskriver däremot vätgaslagren som en central del av satsningen på fossilfritt stål.

Vätgas kan också användas för att producera el i vätgasturbiner eller bränsleceller, även om de samlade energiförlusterna är mycket höga, och skulle i ett längre perspektiv kunna bidra med nyttor för elsystemet både i form av säsongslagring av el och genom ökad tillgång till planerbar elproduktion.

4.5 Olika utveckling av kort- och långvarig energilagring

Det går att dela upp lagring av el i tre segment, kortvarig lagring, långvarig lagring och mycket långvarig lagring.

Segmentet för kortvarig lagring består i nuläget till största delen av litiumjonbatterier och det är i hög grad fordonsmarknaden som driver teknikutvecklingen. Det är också den typen av batterier som i dag säljs till exempelvis fastighetsmarknaden och kraftbolagen.

Marknaden för kortvarig lagring i form av litiumjonbatterier expanderar för närvarande kraftigt. En stor drivkraft är Svenska kraftnäts stödtjänster, framförallt av FCR, i kombination med dagens höga och volatila elpriser. Det är betydligt lönsammare att investera i batterier i dag än för något år sedan och det bedöms ske stora investeringar i batterier av energibolag, fastighetsägare, industrier och riskkapitalbolag de närmaste åren. Utvecklingen av mycket långvarig lagring kan ses på samma sätt som kortvarig lagring. Den bygger i hög grad på investeringar som görs för industrin och där möjligheterna till energilagring och nytta för elsystemet snarast blir en biprodukt till omställningen från fossila energislag till förnybara.

Tekniker för långvarig lagring såsom pumpkraft, flödes- och järnluftbatterier, termiska lösningar, tryckluftslagring, lagring av flytande luft är huvudsakligen utvecklade för att stödja och balansera elsystemet. Det finns förvisso andra tänkbara användningsområden för vissa av teknikerna, men huvudsakligen kommer dessa typer av tekniker att användas direkt mot elsystemet.

Inom långvarig lagring sker i princip inga investeringar alls i dag. Det pågår emellertid aktiviteter, framför allt kring möjligheten att bygga pumpkraftverk under jord i nedlagda gruvor. Några av de stora kraftproducenterna undersöker fortlöpande möjligheterna att bygga eller uppgradera befintliga pumpkraftverk. Det ska understrykas att flera av de tekniker som borde kunna vara intressanta för Sverige är i en tidig kommersialiseringsfas och det är därför svårt att få information om och när de kommer att introduceras i Sverige.

När det gäller vätgas finns inga förväntningar på att det ska bli betydelsefullt som energilager på kort eller medellång sikt. Däremot råder det konsensus om att efterfrågeflexibiliteten baserad på vätgasproduktion och elektrolysörer kommer bli mycket betydelsefullt i ett framtida läge där det under vissa perioder förväntas råda en större produktion än efterfrågan av el.

5 Regelverket kring energilager och flexibilitetstjänster

Energimarknadsinspektionen har gjort en genomgång av regelverket kring flexibilitetstjänster och energilager. Genomgången redovisas i sin helhet i bilaga 2. De slutsatser som dras i detta kapitel är Svenska kraftnäts egna.

Det finns ett omfattande regelverk kring energilager och flexibilitetstjänster då de, som beskrivits tidigare i rapporten, kan användas för att fylla flera olika behov. Det handlar om att aktörer kan utnyttja prisskillnader på elmarknaden (dagen-föremarknaden) och om att flexibilitet kan användas för transmissionsnätföretaget för att säkerställa driftsäkerhet. Dit hör frekvensrelaterade stödtjänster som balansering, icke-frekvensrelaterade stödtjänster⁶ och hantering av överbelastning. Regelverken spänner således över allt från allmänna principer för elmarknaden, hur stödtjänster ska anskaffas till ägande av energilager. Huvuddelen av dessa bestämmelser är genomförda i svensk rätt sedan tidigare men nytt är delarna som rör icke-frekvensrelaterade stödtjänster och ägande av energilager. Under våren 2022 gav EU-kommissionen ACER i uppdrag att ta fram en ramriktlinje för en ny kommissionsförordning om förbrukningsflexibilitet. Under sommaren genomfördes en publik konsultation om ramriktlinjen. ACER ska överlämna EU-kommissionen i december 2022.

5.1 Flexibilitetstjänst som stödtjänst och avhjälpande åtgärder

Det är Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2019/944 av den 5 juni 2019 om gemensamma regler för den inre marknaden för el och om ändring av direktiv 2012/27/EU (elmarknadsdirektivet) som fastställer att en systemansvarig för överföringssystem ska upphandla stödtjänster för balansering genom transparenta, icke-diskriminerande och marknadsbaserade förfaranden. Ett sådant förfarande gäller även icke-frekvensrelaterade stödtjänster såvida inte tillsynsmyndigheten, i det här fallet Energimarknadsinspektionen, beviljat undantag då ett marknadsbaserat förfarande inte bedömts vara det mest ekonomiskt effektiva. Elmarknadsdirektivet har i dessa delar genomförts i Sverige genom ellagen (1997:857), förordning om elnätsverksamhet (2022:585) och lagen (2016:1146)

⁶ En stödtjänst som används av ett nätföretag för spänningsreglering i stationärt tillstånd, snabba inmatningar av reaktiv effekt, tröghet för upprätthållande av stabiliteten i lokalnät, kortslutningsström samt förmåga till dödnätsstart och till ödrift.

om upphandling inom försörjningssektorerna. I den senare fastslås den grundläggande principen att leverantörer ska behandlas på ett likvärdigt och icke-diskriminerande sätt samt att upphandlingar ska genomföras på ett öppet sätt. I ellagen finns sedan halvårsskiftet 2022 regler kring hur ett nätföretag ska anskaffa icke-frekvensrelaterade stödtjänster.⁷ Dispens från detta kan ges av tillsynsmyndigheten om det inte är ekonomiskt effektivt med marknadsorienterad anskaffning.

Om energilager nyttjas i form av tjänster i form av ändrad elförbrukning, så kallad efterfrågefleksibilitet, får nätföretaget, i enlighet med ellagen, inte ställa tekniska krav eller andra villkor som försvårar för tillhandahållandet av dessa tjänster. Dock får de krav ställas som behövs för en säker, tillförlitlig och effektiv drift av överföringssystemet.

Hur stödtjänster för balansering ska anskaffas och balansmarknaden organiseras fastställs ytterligare genom Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2019/943 av den 5 juni 2019 om den inre marknaden för el samt Kommissionens förordning (EU) 2017/2195 av den 23 november 2017 om fastställande av riktlinjer för balanshållning avseende el.

Hantering av överbelastning görs med avhjälpande åtgärder. Anskaffning av sådana regleras i Kommissionens förordning (EU) 2017/1485 av den 2 augusti 2017 om fastställande av riktlinjer för driften av elöverföringssystem (SO). För dessa gäller att de mest ändamålsenliga och effektiva avhjälpande åtgärderna ska väljas.

Sammantaget gäller att stödtjänster ska anskaffas genom ett marknadsmässigt förfarande såvida Energimarknadsinspektionen inte givit undantag, i de fall de kan ge undantag som för icke-frekvensrelaterade stödtjänster. För avhjälpande åtgärder finns inte samma krav på marknadsmässigt förfarande men generellt gäller att marknadsbaserade mekanismer så långt som möjligt ska användas för att säkerställa nätsäkerhet och nätstabilitet.

5.2 Ägande av energilager

I elmarknadsdirektivet fastställs huvudregeln att systemansvariga för överföringssystem inte tillåts äga, utveckla, förvalta eller driva energilagransläggningar. Direktivet medger att medlemsstaterna får tillåta undantag om energilagren är helt integrerade nätkomponenter, förutsatt att tillsynsmyndigheten har lämnat sitt godkännande eller om ett antal villkor är

⁷ Ett nätföretag är enligt ellagen den som bedriver nätverksamhet och ett transmissionsnätsföretag motsvarar en systemansvarig för överföringssystem i de europeiska regelverken.

uppfyllda som till exempel att inte anläggningen får användas för handel med el.⁸ Detta har genomförts genom ellagen (1997:857) där det fastställs att ett nätföretag inte får äga, utveckla, förvalta eller driva en energilagringsanläggning.⁹ Regeringen får dock meddela föreskrifter om att nätmyndigheten¹⁰ får bevilja dispens i enskilda fall från förbudet. Kompletterande bestämmelser ges av förordning (2022:585) om elnätsverksamhet.¹¹ Dispens kan ges exempelvis i de fall andra aktörer inte kan tillhandahålla tjänster för energilagring, energilagring behövs för att nätföretaget ska kunna fullgöra sina uppgifter som till exempel drift och att nätet är säkert, tillförlitligt och effektivt. Förtydligandet, att undantaget från huvudregeln gäller för helt integrerade nätkomponenter, har inte förts in i förordning (2022:585) om elnätsverksamhet. Sammantaget gäller alltså att Svenska kraftnät inte får äga, utveckla, förvalta eller driva energilager men att undantag kan ges av Energimarknadsinspektionen för helt integrerade nätkomponenter i vissa fall.

Ett internationellt exempel på där undantag medgivits från huvudregeln att systemansvariga för överföringssystem¹² inte får äga, förvalta eller driva energilager är i Baltikum där de systemansvariga förbereder att frikoppla elsystemet från Ryssland och Vitryssland. Synkroniseringen av de baltiska staternas kraftsystem med det kontinentala europeiska synkrona området planeras slutföras i slutet av 2025. Energilager i form av batterier har installerats vilka kommer bidra med balansering, spänningsreglering samt kapacitet.

⁸ Definition av helt integrerade nätkomponenter är nätkomponenter som är integrerade i överförings- eller distributionssystemet, däribland lagringsanläggningar, och som används uteslutande för att säkerställa säker och tillförlitlig drift av överförings- eller distributionssystemet, och inte för balansering eller hantering av överbelastning (elmarknadsdirektivet).

⁹ 3 kap. 39 och 40 §§ ellagen.

¹⁰ Energimarknadsinspektionen.

¹¹ 18-22 §§ ellagen.

¹² I svensk rätt motsvaras systemansvariga för överföringssystem av transmissionsnätföretag.

6 Aktuell forskning

Energimyndigheten har beskrivit relevanta forsknings- och utvecklingsaktiviteter inom lagring av el och flexibilitet, vilket presenteras i bilaga 3. De beskriver pågående större satsningar som programsatsningar, nationella kompetenscentrum och stora demonstrationer. Därutöver listar de exempel på avslutade och pågående forsknings- och utvecklingsprojekt inom följande områden:

- > Batterier
- > Vätgas
- > Termiska energilager
- > Övriga energilager
- > Lösningar för att möjliggöra storskalig förnybar elproduktion, till exempel vindkraftparker eller hybridparker (sol/vind/batteri)
- > Smart laddning av elfordon
- > Kraftvärme
- > Vattenkraft/pumpkraft
- > Efterfrågefleksibilitet från sektorn bebyggelse
- > Efterfrågefleksibilitet från industrin
- > Övriga projekt inom områdena digitalisering, cybersäkerhet, resiliens och sociala aspekter
- > Svenska kraftnät har en aktiv roll i några av exempelprojekten som tas upp. Bland annat är Svenska kraftnät en av de drivande aktörerna i CoordiNet och sthlmflex.

En övergripande slutsats från Energimyndighetens sammanställning är att det behöver bedrivas forskning och utveckling för att på sikt kunna hantera utmaningar kopplat till det nationella kraftsystemet, driften av detta och för att kunna påverka behovet av utbyggnad i transmissionsnätet. Exakt vilka fokusområden och lösningar som är mest relevanta för framtiden är dock svårt att avgöra i dagens läge. Några mer specifika slutsatser är:

- > Det behöver förtydligas hur nya lösningar kan bistå transmissionsnätet med olika typer av tjänster.

- > Flexibilitet i bebyggelsen, batterier och vätgas är lösningar som med vidare utveckling, aggregering och uppskalning har stor potential.
- > För att skapa mer innovation behöver det vara enklare att hjälpa transmissionsnätet med olika typer av tjänster.
- > Pågående forskning och utveckling visar att det finns många idéer och lösningar som kan komma till nytta om de får förutsättning för vidareutveckling och uppskalning.

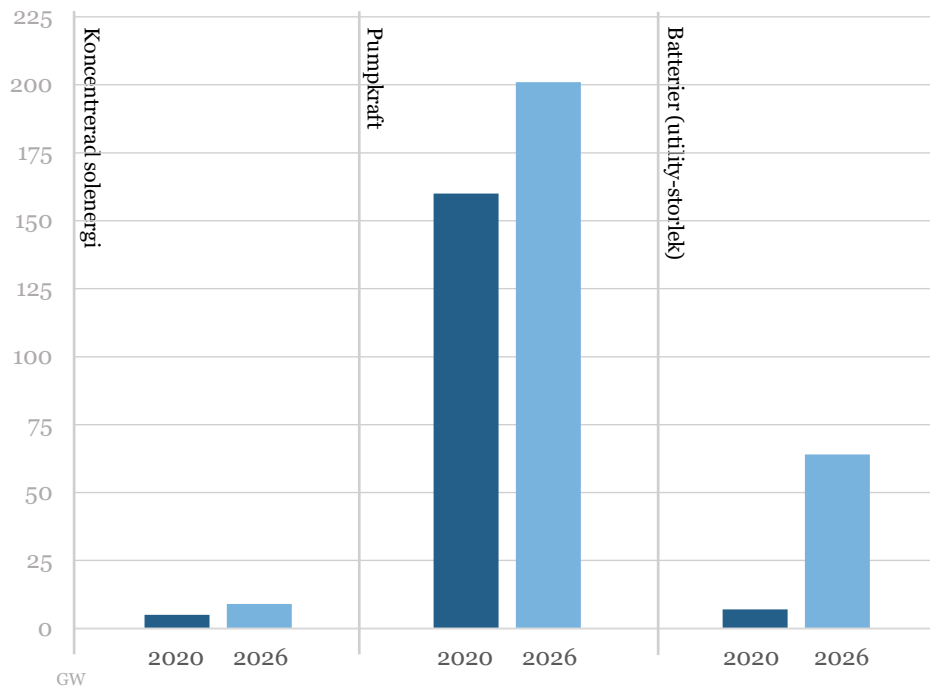
Bilaga 1. Tillväxt, teknik och marknad för energilager

Denna bilaga beskriver utveckling och marknad inom olika tekniker för lagring av el samt de tekniska och affärsmässiga förutsättningarna för energilagrens potential att bidra med flexibilitet i elsystemet. Begreppet energilager och energilagring används här som beteckning på olika typer av anläggningar som tar el från elnätet, lagrar den i olika former för att vid ett senare tillfälle åter mata in el till elnätet. En anläggning för energilagring har en viss lagringskapacitet och en viss effekt. Lagringskapaciteten beskriver den totala energimängd lagret kan hålla. Effektkapaciteten beskriver den momentana effekt som lagret kan ge när det används för att avge energi.

Beskrivningen har som utgångspunkt de energilagringstekniker som kan komma att få betydelse för elsystemet i Norden de kommande fem åren. Urvalet är gjort utifrån inom vilka teknikområden det kan finnas potential för investeringar och goda förutsättningar för projekt under de kommande åren. Fokus är på metoder som är etablerade internationellt och där det i dag sker betydande investeringar, alternativt stora investeringar i industriell utveckling. Metoder som befinner sig i ett forskningsskede eller tidigt utvecklingsskede berörs inte. Tekniker som i dag har liten betydelse, och som sannolikt kommer att minska i betydelse eller ha begränsad betydelse för elsystemet på nationell nivå, har inte inkluderats. Ett exempel på sådan teknik är blybatterier.

Global marknadsutveckling

Den globalt installerade lagringskapaciteten förväntas öka med 56 procent under de kommande fem åren för att till 2026 nå över 270 GW, enligt IEA. Den främsta drivkraften för utökad lagringskapacitet är det ökande behovet av flexibilitet och lagring, vilket i sin tur ger möjlighet att fullt ut utnyttja och integrera större andelar intermittent förnybar energi i elsystemet.



Figur 1. Global utveckling av energilager (IEA)

Under prognosperioden förväntas den installerade batterikapaciteten att sexdubblas, och i många av de största ekonomierna finns stora statliga incitament för att underlätta och accelerera investeringar i batteri och batteritillverkning. I USA driver federala skatteincitament på expansionen och i Kina finns långsiktiga regeringsmål om att batterilagringen ska femfaldigas mellan 2021 och 2026.

Av den globala expansionen av ellagringskapacitet väntas pumpkraftverk (Pumped Storage Hydro, PSH) stå för över 40 GW, vilket motsvarar 42 procent av den globala expansionen av energilagringens kapacitet. 2026 väntas PSH ha en total sammanlagd installationsvolym på 200 GW vilket innebär att PSH även fortsättningsvis kommer att vara den största källan till installerad ellagringskapacitet. Kina står för tre fjärdedelar av den globala PSH-kapacitetstillväxten.

Termisk lagring med koncentrerad solenergi (Concentrated Solar Power, CSP) väntas öka med 2,6 GW under prognosperioden. Det största enskilda projektet är Mohammed bin Rashid Al Maktoums Solar Park i Förenade Arabemiraten, som kommer att installera lager med en effektkapacitet på cirka 700 MW.

Det ska understrykas att installerad effekt inte ger någon fullständig bild av varje lagringstekniks potentiella nytta och användbarhet. De mest använda

litiumjonbatterierna används ofta för energilagring på kort sikt, mindre än fyra timmar. Pumpkraftverk och CSP tillhandahåller oftast lagringskapacitet på medellång eller lång sikt. När det gäller CSP är lagringen vanligtvis 5-15 timmar. För pumpkraftverk är lagringstiden normalt 5-175 timmar, och vissa installationer erbjuder ännu större lagringskapacitet. (IEA, 2021f) Att tidshorisonten varierar för de olika ellagringsteknologierna beror på deras olika prestanda och kostnadsbild.

Den globala ellagringskapaciteten förväntas öka med cirka 40 procent och nå 12 TWh år 2026, där pumpkraftverk står för en stor del. Det förväntas ske en kraftig expansion i Indien där över 2,5 TWh lagringskapacitet kommer att tas i drift genom användning av befintliga stora vattenreservoarer. En global ellagringskapacitet på 12 TWh pumpkraft skall dock sättas i relation till att konventionella reservoarvattenkraftverk globalt kan lagra upp till 1 500 TWh el. (IEA Special Hydropower Market Report)

En knapp fördubbling av lagringskapaciteten inom CSP är att vänta tack vare längre lagringstider (i genomsnitt tio timmar) för nya installationer som är under uppbyggnad i Kina, Förenade Arabemiraten, Marocko, Sydafrika, Chile och Grekland. Samtidigt förväntas den globala batterilagringskapaciteten att åttafaldigas till 2026.

Varken pumpkraftverk eller CSP kommer i det korta perspektivet ha någon större betydelse för energilagring i Sverige. Här förväntas istället batterier stå för nästan 100 procent av ökningen av den installerade lagringskapaciteten de närmaste åren. I Sverige undersöker dock några av de större energiföretagen möjligheterna att bygga fler pumpkraftverk, men bedömningen är att det inte finns någon utbyggnad som är nära förestående. Företrädare för kraftindustrin som har intervjuats uppger att en utbyggnad är motiverad och behövs men efterlyser ett tydligt politiskt stöd för att kunna hantera tillståndsprocesser och miljöprövningar framgångsrikt.

Tekniker av betydelse i ett femårsperspektiv

Batterier, framför allt litiumjonbatterier, är den energilagringsform som kommer att dominera utbyggnaden av ellager i Sverige i närtid om inget avgörande inträffar. Det är en lättillgänglig, flexibel och effektiv typ av lagring och tack vare den snabba elektrifieringen av transportsektorn finns det i dag en kostnadseffektiv volymproduktion av litiumjonbatterier, även om den globala konkurrensen om de ingående materialen är betydande. Nackdelen med denna typ av batterier, förutom att de är relativt resurskrävande att tillverka, är att kostnaden i princip ökar linjärt med ökad energikapacitet, något som endast gör relativt kortvarig lagring av energi ekonomiskt attraktivt.

Litiumjonbatterier används därför ofta för ellagring med en drifttid med full effekt i 1-4 timmar.

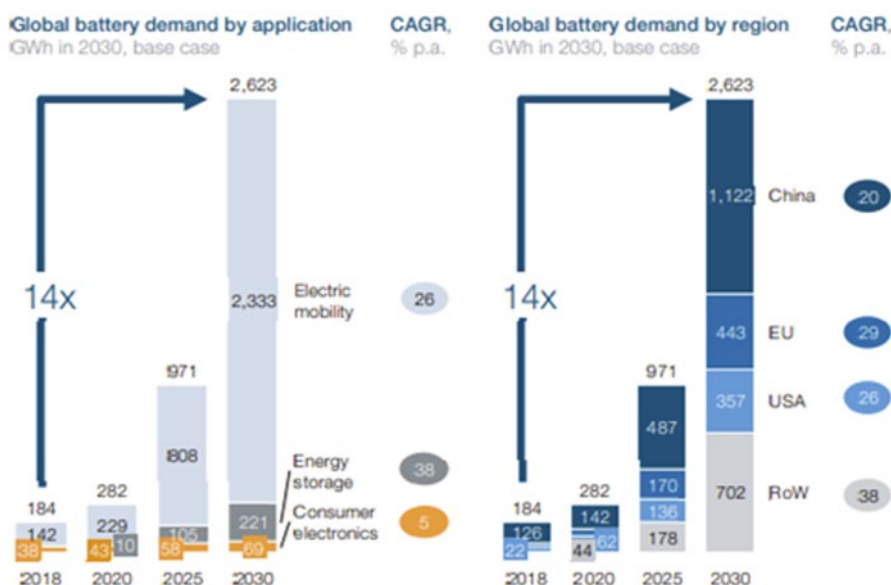
Det förändrade energilandskapet och den förändrade kraftmixen kommer att föra med sig nya utmaningar. Det är rimligt att anta att det även kommer att behövas lösningar för att konkurrenskraftigt lagra energi under längre perioder.

Batterier

Batterier kommer att vara avgörande för klimatomställningen framför allt inom transportsektorn, eftersom användningen av batterier är en nyckelfaktor för elektrifieringen av fordonsflottan. Batterier är också en möjliggörare i skiftet till en större andel förnybar elproduktion, baserad på vind- och solkraft, i kombination med en kraftigt ökad elanvändning.

Förväntad marknadsutveckling

Den globala efterfrågan på batterier förväntas öka från cirka 282 GWh år 2022 till cirka 2 623 GWh år 2030 enligt World Economic Forum. Detta motsvarar en tillväxttakt på cirka 25 procent årligen fram till 2030. Det är den snabba elektrifieringen av transportsektorn som driver på efterfrågan på batterier. Framför allt är det elektrifieringen av personbilar som driver utvecklingen av batterier, både avseende pris och teknisk prestanda.



Figur 2. Global batteriindustri, tillväxt per applikation och region till 2030 (A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030, World Economic Forum 2019)

Av den prognostiserade efterfrågan på batterier globalt år 2030 är nära 90 procent, eller 2 333 GWh, relaterat till transportsektorn. Av det resterande är huvuddelen relaterat till energilagring hos elproducenter, i fastigheter och industrier, medan en mindre del kommer att användas för konsumentelektronik.

Kraftigt sjunkande kostnader för litiumjonbatterier har varit helt avgörande för den snabba introduktionen av batterier på marknaden. Mellan 2010 och 2019 sjönk priset för litiumjonbatterier med 87 procent. Tack vare nya tillverkningstekniker och förenklad design för sammansättning av battericeller till batteripack förväntas priset sjunka ytterligare 30 procent fram till 2030. Men på grund av kraftigt ökade priser på råvaror som litium, kobolt och nickel ses nu dessa prognoser som mer osäkra.

Sedan slutet av 2021 har priset på batterier generellt ökat samtidigt som råvaru- och komponentbrist gjort leveranssituationen mer osäker. Priset på litium har till exempel ökat mer än 500 procent på ett år och priserna på kobolt och nickel har mer än fördubblats (Trading Economics).



Figur 3. Prisutvecklingen på litium (Capital.com 11 maj 2022)

Det ska understrykas att råvarumarknaden för dessa metaller historiskt har varit volatil med stora svängningar, och därför kan det vara svårt att förutse marknadsutvecklingen för råvaror relaterade till batterier.

Världsläget med Rysslands invasion av Ukraina och västvärldens ansträngda relationer till Kina kommer sannolikt att kortsiktigt påverka prisutvecklingen av batteriråvaror. Ryssland är i dag den dominerande leverantören av nickel,

och Kina bedöms ha 70-77 procent av världens kapacitet för att processa litium, men Australien och Chile är de främsta leverantörerna av litiumråvara.

Bedömare, såsom den europeiska lobbygruppen Transport & Environment, menar att tillgången på litium långsiktigt kommer att vara god. Gruppen hänvisar bland annat till US Geological Survey 2022, där jordens totala tillgångar på litium uppges vara 89 miljoner ton. Det kan jämföras med dagens utvinning som är cirka 100 000 ton per år.

Transport & Environment tror också att priset på litium kommer att stabiliseras på några års sikt. För närvarande är leveranssituationen av litium ansträngd, något som enligt Transport & Environment beror på att uppstart av nya gruvor för litium tar lång tid, efterfrågan har ökat kraftigt och samtidigt drabbades världen av covid-pandemin, men den ansträngda situationen bedöms vara kortsiktig. Transport & Environment pekar också på att gruv- och processindustrin för tillfället gör stora vinster på litium och att de sannolikt därför har ett intresse i att begränsa produktionsökningar. (Why Europe can secure enough critical raw materials, Transport & Environment, Maj 2022)

Litiumjonbatterier

Det finns ett brett spektrum av kemier för litiumjonbatterier. När det gäller kommersiella tillämpningar är nickelmangankobolt (NMC) och litiumjärnfosfat (LFP eller LifePO4 som ibland används) helt dominerande.

NMC-batterierna har hittills varit vanligast i fordon, vilket framför allt beror på att de har en hög energidensitet, det vill säga mängden elektrisk energi som kan lagras per viktenhet. Energidensiteten för NMC-batterierna är betydligt högre än LFP-batterier. LFP-tekniken har emellertid utvecklats och i dag skiljer det bara cirka 30 procent i energidensitet mellan de båda batterityperna. Detta, i kombination med höjda priser och en ökad miljömedvetenhet bland konsumenter, har gjort att biltillverkare har börjat undersöka möjligheterna att använda LFP-batterier som har en lägre klimatpåverkan. Ett exempel är att Tesla i april 2022 gick ut med information om att nästan halva bolagets produktion av batterier under första kvartalet 2022 utgjordes av LFP-baserade batterier. (mining.com)

NMC-kemin hade 2021 cirka 97 procent av elbilsmarknaden i Nordamerika och 94 procent i EU. (Benchmark Mineral Intelligence, BMI) I Kina står NMC för cirka 56 procent av elbilsmarknaden. Detta ska ses mot bakgrund av att Kina 2016 tog beslut om att subventionera införandet av LFP-batterier, på bekostnad av NMC-batterier, i vissa segment.

Kinas batteriproduktion är betydligt större men har samtidigt en produktion som riktar sig mot bredare segment och enklare tillämpning. Medan den västerländska produktionen framför allt riktar sig mot biltillverkare i premiumsegmentet riktar sig den kinesiska produktionen också mot tillverkare av enklare fordon.

För stationära energilager dominerar litiumjärnfosfat-kemin, det vill säga LFP-batterier. Jämfört med NMC-batterier har LFP-batterier lägre energidensitet, men är ändå fördelaktiga på grund av följande:

- > Brand- och explosionsrisken är lägre.
- > De kan hantera större variationer i temperatur än andra kemier.
- > De har längre livslängd och kan hantera fler livscyklar än ett NMC-batteri.
- > Batterierna är 15-20 procent billigare än batterier baserade på NMC.
- > De är miljövänligare eftersom de inte är beroende nickel, kobolt och mangan. Dessutom kräver de mindre energi vid tillverkningen.

Kinesiska CATL, som i dag är världens största tillverkare av litiumjonbatterier, håller tillsammans med Tesla på att ta fram ett LFP-batteri där de adderat mangan (LFPM) för att höja energidensiteten. Utvecklingen inom LFP och andra batteritekniker kan komma att innebära att behovet av nickel och kobolt kommer att minska eller försvinna helt i framtiden.

Nickelmetallhybridbatterier

Nickelmetallhybridbatterier (NiMH) användes tidigt i de första elhybridbilarna som kom för 20 år sedan. Även om litiumbatterier har kommit att dominera bilmarknaden så byggs det fortfarande bilar med NiMH-batterier, exempelvis Toyotas hybridbilar. I Sverige säljs det sedan några år tillbaka mindre nickelmetallhybridbatterier avsedda för småhusmarknaden. Den svenska tillverkaren Nilar har gjort betydande investeringar för att ta fram en ny typ av NiMH-batterier som ska kunna konkurrera med litiumjonbatterier på marknaden för stationära batterier.

Nilars batterier är prissatta på ungefär samma nivå som LFP-batterier. De har en något lägre energidensitet än de litumbaserade batterierna, men fördelarna är att de är 100 procent återvinningsbara och de kommer att ha en lång livslängd. Den höga livslängden kan uppnås tack vare en ny metod där syrgas används för att återställa elektrolysen i batteriet vid ett flertal tillfällen under batteriets livstid.

Natriumjonbatterier

De första fungerande natriumjonbatterierna utvecklades parallellt med litiumjonbatterier redan i slutet på 1970-talet. På 1990-talet visade det sig att litiumjonbatterier var mer kommersiellt intressanta för de tillämpningar, framför allt inom konsumentelektronik, som var aktuella då. På grund av ökad efterfrågan och kostnadsbilden för litiumjonbatteriråvaror har natriumjonbatterier sedan ett antal år upplevt ett nyväckt intresse.

Utvecklingen av litiumjonbatterier har varit framgångsrik och banat väg för många av de tillämpningar som finns i dag men de är beroende av dyra och svårtillgängliga råvaror. En annan nackdel är att de kan brinna explosionsartat vid höga temperaturer eller om de blir skadade.

Natriumjonbatterier kan tillverkas till en lägre kostnad på grund av billigare och mer lättillgängliga råvaror. Tekniken har nackdelar gentemot litiumjontekniken, exempelvis betydligt kortare livslängd, men samtidigt finns även fördelar, såsom bättre lågtemperaturprestanda och mindre risker för batteribränder.

Kinesiska CATL, som i dag är världens största tillverkare av litiumjonbatterier, har forskat länge på natriumjonbatterier. Bolaget gick i juli 2021 ut med information om att de kommer att satsa på storskalig tillverkning av natriumbaserade batterier.

Den stora nackdelen med natriumjonbatterier är att de har en relativt låg energidensitet, men i juli 2021 informerade CATL om att de lyckats ta fram ett nytt natriumjonbatteri med en energitäthet på 160 Wh/kg. Företaget uppger att det förväntar sig att energitätheten kan öka till 200 Wh/kg när storskalig kommersiell produktion börjar 2023.

För att sätta energitätheten i perspektiv har litiumjonbatterierna som används i Tesla modell 3 en energitäthet på cirka 260 Wh/kg, medan LFP-battericellerna som Tesla använder i modell 3 Standard Range (som tillverkas i Kina) har en täthet på cirka 200 Wh/kg.

Kostnaden för natriumjonbattericeller förväntas vara konkurrenskraftig gentemot LFP-celler. Enligt kinesiska mediakällor förväntas den första generationens celler komma att kosta 77 USD per kWh.

Natriumbattericellerna kan tillverkas med samma typ av cellproduktionsutrustning som litumbaserade celler vilket håller kostnaderna nere.

CATL har även meddelat att de utvecklat nya batterihanteringssystem som kommer att integrera litium- och natriumbatterier i samma batteripaket. På sikt innebär detta att de ska kunna skräddarsy batteripaket för exempelvis olika klimattyper och olika riskklasser.

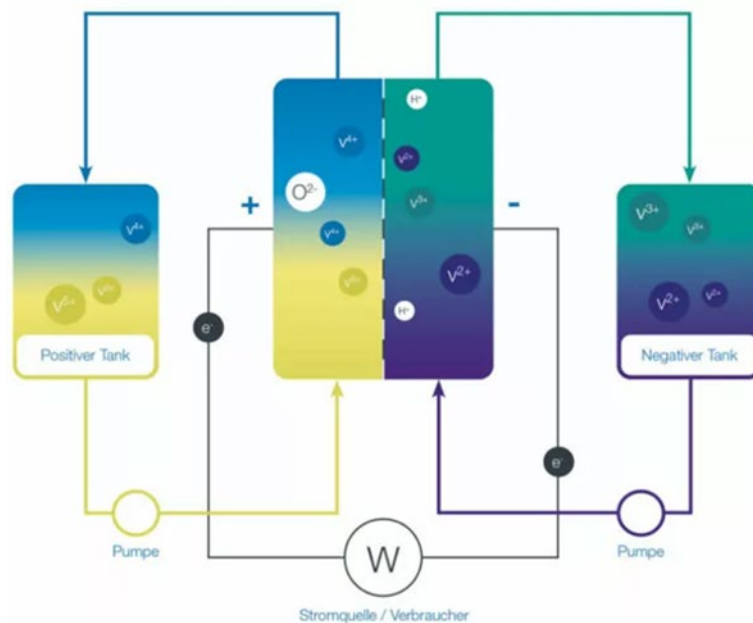
Om utvecklingen kommer till rätta med livslängdsproblemet kommer natriumjonbatterier sannolikt att kunna ersätta eller komplettera litiumbaserade batterier i stationära tillämpningar, som i energilager för elsystemet, där energitätheten är mindre viktig. Det kan också bli vanligt med hybrider där olika typer av kemier används i samma batteri.

Förutom CATL finns det ett antal mindre bolag som jobbar med utveckling av batterier eller batterikomponenter för natriumbaserade batterier. Ett av dessa bolag är svenska Altris som under 2022 bygger en produktionsanläggning för produktion av ett katodmaterial för nästa generations miljövänliga natriumjonbatterier.

Vanadin redox flödesbatterier

Ett av världens största batterier kopplades i maj 2022 in på elnätet i Dalian i norra Kina. Batteriet, som är ett vanadin redox flödesbatteri (VFB), kommer fullt utbyggt ha en effekt på 200 MW och en lagringskapacitet på 800 MWh. Detta kan jämföras med världens största litiumjonbatteri som finns söder om San Francisco och har en storlek på 400MW/1 600MWh.

Flödesbatterier använder en flytande elektrolyt som lagras i tankar. I VFB är denna elektrolyt sammansatt av vanadin löst i en stabil, icke brandfarlig, vattenbaserad lösning. Vanadin är en giftig och allmänt tillgänglig metall som vanligtvis används för att tillverka stål.



Figur 4. Principskiss Vanadin flödesbatteri (Enerox GmbH, Österrike)

Flödesbatterier består av två tankar med vätska. När vätskorna pumpas in i en reaktor flyter de två lösningarna intill varandra förbi ett membran och genererar en laddning genom att förflytta elektroner.

Flödesbatterier kan erbjuda nästan obegränsad energikapacitet genom att använda större elektrolytlagringstankar. De kan lämnas helt urladdade under långa perioder utan negativa effekter, vilket gör underhållet enklare än för andra batterier. På grund av dessa egenskaper kan VFP-batterierna reducera lagringskostnaden väsentligt. Batterierna blir av naturliga skäl ganska stora och de bedöms ha en energitäthet på 15-25 Wh/kg. På grund av den låga energitätheten lämpar batterierna sig bäst för stationära tillämpningar.

Kostnaderna för större anläggningar är i paritet eller något högre än motsvarande anläggningar byggda på litiumjonteknik. Dalian Rongke Power, som har byggt anläggningen i Dalian, har angivit en kostnad för projektet på 517 miljoner USD, vilket ger en total kostnad för projektet på cirka 650 USD/kWh. Ett flertal mindre företag marknadsför vanadiumbatterier i Europa, exempelvis tyska Volt Storage, österrikiska Enerox/Cellcube och danska Visblue.

Produkterna är i en tidig fas av kommersialisering och företagen anger att de kan specialanpassa lösningarna till enskilda kunder. Tekniken har levererats både i stora projekt och i små projekt lämpade för jordbruk och små industrier.

Det pågår en del produktutveckling inom flödesbatterier med alternativa elektrolyter som bas. Ett intressant exempel är järn-saltbatterier som hos Volt Storage utvecklas parallellt med VFB-batterierna.

Mycket talar för att flödesbatterier har en intressant framtid, inte minst på grund av att de är miljövänliga och använder sig av relativt lättillgängliga metaller. Batterierna är nära 100 procent återvinningsbara och har en lång livslängd samtidigt som prestandan inte sjunker med tiden. Batterierna är också väldigt robusta. De är okänsliga för temperaturförändringar, behöver begränsat underhåll och kan stå oanvända längre tider utan att skadas. De är dessutom inte brandfarliga vilket ger stor flexibilitet vid uppförande.

Nackdelarna med flödesbatterierna i dag är, förutom låg energidensitet och relativt högt pris, att verkningsgraden är betydligt lägre än för motsvarande litiumjonbatteri. Ett typiskt flödesbatteri har 70-80 procent verkningsgrad.

Trots nackdelarna kan VFB-batterier förväntas bli intressanta, speciellt i tillämpningar där mycket energi behöver lagras länge, exempelvis för att stödja elnätet. Beroende på kostnadsutvecklingen kan flödesbatterier på sikt bli ett intressant alternativ till litiumjonbatterier i alla tillämpningar som inte kräver hög energidensitet.

Järnluftbatterier

Metallluftbatterier som bygger på billiga jordartsbatterier har en framtida potential med hög möjlig skalbarhet till låga kostnader för installerade system. Ett par miljarder kronor har under det senaste året investerats av Bill Gates, Jeff Bezos, Richard Branson och bolaget Accelor-Mittal, i det amerikanska utvecklingsbolaget Form Energy. Det senare företaget utvecklar ett järnluftbatteri med målsättningen att kunna leverera ett fungerande batteri för långvarig lagring av energi till en kostnad av max 20 USD per kWh, vilket skulle vara mindre än en femtedel av kostnaden för ett litiumjonbatteri.

Järnluftbatteriet är sammansatt av celler fyllda med tusentals järnpellets som utsätts för luft och därmed bildar järnoxid (rost). Syret avlägsnas sedan, vilket återställer järnoxiden till järn. Genom att kontrollera denna process kan batteriet laddas och laddas ur.

Järnelektroden är extremt hållbara och batteriet har potentiellt lång livslängd. Det skulle kunna klara upp till 10 000 hela cykler vilket motsvarar en livslängd på cirka 30 år. Järnluftbatterier är också motståndskraftiga mot överladdning, överström och partiell urladdning. Form Energy har inte släppt någon information om systemets verkningsgrad men andra källor uppskattar en verkningsgrad på 60 procent i den här typen av batterier.

Det finns i dag inga operativa installationer av järnluftbatterierna och Form Energy har varit sparsamma med extern information kring utvecklingen och verksamheten. Samtidigt fortsätter investerare att finansiera bolaget. Det första större projektet i kommersiell skala är planerat att tas i drift 2023 hos Great River Energy i Minnesota. Batterisystemet ska ha en total energilagringsskapacitet på 150 MWh och en effektkapacitet på 1 MW. Fokus för projektet är dels långlagring av energi för att kunna hantera kalla vintrar, dels att långsiktigt kunna garantera leveranser till energikrävande industri. Lyckas det skulle detta kunna vara en betydelsefull teknik för andra halvan av 2020-talet.

Den installerade basen i Sverige

I runda tal bedöms tio procent av den globala batteriproduktionen de närmaste åren att användas för stationära ändamål, alltså för energilagring hos elproducenter, i fastigheter och industrier. Denna del av batterimarknaden kan delas in i fyra segment:

- > Villamarknaden
- > Flerbostadshus, kommersiella fastigheter och industri
- > Kraftbolag
- > Övrigt, exempelvis reservkraft och telekom

Småhusmarknaden karaktäriseras av små batterier i storleksordningen 5-15 kW, som oftast köps i samband med investeringar i solpaneler och en laddpunkt för elbilsladdning. Marknaden är gynnad skattemässigt och en småhusägare är i dag berättigad till ett avdrag på 50 procent för fastighetsbatterier och laddpunkter, samt 15 procent i avdrag för solceller, något som föreslås höjas till 20 % från 2023¹³. Dessutom tillåts ett avdrag på inkomstskatten värt 60 öre per såld kWh.

En villaägares investering drivs ofta av en kombination av ekonomiska och värdegrundsbaserade faktorer. Under senaste åren, då elpriserna har varit låga, har återbetalningstiden för ett energilager varit lång. Ofta har motivet för en

¹³ Information på regeringens webbplats:
<https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2022/10/forslag-om-forstarkt-skattereduktion-for-installation-av-solceller/>.

investering varit det förmånliga skatteavdraget tillsammans med en vilja att kunna använda sin egen solceller mer effektivt och leva mera klimatvänligt, snarare än rent ekonomiskt.

De kraftigt höjda elpriserna under det senaste året har förändrat de ekonomiska förutsättningarna för energilagring i hemmen, speciellt i elområde 3 och 4. Många småhusägare kan i dag räkna hem en investering i ett energilagring på några få år om prisnivån ligger kvar.

Samtidigt upplever branschen för solceller, batterier och laddpunkter ett ökat intresse med kraftigt höjd efterfrågan. Under 2022 har marknaden upplevt kraftiga försäljningsökningar, men också präglats av brist på komponenter, prishöjningar och långa leveranstider. Andra orsaker till att energilagring blir mer intressanta är att energibolag i allt högre grad inför effekttariffer samt att fler småhusägare kommer att få tillgång till marknaderna för flexibilitetstjänster via aggregatorer.

När elnätsavgifterna övergår till effekttariffer innebär det att konsumenten faktureras baserat på den timme som har högst effekt i månaden. Med hjälp av ett batteri kan effekttopparna kapas och kostnaderna sänkas vilket blir ytterligare ett starkt argument för en batteriinvestering.

Flera aggregatorer erbjuder småhusägare möjlighet att delta på de olika frekvens- och stödtjänstmarknaderna. Checkwatt, som är en sådan aggregator, anger att intäkten kan bli i runt 3 500 kr per kW och år, baserat på att batteriet används för FCR-D. För ett normalstort batteri på 7 kW skulle detta innebära en intäkt på 24 500 SEK per år.

Under 2021 såldes, enligt statistik från Svensk Solenergi, cirka 1 600 batterier för energilagring i hem, och branschen räknar med en rejäl ökning under 2022.

Totalt bedöms det finnas omkring 5 000 installerade batterier vid årsskiftet 2022/2023. Om ett batteri i normalfallet är på 7 kW betyder det att den installerade volymen i Sverige inom det segmentet är omkring 35 MW.

Det bör nämnas att oberoende aggregatorer ännu inte finns i Sverige. Enligt elmarknadsdirektivet¹⁴ ska en aggregator kunna verka oberoende. Det vill säga att aggregatorn ska på ett icke-diskriminerande sätt ha tillträde till alla marknader utan att behöva medgivande från kundens befintliga elleverantör eller annan marknadsaktör. En kund ska kunna välja en aggregator oberoende

¹⁴ Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2019/944 av den 5 juni 2019 om gemensamma regler för den inre marknaden för el och om ändring av direktiv 2012/27/EU.

av sin befintliga elleverantör. Energimarknadsinspektionen lade våren 2021 fram ett förslag till regeringen om en anpassning av svenska regler till elmarknadsdirektivet. Förslaget är ute på remiss. Därefter kommer regeringen eventuellt med en proposition om införande av nya regler.

Segmentet för flerbostadshus, kommersiella fastigheter och industri har stora likheter med villamarknaden. Det har till stor del varit införandet av solceller som drivit marknaden. Vanligt förekommande storlek på batterier är 20-80 kW. Industrier och kommersiella fastigheter har ofta effekttariffer och därmed en god anledning att kapa effekttoppar. Det kan utgöra ett argument för att investera i energilager.

Förbrukningsmönstret kan vara ganska olika mellan olika typer av kommersiella fastigheter. Ofta sker förbrukning och produktion av solel samtidigt, vilket minskar behovet av att flytta förbrukning i tiden, så kallad power shifting. I större bostadsfastigheter där förbrukningsmönstret är liknande det i småhus finns emellertid det behovet.

Utbyggnaden av laddinfrastruktur för elbilar kommer sannolikt leda till att fler fastighetsägare och bostadsrättsföreningar intresserar sig för investeringar i batterier. Likaså kan de nya reglerna för energidelning mellan fastigheter, där det blir möjligt att bygga mikronät i hela stadsdelar, göra fastighetsbatterier mer intressanta för större fastigheter och industrier.

Till skillnad från småhusmarknaden finns inga direkta subventioner för investeringar i batterilager för stora fastigheter och industrier. Däremot finns skatteavdrag för egenproducerad överskottsel även för juridiska personer. Detta gäller för anläggningar på max 100 ampere och för max 30 000 kWh per år.

En uppskattning baserad på diskussioner med branschföreträdare indikerar att den totala installerade volymen av fastighetsbatterier i större fastigheter och industrier kommer att vara i storleksordningen 10-15 MW vid årsskiftet 2022/2023.

Kraftbolagen är, enligt egen utsägo, i en tidig fas när det gäller investeringar i batterier. Många av de projekt som genomförts de senaste åren ses som pilotprojekt. Huvudsyftet med kraftbolagens investeringar i batterilager har varit att skapa flexibilitet i nätet och möjliggöra anslutningar i områden där överföringskapaciteten varit otillräcklig.

Vissa batterier har placerats i direkt anslutning till kraftproduktionen, dels för att skapa intern flexibilitet i nätet, dels för att hantera leveransen av balanstjänster till Svenska kraftnät. Exempelvis har Fortum installerat fyra batterier om totalt 33 MW för att huvudsakligen hantera snabba balanstjänster. Med batterierna kan även slitaget minskas på vissa turbin typer.

De batterier som installerats för att möjliggöra högre överföringskapacitet i nätet har placerats i anslutning till de förbindelser som utgör flaskhalsar i elsystemet. Ett exempel på batterianläggning som byggts för att hantera ett växande elbehov är Vattenfalls stora batteri i Gränby i Uppsala. Ett annat exempel är Boo Energis batteri i Saltsjö-Boo utanför Stockholm.

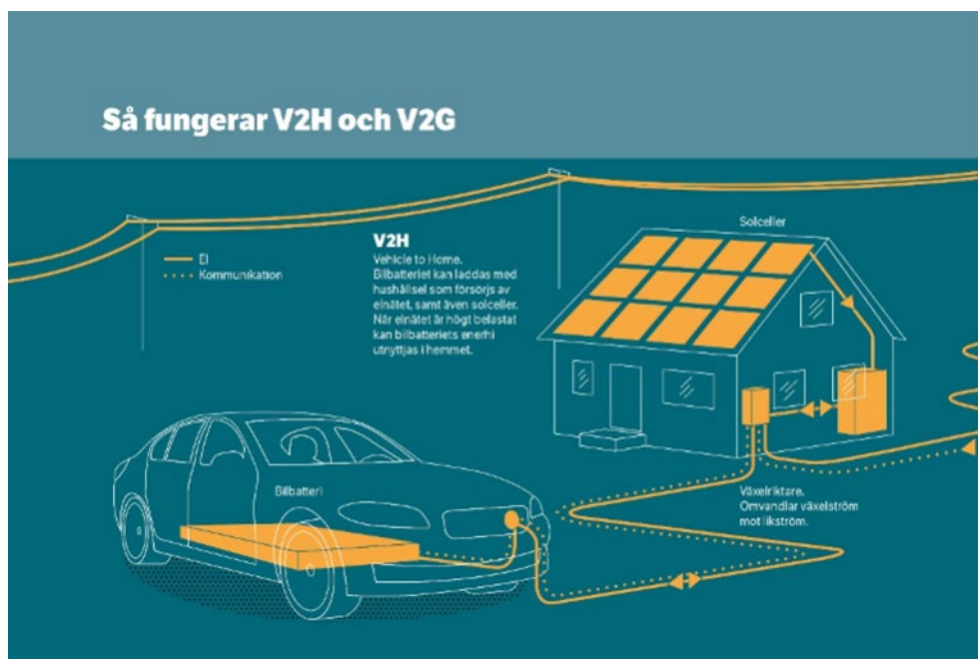
Uppskattningsvis kommer den totala installerade batterikapaciteten hos kraftbolag vara i storleksordningen 80-100 MW i slutet av 2022. Siffran är dock osäker. I dag finns inget centralt register över batterilager, men Energimyndigheten har fått i uppgift att under 2023 upprätta ett register över alla batterier på mer än 1 MW.

Ett flertal kraft- och energibolag kommer under 2022 och 2023 att göra investeringar och installationer av stora batterier och denna marknad växer kraftigt. Här bedöms det finnas möjligheter även för finansiella investerare och sannolikt kommer det att ske investeringar utanför energibolagen.

Flexibilitetsmarknaderna utgör i hög grad drivkraften för batteriinvesteringar, och detta i kombination med ett högt elpris har skapat ett stort intresse från många aktörer. Marknaden drivs också av energihandlare och kraftproducenter i samarbete med aggregatorer, som tillsammans erbjuder marknaden kompetens, digitala plattformar och en palett av tjänster kopplat till energilagring och flexibilitet.

Koncept för batterier i fordon

Runt 90 procent av den installerade volymen av batterier förväntas vara placerade i olika typer av fordon. Det gör att koncepten Vehicle-to-the-Grid (V2G) och Vehicle-to-the Home (V2H) är intressanta. I nuläget finns det några hinder för en större utbyggnad av V2G och V2H. Det är bara ett fåtal biltillverkare, Nissan, Hyundai/Kia och Mitsubishi, som har tagit fram bilmodeller med batterier som lämpar sig för dessa koncept. Ett flertal biltillverkare såsom Tesla är i dag tveksamma till applikationen eftersom den skulle kunna påverka livslängden och/eller batteriets funktion. Även affärsmodellerna skulle kunna påverkas. I Teslas fall skulle vissa kunder kunna åka och ladda gratis eller till ett lågt pris på snabbladdningsstationer och sedan använda elen i hushållet alternativt sälja den via elnätet.



Figur 5. Illustration från tidningen Energi.

I dag saknas också laddstolpar för V2G och V2H. De laddstolpar som säljs i dag saknar funktionalitet för att ladda ur el ur batteriet och föra in den i hushållsnätet. För att kunna göra detta behövs laddutrustning som är bidirektionell. Tekniken för bidirektionell laddning finns, men den är betydligt dyrare och mer avancerad än en konventionell laddare. En standard¹⁵ för både bilar och laddstolpar har tagits fram och kommer att vara basen för framtida utbyggnad av tekniken.

De fastighetsbatterier som i dag säljs till villamarknaden har en lagringskapacitet på 10-15 kWh medan batterierna i de vanligaste elbilarna har lagringskapaciteter på mellan 40 kWh (Nissan Leaf) och 100 kWh (Tesla Model S Long Drive). För en elbilsägare innebär möjligheten att använda sitt bilbatteri som kraftkälla i hemmet att hen får ett betydligt större och mer kraftfullt energilager kopplat till sin fastighet.

Vanligtvis ligger en batteriinvestering för en villa på i storleksordningen 80-100 000 kronor för ett batteri på 10-15 kWh. För ett batteri på 80 kWh är marknadspriset omkring 400 000-450 000 kronor. Storleken på ett sådant batteri motsvarar storleken på en av de mest sålda elbilarna, Tesla 3 Long Range.

¹⁵ ISO 15118.

När standarder och produktutbud för V2G och V2H är etablerade finns det potentiellt ekonomiska fördelar för privata fastighetsägare, som då kan köpa en elbil och få ett stort fastighetsbatteri ”på köpet”. Laddaren kommer dock att kosta 10 000-25 000 kronor extra och bilen kan även behöva anpassad utrustning vilket kan kosta ytterligare några tusen kronor.

Bostadsrättsföreningar, kommersiella fastigheter och industrier kommer sannolikt även kunna ha nytta av detta. Nya regler¹⁶ infördes från årsskiftet 2021/2022 när det gäller energidelning mellan fastigheter. De nya reglerna kommer troligen resultera i nya intressanta möjligheter och ge upphov till lokala elnät, där V2G kan komma att bli en viktig komponent.

Drivande för utvecklingen av V2G kommer sannolikt vara möjligheterna för privatpersoner och företag att bygga sina egna ”gröna lösningar”, det vill säga kombinera solceller eller annan förnybar elproduktion med möjligheten att använda egen el. En drivkraft kommer vara medvetenheten om att det är resurskrävande att tillverka batterier och att de därför bör utnyttjas maximalt.

När det gäller nyttan för nätet och som en bas för att leverera frekvens- och flexibilitetstjänster är V2G intressant. Power Circle har räknat ut att om en miljon fordon upplåter 10 kWh (cirka 15 procent) från sitt batteri räcker det för att under 20 minuter ge omkring 30 GW till nätet. Det kan jämföras med att Sveriges behov under topplasttimmen den kallaste vinterdagen kan vara 25-30 GW.

Dock bör det understrykas att en ”enkelriktad” laddinfrastruktur så som den byggs ut i dag, redan har ett stort potentiellt värde för flexibilitetstjänster. Stora nyttovärden kan uppnås genom att styra elbilsladdningen med hänsyn till elnätets kapacitet.

Priser på batterier

En rundfrågning indikerar att priserna i Sverige på stationära batterier under det senaste året, inklusive installation av kraftbolag, har legat på ca 5 000-6 000 kr/kWh för stora batterier på över 1 MWh. Motsvarande pris för fastighetsbatterier i storleksordningen 7-50 kWh, inklusive installation, ligger på 8 000-10 000 kr/kWh.

¹⁶ Förordning om ändring i förordningen (2007:215) om undantag från kravet på nätkoncession enligt ellagen (1997:857).

Motsvarande kostnad för batterierna i en bil hamnar på 3 500 kr/kWh. Räkneexemplet utgår ifrån att batterierna i en elbil står för cirka 40 procent av elbilens kostnad och att priset är 700 000 kronor för en Tesla 3 Long Range med 80 kWh batteri. Bilindustrin anger att tillverkningskostnaden för själva batterierna ligger på 120-140 USD, alltså 1 300-1 500 kr/kWh.

Prisbilden indikerar att kostnaden för framför allt fastighetsbatterier och stora batterier borde kunna sjunka på sikt. För tillfället är marknaden i ett läge där efterfrågan är stark men på några års sikt borde prisskillnaderna mellan batterier för olika ändamål jämnas ut. Detta ska också ses mot bakgrund av att det sker betydande investeringar i batterifabriker inte minst i Sverige. Det håller också på att skapas en andrahandsmarknad för bilbatterier, som inte längre har tillräcklig kapacitet för bilar men som kan återbrukas för stationära ändamål.

Pumpkraftverk

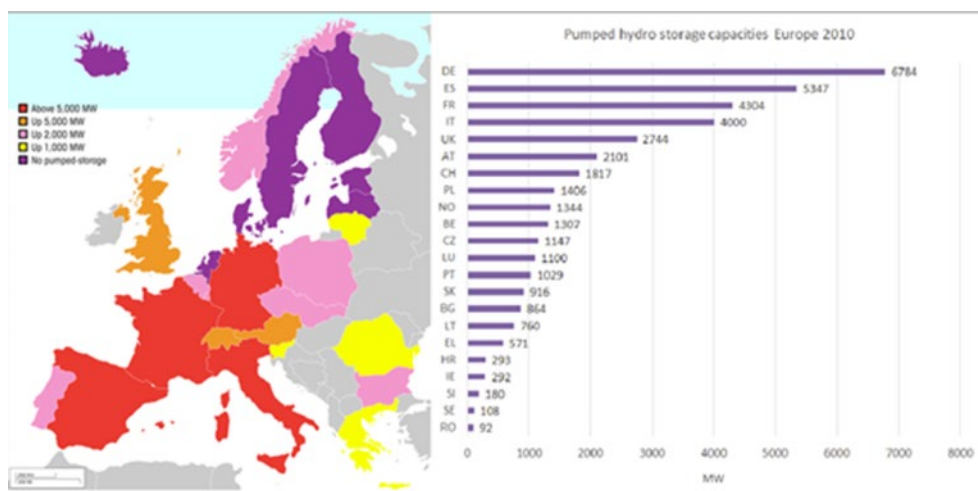
Pumpkraftverk bygger på principen att vatten pumpas upp till en högre liggande vattenreservoar när det råder överskott på el och släpps ner igen för att driva en generator när behovet av el är större. Pumpkraftens effektivitet ligger på 70-75 procent och är den mest mogna och utbredda tekniken för storskalig energilagring, bortsett från naturliga kraftverksdammar.

Pumpkraftverk är ett bra komplement till exempelvis vindkraft eftersom vatten som pumpas upp kan bevaras på den nivån under mycket lång tid för att successivt användas för att kompensera minskad vindkraftsproduktionen. Pumpkraftverk kan också användas som hjälpkraft när andra generatorer faller bort samt för att stabilisera frekvens och andra parametrar för elkvalitet. Pumpkraftverk har, vid sidan av vattenkraft, varit det enda storskaliga lagringsteknik som varit praktiskt tillgänglig.

Det finns gott om anläggningar med kapaciteter från tiotals MW till flera GW i de flesta länder i den industrialiserade världen. Pumpkraftverken har varit oerhört viktiga i länder som exempelvis Japan, som av geografiska skäl varit tvungna att förlita sig på internt producerad el. Pumpkraftverken har också varit viktiga i Europa där näten länge bestod av ett stort antal regionala nät som haft svaga sammankopplingar med omgivande nät.

I Norden där Sverige, Norge, Finland och Danmark är integrerade i en väl fungerande elmarknad har situationen varit annorlunda. Här finns också väletablerade mekanismer för gränsöverskridande samarbete mellan TSO:er, och mer än hälften av den årliga elproduktionen kommer från vattenkraft.

Framför allt Sverige och Norge har haft betydande lagringskapacitet i vattenkraftverken vilket har gjort att det har gått att hantera fluktuationer utan andra energilager än vattenkraftverkens reservoarer. För att hantera säsongsmässiga skillnader mellan tillflöden från regn och snösmältning, något som även kan variera kraftigt mellan olika år, finns betydande lagringskapacitet tillgänglig i båda länderna (Sverige: 34 TWh, Norge: 85 TWh). (Eurelectric, 2011). De är utformade för att ha stor långsiktig flexibilitet.



Figur 6. Lagringskapacitet, pumpkraft i Europa 2011 (vänster figur) och 2010 Insight Energy (höger figur).

Befintliga anläggningar

I Sverige finns dessutom tre pumpkraftverk. De drivs av Fortum och är belägna i norra Värmland.

Störst är **Kymmens kraftverk** som ligger i Norsälven i Sunne kommun. Kraftverket togs i drift 1986. Anläggningen består av ett magasin, sjön Kymmen, samt ett pumpkraftverk i berget. Magasinet fylls delvis på genom överledning av vatten från Stora Gransjön och Skallbergssjön samt genom pumpning från Rottnen. Anläggningen har en fallhöjd på 85 meter och en kapacitet på 55 MW.

Kymmen har en reversibel pumpturbin, vilket innebär en turbin för både pumpning och elkraftgenerering. Denna kan manövreras på distans och hanteras så att pumpning och kraftgenerering anpassas efter elpriset. Den kan också med lätthet användas för flexibilitetstjänster och för effektstöd. Genomsnittligt antal pumptimmar är 800-1 000 timmar och antalet elproduktionstimmar cirka 1 500-2 000 timmar per år.

Lettens kraftverk ligger i Lettälven i Torsby kommun och det togs i drift 1956. Det har en fallhöjd på 191 meter och en kapacitet på 36 MW.

Lettens kraftverk är inte ett modernt pumpkraftverk som på ett enkelt sätt kan växla mellan pumpning och kraftgenerering. Pumpkraftverket byggdes huvudsakligen för säsongslagring, alltså för att kunna pumpa tillbaka och lagra delar av vårfloden. På grund av begränsade magasinmöjligheter i Klarälven behövdes pumpkraftverket för att kunna ta vara på vårfloden.

Huvudsyftet har inte varit att bidra med effektstöd och elhandel utan att öka verkningsgraden, inte bara i Lettens kraftverk utan i samtliga åtta kraftverk som ligger nedströms i Klarälven.

Letten har separat pump och turbin och hanteras på traditionellt sätt genom manuella handgrepp för att skifta från pumpning till kraftgenerering. Det är alltså inte praktiskt möjligt att använda kraftverket för kortvariga flexibilitets- och effekttjänster. Antalet pumptimmar per år är i storleksordningen 800-1 000 och antalet produktionstimmar 2 000-2 500 per år.

Eggsjöns kraftverk ligger i Tåsan i Torsby kommun, och det togs i drift 1957. Karlstad kommun äger 60 procent av kraftverket. Det har en fallhöjd på 17,7 meter och en kapacitet på 0,6 MW.

Potential

Det har tidigare funnits ett betydligt större pumpkraftverk i drift i **Juktans kraftverk** som ligger mellan sjöarna Storjuktan och Storuman i övre delen av Umeälven. Det färdigställdes 1978 och kraftverket var det första och hittills enda riktigt stora pumpkraftverket i Sverige. 1996 byggdes dock Juktan om till ett vanligt vattenkraftverk och har sedan dess används som ett sådant. Det har en fallhöjd på 275 meter och turbinen har en kapacitet på 355 MW.

Juktans ägare Vattenfall utreder nu möjligheten att återställa kraftverket till ett pumpkraftverk. Tidigast 2031 skulle anläggningen kunna tas i drift som pumpkraftverk.

Juktan skulle, om det återställs, vara större effektmässigt än alla batterier som finns installerade i fastigheter, industrier och kraftbolag i dag. Kraftverket har dessutom en enorm lagringskapacitet på 25 000 MWh vilket innebär att det potentiellt skulle kunna bidra med 250 MW i 100 timmar.

Även Fortum undersöker fortlöpande möjligheterna att starta nya pumpkraftverk i Sverige. Bolaget anser att det finns gott om potentiella platser för nya lönsamma pumpkraftverk, både på nya platser och vid redan befintliga kraftverk.

Den underliggande principen bakom pumpkraftverk utvecklas även i andra applikationer. Två svenska bolag, Mine Storage AB och SENS Sustainable Energy Solutions AB, arbetar med projekt och koncept kring idén om att bygga pumpkraftverk under jord i nedlagda gruvor. Principen bygger på att utnyttja gruvornas volym och fallhöjd och att skapa ett slutet system i gruvan där vatten kan lagras på olika nivåer beroende på om energilagret ska vara laddat eller urladdat.

Både SENS och Mine Storage uppger att de huvudsakliga intäkterna för pumpkraftverken kommer att vara flexibilitetstjänster, elhandel och erbjudande om kapacitetsreserv till elbolag. Tanken är att varje anläggning ska drivas som ett separat driftsbolag och att kapitalanskaffning ska ske på den öppna marknaden.

Företagens huvudverksamhet kommer inledningsvis vara att hitta lämpliga platser, projektera och hitta investerare till de olika projekten. Mine Storage nämner att en normalt tid för utveckling av ett projekt kommer att vara cirka fem år. Företaget har gjort ett antagande om att exempelvis tillstånds- och miljöprövningsdelarna kommer att vara ganska omfattande.

En fördel Mine Storage trycker på är att systemen kommer att ha korta svarstider – under en sekund. De menar därmed att systemen kommer att vara lämpliga både för flexibilitetstjänster med krav på snabb respons och tjänster med krav på längre uthållighet.

SENS håller på att utveckla en pilotanläggning i en gruva på den åländska ön Lilla Båtskär och har bland annat fått en delfinansiering från Energimyndigheten för att färdigställa projektet. Gruvan har ett 250 meter djupt schakt. Längst ned finns en cirka 2 km lång tunnel som ska användas som nedre reservoar. Havet fungerar som övre reservoar. Havsvatten leds ner i schaktet genom en turbin som producerar el när elpriset är högt eller när det behövs reglerkraft till elnätet. När elpriset är lågt pumpas vattnet tillbaka upp till havet. Anläggningen beräknas ha en kapacitet på cirka 2 MW och kunna bidra med 2 000 MWh/år.

I Callio-gruvan i norra Finland håller ett större projekt på att prospekteras. I den nedlagda gruvan, som är Europas djupaste gruva för basmetaller med ett djup på 1 450 meter, ska en pumpkraftsanläggning byggas. Den beräknade byggtiden för anläggningen kommer att vara tre år och dess livslängd längre än 50 år. Baserat på den ekonomiska analysen och marknadsmodelleringen av Pöyry Energy GmbH skulle 75 MW elkraft och 530 MWh kapacitet vara den mest lönsamma. Installerad effekt från 50 MW till 400 MW har studerats. Den beräknade årliga intäkten för den anläggningsstorleken uppskattas hamna på cirka 9,5 miljoner euro per år.

Vätgas

Vätgas har vuxit fram som en nyckelkomponent för att klara omställningen inom bl.a. transportsektorn, samt process- och tung tillverkningsindustri, men lagrad vätgas kan även användas för att generera el.

2020 antog Europeiska kommissionen en vätgasstrategi¹⁷. I strategin slås fast att vätgasen spelar en avgörande roll för EU:s åtagande att uppnå koldioxidneutralitet till senast 2050 och att genomföra Parisavtalet. Strategin innehåller en ambitiös färdplan för utveckling av distribution, produktion och användning av vätgas. I Sverige är vätgas en nyckelfaktor i omställningen till fossilfri stålindustrin och det pågår diskussioner kring en helt ny infrastruktur som inbegriper produktion, transport, distribution och lagring av vätgas.

Vätgas kan skapas endast med vatten och elektricitet med elektrolys genom att spjälka vattenmolekyler till vätgas och syre. Det är i dag en relativt dyr teknik som kräver stora investeringar. Dagens teknik bygger till stor del på användning av ädelmetaller, framför allt platina, vilket också bidrar till de höga kostnaderna.

Det pågår omfattande forskning inom vätgasområdet, dels för att få fram metoder som använder billigare material i elektrolysören, dels för att få fram metoder för ökad verkningsgrad i processen. I dag går närmare 40 procent av energin förlorad genom elektrolysen.

Vätgasanvändning

Inom transportsektorn kommer bränslecellsbilar i viss mån konkurrera om det framtida utrymmet med batteridrivna bilar. Utvecklingen av batteridrivna fordon ligger långt före, men ett flertal större tillverkare av lastbilar och bussar samt några av personbilstillverkarna driver omfattande utvecklingsprojekt inom vätgasdrift.

Vätgastekniken kan komma att vara mest intressant för fordon med behov av långa räckvidder såsom tunga lastbilar, turistbussar och fartyg. Batterier kommer sannolikt att vara mest intressant för fordon där användningen inte kräver utvidgad räckvidd såsom personbilar, lokalbussar och lättare transportfordon.

Ett hinder när det gäller vätgasdrift är dagens brist på tankstationer. I dag finns det endast fyra kommersiella tankstationer i hela Sverige, vilket i praktiken gör det omöjligt för de flesta att använda sig av vätgasfordon. Emellertid har

¹⁷ Communication COM/2020/301: A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe.

Naturvårdsverket inom ramen för Klimatklivet beviljat 354 miljoner kronor i stöd för 24 nya tankstationer för förnybar vätgas i Sverige. Vätgasen kommer att produceras på plats och stationerna beräknas vara i drift 2025.

2025 är också året då flera lastbilstillverkare anger att de kommer att börja leverera vätgasdrivna lastbilar i Sverige för kommersiellt bruk. De första vätgasbåtarna håller på att projekteras i Norge och den första färjan med vätgasdrift ska tas i bruk under 2022. Världens första lastfartyg för vätgasdrift är projekterat till 2023 eller 2024.

Det sker en lång rad satsningar inom den svenska industrin med mål att ersätta traditionella fossila metoder med nya metoder baserade på vätgas, exempelvis:

- > HYBRIT satsar på fossilfritt stål med väte som reduktionsmedel och LKAB:s stora industrialisering av samma teknik för kolfri järnsvamp.
- > H2GS satsar på fossilfritt stål med väte som reduktionsmedel.
- > Ovako förbereder nästa demonstrationssteg för ståluppvärmning med fossilfritt väte.
- > Perstorps "Project Air" tillsammans med Fortum och Uniper som utvecklar en unik process för hållbar metanolproduktion genom att kombinera CCU (Carbon Capture and Utilisation) och förgasning.
- > Preem och St1 planerar ökad biobränsleproduktion med fossilfritt väte.
- > St1, Liquid Wind, Skellefte kraft och Jämtkraft förbereder sig för olika investeringar i elektrobränslen.
- > Nouryon/AkzoNobel planerar att ersätta fossilt väte med fossilfritt väte för sin väteperoxidproduktion.

Elproduktion från vätgas

Powercell, som är Sveriges största tillverkare av bränsleceller, uppger att försäljningen av stationära bränsleceller för elproduktion än så länge är mycket liten i Sverige och Norden. De marknader som markant växer just nu är de asiatiska med Indien och Kina i spetsen. Drivkrafterna i dessa länder är svaga elnät i kombination med stark tillväxt.

I Sverige tror Powercell att det kommer att ske en betydande uppbyggnad av vätgasinфраstruktur i samband med att vätgasdrift blir vanligare i de långa transporterna. Bolaget tror också att transporthubbar såsom logistikcenter och hamnar kommer att investera i vind- eller solkraftsdrivna elektrolysörer. Det

skulle därmed också bli naturligt för dem att investera i stationära bränsleceller för egen elproduktion och egna behov.

Andra områden där stationära elproducerande bränsleceller kan bli intressanta är på byggarbetsplatser och som reservkraft där det behövs tillgång till kontinuerlig el och där bränsleceller kan ersätta exempelvis dieselaggregat.

Vätgasturbiner är i dag inte lika väl utvecklade som bränsleceller men kan på lång sikt komma att ersätta konventionella gasturbiner i industriella lösningar. Det finns fortfarande utmaningar med att köra en gasturbin på 100 procent vätgas. Vätgasens egenskaper ger en mycket snabb förbränning och jämfört med metan hamnar lågan närmare spetsen på brännaren inne i maskinen. Det krävs därför avancerade lösningar för att kyla brännaren under processen. Siemens i Finspång ligger långt framme när det gäller att ta fram tekniker som möjliggör tillverkning av vätgasturbiner i större skala och det kan förväntas att sådana finns tillgängliga inom några år.

Det ska betonas att vätgas som energilager skiljer sig mycket gentemot övriga typer av energilager som beskrivs i denna rapport. De andra lagringsmetoderna är primärt skapade för lagring av el medan produktion av vätgas framför allt förväntas ske för att ersätta fossila bränslen som gas, kol och olja. Givet att infrastruktur och lagringskapacitet finns för de ändamålen kan dock elproduktion som en extra intäktskälla komma att bli av intresse.

En nackdel med vätgas som ellager är den låga totala verkningsgraden, runt 30 procent, med stora förluster i elektrolysörer, vätgaslager, bränsleceller och turbiner för cykeln el-vätgas-el. I en situation med mycket stor elprisvolatilitet som kan följa med stora mängder vind- och solkraft kan det dock finnas potential i att tillverka mer vätgas i perioder med lågt eller t.o.m. negativt elpris för att sälja det som el i när priset åter är högt.

Det finns emellertid områden där elproduktion med hjälp av vätgas skulle kunna vara effektiv, exempelvis i fastigheter eller områden där det redan finns en vätgasinfrastruktur och där en bränslecell skulle kunna användas som ett batteri eller för reservkraft. Andra tydliga tillämpningar är i områden utan eller med otillräcklig nätanslutning i kombination med sol- eller vindkraft.

Det skulle också vara naturligt att byta ut de bränslen som i dag används i gasturbiner mot vätgas eller en blandning av exempelvis vätgas och biogas. Ett exempel skulle kunna vara de gasturbiner som i dag levererar el till störningsreserven och stödtjänster såsom mFRR för det svenska kraftnätet. Det ska dock betonas att de befintliga gasturbinerna används väldigt lite och att de potentiella miljövinster troligen inte är tillräckliga för att stora investeringar ska kunna motiveras.

Lagring av tryckluftsenergi (CAES)

En vanlig typ av anläggning för lagring av tryckluftsenergi använder elmotordrivna kompressorer för att trycka in luft i en underjordisk reservoar. Den komprimerade luften släpps senare ut genom en turbingenerator för att generera elektricitet tillbaka till nätet. Den komprimerade luften från luftlagret förvärms och förs in i en av flera brännare. I brännkammaren eldas naturgas för att ytterligare värma luften och de heta, expanderande gaserna används för att driva expansionsturbiner. Dessa turbiner är kopplade till en generator som producerar el till nätet.

Det finns endast två stora anläggningar för lagring av tryckluftsenergi i världen i dag. Båda är gamla och har varit i drift i många år. Anläggningen i Huntorf nära Bremen i norra Tyskland har en funnits sedan 1978 och kan leverera cirka 290 MW reservkraft i upp till fyra timmar. Systemet används ungefär hundra gånger per år. Den andra anläggningen finns i McIntosh, Alabama, och är på cirka 110 MW. Den anläggningen togs i bruk 1991.

Anläggningarna lagrar luft i underjordiska saltgrottor, som skapats genom att vatten pumpas in och salt därefter utvinns därigenom utvunnit saltet. Denna typ av lämpliga underjordiska saltformationer är ganska ovanliga och det är svårt att hitta andra typer av underjordiska håligheter som är tillräckligt täta. Detta har varit begränsande och inga nya anläggningar har tagits i bruk de senaste decennierna.

Det ska understrykas att de båda anläggningarna som finns i dag är inte helt fossilfria eftersom de använder sig av naturgas som en del av processen. De har också relativt låga verkningsgrader på 40-50 procent. Med moderna metoder, som bland annat medger återvinning av en del av värmen i processen, går det att komma upp i bättre verkningsgrader.

En adiabatisk form av CAES, som inte kräver användning av naturgas, är för närvarande i forsknings- och utvecklingsfasen. Skillnaden är att det adiabatiska tillvägagångssättet bevarar värmen från kompressionssteget och utnyttjar den i expansionssteget. Därmed behöver inte naturgas användas i processen. På så sätt uppnås en högre verkningsgrad samtidigt som koldioxidutsläppen minimeras. Det finns i dag experimentanläggningar som har verkningsgrader på 66-70 procent och sannolikt går det att uppnå verkningsgrader i den storleksordningen även i kommersiella anläggningar.

Med den gröna omställningen och ett ökat behov av energilagring är det många aktörer internationellt som ser CAES som en möjlig lösning. I Danmark till exempel, där det finns lämpliga geografiska förutsättningar framför allt i

områden kring Limfjorden i norra Jylland, tittar danska Energinet på möjligheterna att kombinera vätgastillverkning och lagring med CAES.

Det finns potentiellt en del synergier mellan vätgaslagring och anläggningar för lagring av tryckluftsenergi. Dels kan vätgas ersätta naturgas i processen för att producera el, dels är de områden som har tillgång till naturliga saltreservoarer potentiellt även lämpliga för vätgaslagring.

Sverige saknar naturliga saltreservoarer men förutsättningarna för lagring av tryckluft i sandstensreservoarer på södra Gotland har utretts i en undersökning av Lunds universitet¹⁸. Utredningen visar att lagring av tryckluft skulle kunna vara möjligt där.

Energilagring med hjälp av flytande luft (LAES)

Principen för LAES liknar den för lagring av tryckluftsenergi, men här används elen för att kyla luft ända tills den kondenserar. Då kan den lagras effektivt för att sedan återföras till ett gasformigt tillstånd och användas för kraftproduktion. Kryogen energilagring (CES) är ett annat namn för flytande luftenergilagring (LAES). Termen "kryogen" avser processen med att skapa extremt låga temperaturer.

Laddningssystemet är en luftkondensator, som använder elektrisk energi för att dra luft från den omgivande miljön, rengöra den och sedan kyla ned luften tills den blir flytande. 700 liter omgivande luft blir 1 liter flytande luft. Den flytande luften lagras i en isolerad tank vid lågt tryck, som fungerar som energilager. Denna typ av utrustning är redan globalt använd för bulklagring av flytande kväve, syre och LNG.

När el ska produceras dras flytande luft från tanken och pumpas till högt tryck. Luften förångas och överhettas till omgivningstemperatur. Detta ger en högtrycksgas som sedan används för att direkt driva en turbin.

Det engelsk-amerikanska bolaget Highview Power är ledande när det gäller teknisk och kommersiell utveckling av tekniken, och bolaget marknadsför sin produkt under namnet CRYOBattery. Bolaget har tagit in 1,5 miljarder SEK i riskkapital de senaste åren och har bland annat byggt en testanläggning i närheten av Manchester som kan lagra 15 MWh. Ytterligare en anläggning med energilagringsskapacitet på minst 250 MWh och en effekt på 50 MW håller på att färdigställas i ett annat område utanför Manchester.

¹⁸ Sopher et al. (2019) Evaluation of the subsurface CAES potential on Gotland.

De fördelar som framhålls med LAES är lång livslängd och relativt lågt pris. LAES-system förlitar sig på välkända och beprövade komponenter inom process- och energiindustrin där en anläggning beräknas ha en livslängd på minst 30 år. Kostnaden för en anläggning uppges vara cirka 1 500 kr/kWh för stora anläggningar. Det är en betydligt lägre kostnad jämfört med en motsvarande litiumjonbatterianläggning.

En annan fördel är att en anläggning, precis som ett batteri, är geografiskt obunden och i princip kan byggas var som helst. Dessutom kan anläggningen leverera flexibilitetstjänster på samma sätt som en traditionell gasturbin.

Nackdelen är en relativt låg verkningsgrad på 50-60 procent. Tekniken kommer att vara mer intressant i tillämpningar där värmen kan användas för exempelvis industriella ändamål eller fjärrvärme.

Svä nghjul

Förnybara energikällor som vind- och solkraft använder transformationstekniker som inte ger den tröghet, rotationsenergi, som behövs för att kunna hålla elsystemet stabilt. För att kunna införa gröna lösningar i näten har det internationellt börjat införas synkronkompensatorer som ger högre rotationsenergi i näten. För att höja rotationsenergin ytterligare kombineras synkronkompensatorerna ibland med stora svä nghjul. Världens största svä nghjul har levererats av Siemens till Irland för att stabilisera landets kraftnät. Svä nghjulet väger 177 ton och ökar den maximala rotationsenergin med upp till 6-7 gånger.

Synkronkompensatorer är en nygammal teknik som byggdes framför allt på 50- och 60-talen för att stabilisera elnäten, men i slutet av 70-talet slutade den här typen av teknik att byggas. I takt med utbyggnaden av förnybara energikällor förväntas dock synkronkompensation, ibland kombinerat med svä nghjul, bli allt vanligare. I det svenska transmissionsnätet finns inga fungerande synkronkompensatorer i dag. Den sista synkronkompensatorn togs ur drift runt 2017, men Svenska kraftnät har studerat hur en ny generation av synkronkompensatorer skulle kunna användas i det svenska transmissionsnätet.

Svä nghjultekniska lösningar som används för spänningskvalitetsapplikationer kan komma att bli mer intressanta i och med omställningen till förnybara energikällor. Emellertid har litiumjonbatteriernas kraftigt sjunkande priser och ökade användningsområden gjort att batterilösningar eller rena kraftelektronikanläggningar är ett konkurrenskraftigt alternativ.

Svängghjul har också varit vanligt förekommande som reservkraft för datacenter, sjukhus och andra anläggningar som är känsliga för strömavbrott. Dessa bygger på att den lagrade rotationsenergin driver en generator som producerar el när elen från nätet faller bort. Det säljs fortfarande s.k. UPS-anläggningar baserade på svängghjuls teknik, men också här har lösningar baserade på litiumjonbatterier har blivit allt vanligare och delvis konkurrerat ut svängghjuls lösningar.

Termisk lagring

Internationellt finns flera exempel på storskaliga lösningar med koncentrerad solkraft kombinerad med energilagring i smält salt. Det är en process med flytande salt som pumpas genom paneler eller elvärmare. Saltet värms upp till cirka 570 grader, innan det skickas till en varm lagringstank eller ånggenerator, där överhettad ånga produceras för att driva en turbin. Flytande salt förvaras i en isolerad lagringstank, där volymerna i hög grad kan justeras för att ge nödvändig lagringskapacitet för olika applikationer och platser.

Vanligt förekommande lagringstider är runt tio timmar, där det smälta saltet lagrar den värmeenergi som produceras på dagen för användning på natten eller under perioder med mindre solljus.

Även om lösningen är möjlig för andra typer av kraftverk, används den nästan uteslutande i kombination med stora solkraftverk i områden med mycket sol. De största kraftverken och lagren finns i USA, Kina, Spanien, Chile, Sydafrika och Marocko. Nya stora anläggningar planeras i exempelvis Förenade Arabemiraten.

SaltX i Sverige marknadsför och säljer energilagring baserad på smält salt. Företagets huvudfokus är att erbjuda högvärdig ånga med hjälp av ett lager av smält salt. Därmed möjliggörs användandet av förnybar el, istället för kol och olja inom industrin. Det är också möjligt att använda lösningen för att lagra förnybar el och ta ut elen via ånga med hjälp av en ångturbin. Detta är dock inte företagets huvudfokus.

Ett annat svenskt företag, Azelio, tillverkar och säljer en småskalig lösning som bygger på att en aluminiumlegering värms upp av elektricitet från källor som solenergi, till en fasförändring som sker vid 600 grader. Värme överförs sedan till en stirlingmotor genom värmeväxling. Stirlingmotorn driver en generator för elektricitet. Verkningsgraden på lösningen är upp till 30 procent med restvärme som biprodukt.

Azelio dimensionerar sina anläggningar för 13 timmars lagringstid, vilket säkerställer god tillgång till el över en dygns cykel. Vid dygns lagring räknar

tillverkaren med att lösningen kan konkurrera framgångsrikt med litiumjonbatterier. De räknar med att kunna erbjuda lösningar som är 30 procent billigare än batterier, under gynnsamma förutsättningar.

I likhet med saltlagringslösningarna finns de mest intressanta marknaderna för den här produkten i länder och områden med mycket sol. Speciellt intressant blir produkten i områden som är off-grid eller har otillförlitliga elnät där det går att använda spillvärmen från stirlingmotorn till exempelvis uppvärmning, torkning eller avsaltning. Tillverkaren avser att fokusera försäljningsinsatserna på de internationella marknaderna och ser därför en begränsad marknad i Sverige på kort sikt.

Azelios lösningar kan vara intressanta för vissa flexibilitetstjänster eftersom de kombinerar lång lagringstid med relativt kort aktiveringstid. Systemet kan vara stand-by eller avstängt. Om det är stand-by är aktiveringstiden 1-2 sek och om det är avstängt är det cirka 1 minut.

Utveckling på längre sikt

Det pågår forskning på och tidig utveckling av lagringsmetoder som inte på ett detaljerat sätt tas upp i denna omvärldsanalys men som ändå kan få betydelse i ett längre perspektiv:

- > Nya versioner av pumpkraft utvecklas för att hitta metoder som är mindre beroende av geografiska förhållanden. Ett exempel är geomekaniskt pumpad vattenkraft, som använder samma principer som ovanjordiska pumpkraftverk men med underjordiska vattenreservoarer.
- > Tyngdkraftsbaserad energilagring är en annan mekanisk lösning. Energi lagras här genom att, med tillförd mekanisk energi, lyfta en massa eller ett föremål till en högre höjd. Ett exempel är ett tungt lastat tåg som körs upp på en höjd. Denna teknik är inne i ett tidigt skede av kommersiell utveckling.
- > Det forskas intensivt kring olika typer av batterier och elektrokemiska metoder. Flera nya typer av batterier kommer med säkerhet att lanseras under 20-talet. Ett intressant exempel är en typ av koldioxidbatterier där koldioxid lagras i vätskeform. Denna teknik är i en tidig kommersialiseringsfas.
- > Superkondensatorer har mycket god förmåga att snabbt laddas ur men också att mycket snabbt återladdas. Detta, i kombination med lång livslängd vad gäller antalet laddcykler jämfört med dagens batterier, gör dem mycket lämpliga att använda för att jämna ut frekventa och snabba variationer.

Typiska tillämpningar kan vara att ladda upp en superkondensator med bromsenergi i fordon för att sedan utnyttja som effekt vid acceleration. Batterierna kan då användas för en mer stabil energitillförsel. Bedömningen är dock att även om potentialen finns för användning i elsystemet så gör den höga kostnaden att det inte är troligt att användningen blir betydande i ett femårsperspektiv.

- > Det sker också en hel del forskning och utveckling kring termiska lösningar som kan komma att vara intressanta även för Sverige på lång sikt.

För att driva på och informera om existensen och behovet av den här typen av nya lösningar har ledande industriföreträdare och innovatörer lanserat lobbyorganisationen LDES Council. Organisationen ska driva på innovation och utbyggnad av långvarig energilagring och tillhandahålla faktabaserad vägledning till politiska och industriella beslutsfattare. På europeisk nivå finns European Association for Storage of Energy (EASE), som är baserat i Bryssel och arbetar på liknande sätt.

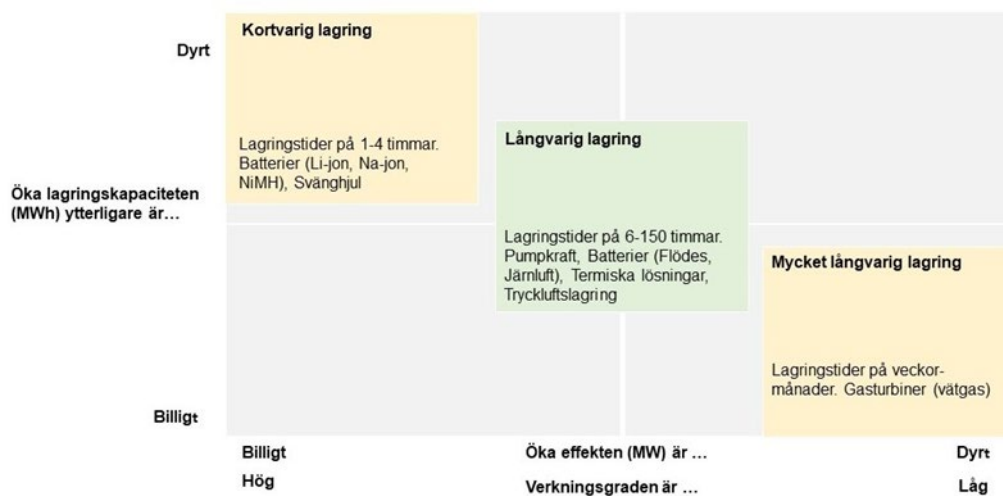
Marknaden för energilager

Det går att dela upp energilagermarknaden i tre olika delar: kortvarig lagring, långvarig lagring och mycket långvarig lagring.

Segmentet för **kortvarig lagring** domineras i nuläget helt av litiumjonbatterier och drivkraften för teknikutvecklingen är i hög grad fordonsmarknaden. Den typ av batterier som i dag köps till exempelvis fastighetsmarknaden och kraftbolagen kan ses som biprodukter till den teknologi som utvecklas för fordonsindustrin.

Utvecklingen av **mycket långvarig lagring** med hjälp av vätgas kan ses på motsvarande sätt. Den bygger i hög grad på investeringar som görs för transportnäringen och för industrin. Möjligheterna till energilagring och nytta för elnätet blir snarast biprodukter till omställningen från fossilt till förnybart inom de nämnda sektorerna.

De tekniker för **långvarig lagring** som beskrivits tidigare i kapitlet såsom pumpkraft, flödes- och järnluftbatterier, termiska lösningar, tryckluftslagring och lagring av flytande luft är huvudsakligen utvecklade för att stödja och balansera elnätet. Det finns förvisso andra tänkbara användningsområden för vissa av teknikerna, men huvudsakligen kommer dessa lösningar att användas direkt mot elnätet.



Figur 7. Positionering av olika lagringstyper

Marknaden för kortvarig lagring i form av litiumjonbatterier expanderar för närvarande i ett mycket högt tempo. En stor drivkraft är Svenska kraftnäts stödtjänster, framförallt av FCR, i kombination med dagens höga och volatila elpriser. Det är betydligt lönsammare att investera i batterier i dag än för något år sedan och det kommer att göras stora investeringar i batterier av energibolag, fastighetsägare, industrier och riskkapitalbolag de närmaste åren.

Inom långvarig lagring sker i princip inga investeringar alls i dag. Det pågår emellertid aktiviteter, framför allt kring idén om att bygga pumpkraftverk under jord i nedlagda gruvor. Några av de stora kraftproducenterna undersöker fortlöpande möjligheterna att bygga eller uppgradera befintliga pumpkraftverk. Det ska understrykas att flera av de tekniker som borde kunna vara intressanta för Sverige är i en tidig kommersialiseringsfas och det är därför svårt att få information om och när de kommer att introduceras i Sverige.

När det gäller vätgas finns inga förväntningar på att det ska bli betydelsefullt som energilager på kort eller mellanlång sikt. Däremot råder det konsensus om att efterfrågefleksibiliteten baserad på vätgasproduktion och elektrolysörer kommer bli mycket betydelsefullt i ett framtida läge, med periodvis överproduktion av el i samtliga elområden.

Bilaga 2: Analys av regelverket kring flexibilitet och lager

Genom att använda näten effektivare kan samma nät tillgodose fler kunders efterfrågan. En jämnare belastning möjliggör också att tillgångar får ökad livslängd. Därmed kan behovet av ny överföringskapacitet begränsas. Vad gäller användningen av flexibilitetsresurser är det artiklarna 31, 32, 36 och 40 i elmarknadsdirektivet samt kapitel 2 i elmarknadsförordningen om allmänna regler för elmarknaden som är centrala. Direktivet innehåller ingen definition av flexibilitet eller flexibilitetstjänst. Det framgår dock i art 32.1 att det som avses är sådana tjänster som kan förbättra effektiviteten i driften och utvecklingen av distributionsnätet, bl.a. hantering av överbelastning. Inom begreppet flexibla resurser omfattas efterfrågefleksibilitet, flexibel produktion och energilagring.

Skillnader i elpriser på elmarknaden skapar ett värde av flexibla resurser. Ju större prisskillnaderna är, desto större är incitamenten för flexibilitet (se t.ex. Ei:R 2021:06). Flexibilitetstjänster kan användas av transmissionsnätsoperatörer för att bibehålla stabiliteten i energisystemet genom stödtjänster för balansering, vilka säkerställer att systemfrekvensen bibehålls inom ett fördefinierat stabilitetsområde. Flexibilitet kan användas för att hantera överbelastning, den kan användas till de flesta av de icke frekvensrelaterade stödtjänsterna, såsom spänningsreglering, snabb inmatning av reaktiv effekt, tröghet för upprätthållande av stabiliteten i lokala nät, kortslutningsström, förmåga till dödnätsstart och till ö-drift. Det är tydligt att flexibilitet kan användas till många olika ändamål där varje användningsområde berörs av olika delar av regelverken. Nedan följer en sammanställning av den rättsliga regleringen med anknytning till flexibilitet. Sammanställningen belyser både den nationella och den europeiska lagstiftningen. Ytterligare bestämmelser kan finnas i annan lagstiftning som inte berörs här.

Regelverkets principer för elmarknaden

Lagstiftningspaketet ren energi för alla i Europa, (Ren energipaketet) antogs i december 2018, och blev startskottet för arbetet att ge alla invånare i Europa tillgång till ren energi. Ren energipaketet syftar till att bidra till att bland annat minska koldioxidutsläppen från EU:s energisystem i linje med målen för den

européiska gröna given och stärka EU:s konkurrenskraft. Ren energipaketet består av åtta rättsakter, bland annat direktiv (EU) 2019/944 om gemensamma regler för den inre marknaden för el och om ändring av direktiv 2012/27/EU (elmarknadsdirektivet) och förordning (EU) 2019/943 om den inre marknaden för el (elmarknadsförordningen) som kom i juni 2019. De olika förordningarna gäller direkt i varje medlemsstat medan direktivet måste genomföras genom nationell lagstiftning. I juli 2022 infördes nya bestämmelser i ellagen (1997:857) som implementerar direktivets bestämmelser när det gäller elnätverksamhet i Sverige. Övriga delar av direktivet som behöver implementeras i svensk lagstiftning kommer i ett senare skede. Ei har lämnat förslag i rapport Ei R2020:02 om hur Ren energipaketet kan implementeras i svensk rätt och i rapport Ei R2021:03 lagt förslag till nya regler för att genomföra bestämmelserna om oberoende aggregering. Ei har lämnat förslag på hur man kan förbättra elmarknadens funktion i rapport Ei R2020:09. Genomförandeplanen ska ange åtgärder som medlemsstaten ska vidta för att undanröja snedvridningar till följd av lagstiftning eller marknadsmisslyckanden och på så vis få en mer välfungerande elmarknad. De åtgärder som identifierades i rapporten utgick från det läge som rådde 2020 och omfattade tre huvudsakliga förbättringsområden, balansmarknaden, styrmedel och efterfrågefleksibilitet.

Elmarknadsdesign

I elmarknadsförordningen artikel 3 läggs principer fast för elmarknadens funktion. Det framkommer att relevanta aktörer, exempelvis systemansvariga för överföringssystem och distributionssystem, marknadsoperatörer och tillsynsmyndigheter, ska säkerställa att alla aktörer, däribland energilagring, flexibilitet och hållbar produktion, ska ha lika förutsättningar att kunna delta på marknaderna. Kraven är relativt omfattande och omfattar alla marknader för handel med elektricitet, både marknader för energi och till exempel stödtjänster, men även kapacitetsmekanismer (artikel 21 och 22) och övrig handel med elektricitet. Alla marknadsaktörer ska även ha rätt att ansluta till elnäten på objektiva, transparenta och icke-diskriminerande villkor.

Marknadsreglerna ska tillhandahålla lämpliga incitament till investeringar i produktion, särskilt långsiktiga investeringar i ett hållbart elsystem där fossila bränslen fasats ut, i energilagring, energieffektivitet och efterfrågefleksibilitet för att tillgodose marknadens behov och underlätta rättvis konkurrens (artikel 3.g.). Marknadsreglerna ska även möjliggöra en effektiv dirigering av produktionstillgångar, energilagring och efterfrågefleksibilitet (artikel 3.m.).

Tillsynsmyndigheterna ska bedöma designen på marknaderna på energi och stödtjänster (och kapacitetsmekanismer) så att de uppfyller kraven på inträde och deltagande för energilagring. Det finns inga detaljer i förordningen kring vad som avses med lika villkor eller hur tillsynen ska ske.¹

Det är alltså tydligt att energilagringsanläggningar och flexibilitetstjänster ska ha öppen tillgång till samtliga marknader för handel med energi och effekt.

Dagenföre- och intradagmarknaderna

Dagen före- och intradagmarknaderna beskrivs i artikel 7 och 8 i elmarknadsförordningen. I artikel 8 framgår att en nominerad elmarknadsaktör (NEMO) ska ha en minsta budstorlek på 500 kW eller lägre för att möjliggöra ett effektivt deltagande med efterfrågefleksibilitet och energilagring. Vidare framkommer att avräkningsperioden ska sänkas till 15 minuter, där undantag får beviljas fram till 2025.

Aggregering

I elmarknadsdirektivet artikel 2 definieras aggregering som en funktion som fullgörs av en fysisk eller juridisk person som kombinerar flera kundlaster eller producerad el för försäljning, anskaffning eller auktionering på alla slags organiserade elmarknader. Vidare framkommer det i direktivet att slutanvändare ska ha möjlighet att delta på samtliga marknader för el, vissa marknader kan nå genom aggregering. I artikel 17 tydliggörs att medlemsstaterna ska främja deltagande för efterfrågefleksibilitet genom aggregering så att slutförbrukarna kan delta på alla marknader på ett icke-diskriminerande sätt.

I artikel 17 finns även förslag på regelverk för oberoende aggregatorer. Roll- och ansvarsfördelningen i regelverket med avseende på BRP (balansansvarig part) och BSP (leverantör av balanstjänster) kommer att bli viktigt. Det är också viktigt att förslagen blir utformade på ett teknikneutralt sätt så att alla tekniker kan konkurrera på lika villkor.

Krav på datautbyte

Datautbyte regleras i artikel 40 i förordning (EU) 2017/1485 om fastställande av riktlinjer för driften av elöverföringssystem, den så kallade System Operation Guideline (SOG). Utifrån det har transmissionsnätoperatörerna tagit fram ett

¹ European Commission, 2020, Study on energy storage. Sid 97

gemensamt förslag på hur datautbyte ska kunna organiseras (KORRR)². Den nationella tillämpningen av kraven på datautbyte fastställs delvis genom Ei:s föreskrifter (EIFS 2019:7) om krav på datautbyte mellan elnätsföretag och betydande nätanvändare (SGU). Dessutom har Svenska kraftnät publicerat ett antal rapporter där de krav anges som måste följas av aktörerna, såsom betydande nätanvändare.

Krav på redundans

Det finns även nationella krav gällande redundans vid anslutning av förbrukning utifrån Ei:s föreskrifter (EIFS 2013:1) om krav som ska vara uppfyllda för att överföringen av el ska vara av god kvalitet och funktionskraven i 4 kap. 19-20 §§ i ellagen som fastställer att ett avbrott i elöverföringen inte får överstiga 24 timmar. Exempelvis ställer det så kallade utökade funktionskravet (avbrottstidskravet) i 4 kap. i Ei:s föreskrifter (EIFS 2013:1) krav på tillförlitlighet. Avbrottstidskravet innebär kundens rätt till ökad tillförlitlighet avseende avbrottens tillåtna längd i anslutningspunkten för uttags- och gränspunkter med abonnemang på över 2 MW.

Dynamiska priser och tariffer

I elmarknadsdirektivet artikel 11 lyfts att slutkunder med smarta mätare har rätt till avtal med dynamiska elpriser.

Med mer korrekta prissignaler och öppna marknader minskar inträdeshindren på marknaderna för energilagringsanläggningar och flexibilitetstjänster. Dynamiska prissignaler är en förutsättning för att kunna tjäna pengar på de dygnsvariationer i elpriset som förekommer.

I elmarknadsförordningen artikel 18 tydliggörs att nätavgifterna ska vara kostnadsreflektiva, transparenta och icke-diskriminerande. De ska varken positivt eller negativt diskriminera energilagring, de får inte verka hämmande för egenproduktion, egenförbrukning eller för deltagande i efterfrågeflexibilitet. Tarifferna ska inte användas för icke-relaterade politiska mål. Artikel 18 lyfter även fram möjligheten till geografisk- och tidsdifferentiering av tarifferna, vilket förväntas öka värdet av flexibla resurser.

² Svenska kraftnät, hämtad i april 2022 från: [All TSOs' proposal for the Key Organisational Requirements, Roles and Responsibilities \(KORRR\) relating to Data Exchange in accordance with Article 40\(6\) of the Commission Regulation \(EU\) 2016/xxxx of xx MMM 2016 establishing a Guideline on Transmission S \(svk.se\)](#)

Sedan den 1 juli 2022 gäller Energimarknadsinspektionens föreskrifter (EIFS 2022:1) och allmänna råd för utformning av nättariffer för ett effektivt utnyttjande av elnätet. Föreskrifterna ska börja tillämpas senast den 1 januari 2027.

Regelverket för anskaffning av stödtjänster

De europeiska rättsakter som följer av ren energipaketet syftar till en effektiv användning av befintlig elinfrastruktur genom effektiva prissignaler i form av elpriser som speglar strukturella flaskhalsar i elsystemet och nättariffer som avspeglar kostnaderna. Ren energi-paketet med elmarknadsdirektivet och elmarknadsförordningen visar vägen mot en framtid där nätföretagen hanterar kvarstående utmaningar i form av t.ex. interna överbelastningar och andra systempåverkande parametrar såsom spänningsavvikelser genom en marknadsbaserad anskaffning av flexibla resurser när det inte är ekonomiskt ineffektivt. Elmarknadsdirektivet och elmarknadsförordningen ställer också krav på samarbete mellan nätföretag på olika nätnivåer för att öka effektiviteten i användningen av de flexibla resurserna.

Balansering

Balansmarknaderna nämns i både elmarknadsförordningen och elmarknadsdirektivet. I förordningen finns regler för designen av balansmarknader. Artikel 6 ger en överblick av balansmarknadens utformning, där kvalificeringsprocessen ska vara icke-diskriminerande, transparent och teknikneutral, samt upphandlas på ett öppet och marknadsbaserat sätt. Det ska vara icke-diskriminerande tillträde för alla aktörer, individuellt eller genom aggregering. Obalanserna ska avräknas till pris som återspeglar realtidsvärdet för energi och inte vara fastställt i avtal på förhand om balanskapacitet. Ytterligare bestämmelser om balansering finns i förordning (EU) 2017/2195 om riktlinjer för balanshållning avseende el (balansförordningen).

Avtal om balanskapacitet ska inte ingås mer än en dag före tillhandahållandet av balanskapacitet och avtalsperioden ska vara högst en dag, såvida inte och i den mån tillsynsmyndigheten har godkänt tidigare ingående av avtal eller längre avtalsperioder för att säkerställa försörjningstryggheten eller förbättra den ekonomiska effektiviteten (på begäran av systemansvarig). Tillsynsmyndigheten får förlänga perioden i upp till 12 månader om kostnadsminskningen för kunderna är större än den negativa inverkan på marknaden.

I elmarknadsdirektivet artikel 40 framgår att tillsynsmyndigheten och systemansvariga för överföringssystem ska samarbeta med marknadsaktörer för att definiera de tekniska krav som ställs på deltagande på balansmarknaderna. Balanstjänsterna ska upphandlas genom transparenta, icke-diskriminerande och marknadsbaserade förfaranden.

Reglerna innebär att energilagring och annan flexibilitet får tillträde till balansmarknaden på icke-diskriminerande och teknikneutrala grunder.

Icke-frekvensrelaterade stödtjänster

Enligt elmarknadsdirektivet artikel 40 ska anskaffning av icke-frekvensrelaterade stödtjänster ske genom transparenta, icke-diskriminerande och marknadsbaserade förfaranden av transmissionsnätoperatören, om inte tillsynsmyndigheten godkänner något annat utifrån en bedömning av kostnadseffektivitet. Transmissionsnätoperatören ska med godkännande av tillsynsmyndigheten specificera de icke frekvensrelaterade stödtjänsterna. Det nämns även standardisering av produkter på nationell nivå där det är lämpligt (artikel 59.1.d).

I artikel 32.1 och 32.2 regleras frågor om hur distributionsnätsföretag ska anskaffa flexibilitetstjänster.

Nya regler i ellagen för anskaffning av flexibilitetstjänster till följd av elmarknadsdirektivet

Flexibilitetstjänster kan som framgår ovan användas för att fylla flera olika behov. Det handlar dels om att aktörer kan utnyttja prisskillnader på elmarknaden (dagen-föremarknaden), dels om att flexibilitet kan hjälpa till för att fylla de behov som nätföretagen är skyldiga att fylla för en säker drift. Dit hör balansering (TSO), icke-frekvensrelaterade stödtjänster och hantering av överbelastning (DSO och TSO). Metoderna för balansering är under utveckling till följd av bestämmelser i befintligt regelverk. Det gäller t.ex. införande av enpris och en position för obalanser, övergång till marginalkostnadsprissättning på FCR-marknaderna, höjt maxpris på den nordiska reglerkraftmarknaden men inkluderar också ett flertal andra förändringar.

För icke-frekvensrelaterade stödtjänster har dock en del nya regler införts i svensk lag som en följd av implementeringen av elmarknadsdirektivet.

Vid halvårsskiftet 2022 infördes nya regler om stödtjänster i 3 kap 4–11 §§ ellagen. Bestämmelserna är ett genomförande av bestämmelserna i artikel 31 och 40 elmarknadsdirektivet i svensk rätt. Ett nätföretag ska anskaffa icke

frekvensrelaterade stödtjänster på ett öppet, icke-diskriminerande och marknadsorienterat sätt, såvida inte lagen (2016:1146) om upphandling inom försörjningssektorerna gäller för anskaffningen. Reglerna för marknadsorienterad anskaffning gäller inte heller för en nätkomponent som är integrerad i elnätet och används uteslutande för att säkerställa en säker och tillförlitlig drift av nätet (som inte är balansering eller hantering av överbelastning), Reglerna gäller inte heller om nätmyndigheten har beviljat dispens i det enskilda fallet, vilket kan göras om marknadsorienterad anskaffning är ekonomiskt ineffektiv.

Vid halvårsskiftet 2022 infördes också nya bestämmelser i ellagen 5 kap. 12a-12b§§ som anger att när intäktsramen bestäms för en nätverksamhet ska hänsyn tas till i vilken utsträckning flexibilitetstjänster används och förbättrar effektiviteten i verksamheten. Bedömningen ska få medföra en ökning eller minskning av intäktsramen. Regeringen eller den myndighet som regeringen bestämmer ska få meddela föreskrifter om vilka krav som ska vara uppfyllda för att flexibilitetstjänster ska anses förbättra effektiviteten i nätverksamheten. Ei har fått ett sådant förordnande genom intäktsramsförordningen. Ett arbete med utformning av incitament för flexibilitetstjänster i intäktsramsregleringen pågår på Ei. Bakgrunden är att artikel 32 i elmarknadsdirektivet anger att medlemsstaterna ska tillhandahålla den nödvändiga rättsliga ramen för att tillåta och tillhandahålla incitament för att distributionsnätoperatören ska upphandla flexitjänster. Det framgår att det som avses är sådana tjänster som kan förbättra effektiviteten i driften och utvecklingen av distributionsnätet, bl.a. hantering av överbelastning.

Mot bakgrund av direktivets bestämmelser infördes samtidigt regler som anger att regeringen eller den myndighet som regeringen bestämmer ska få meddela föreskrifter om skyldighet för ett distributionsnätsföretag att ta fram specifikationer för de flexibilitetstjänster som företaget anskaffar och standardiserade marknadsprodukter för sådana tjänster, samt om vilka krav som specifikationer och marknadsprodukter ska uppfylla. Närmare bestämmelser finns i förordning (2022:585) om elnätsverksamhet.

Regler för hantering av överbelastning finns i elmarknadsförordningen

Hantering av överbelastning regleras direkt i elmarknadsförordningen. Artikel 2.4 definierar överbelastning som en situation där alla begäranden från marknadsaktörer om handel mellan nätområden inte kan tillmötesgå därför att de avsevärt skulle påverka de fysiska flödena genom nätelement som inte kan klara dessa flöden. Det finns skäl att göra skillnad på strukturella överbelastning och annan överbelastning. Strukturell överbelastning innebär enligt artikel 2.6

överbelastning i överföringssystemet som kan definieras på ett entydigt sätt, som är förutsägbar, geografiskt stabil över tiden och ofta återkommer under normala förhållanden i elkraftsystemet. Dessutom anges i skäl 30 att för att på ett effektivt sätt styra nödvändiga investeringar måste priserna också ge signaler om var el behövs mest. I ett områdesbaserat elsystem förutsätter korrekta lokaliseringssignaler ett enhetligt, objektiva och tillförlitligt fastställande av elområden genom en transparent process. För att säkerställa en effektiv drift och planering av unionens elnät och tillhandahålla effektiva prissignaler för ny produktionskapacitet, efterfrågefleksibilitet eller överföringsinfrastruktur bör elområden återspegla strukturell överbelastning. I synnerhet bör kapacitet mellan elområden inte minskas för att lösa intern överbelastning. För att lösa överbelastning som inte är strukturell förutses i elmarknadsförordningen omdirigering.

Artikel 13 i elmarknadsförordningen anger regler för omdirigering som är ett sätt att hantera till exempel fysisk överbelastning. Omdirigering definieras som en åtgärd, inbegripet begränsning av tilldelad kapacitet som aktiveras av en eller flera systemansvariga genom att ändra produktionsmönstret eller belastningsmönstret, eller båda, för att ändra fysiska flöden i elsystemet och minska en fysisk överbelastning eller på annat sätt säkerställa systemsäkerhet.

Omdirigering av produktion och omdirigering av efterfrågefleksibilitet ska baseras på objektiva, transparenta och icke-diskriminerande kriterier. Den ska vara öppen för produktion oavsett teknik, för all energilagring och för all efterfrågefleksibilitet, inklusive för dem som är baserade i andra medlemsstater, om detta är tekniskt genomförbart. De resurser som omdirigeras ska väljas med hjälp av marknadsbaserade mekanismer, och resurserna ska ersättas ekonomiskt.

Icke-marknadsbaserad omdirigering får endast användas om inget marknadsbaserat alternativ är tillgängligt, alla tillgängliga marknadsbaserade resurser har använts, antalet tillgängliga anläggningar för tillhandahållande av tjänsten är för lågt för att säkerställa effektiv konkurrens, eller den aktuella nätsituationen leder till överbelastning på ett så regelbundet och förutsebart sätt att marknadsbaserad omdirigering skulle innebära regelbunden strategisk budgivning, vilket skulle öka den interna överbelastningsnivån.

De berörda systemansvariga ska minst en gång per år överlämna en rapport till den behöriga tillsynsmyndigheten om utvecklingsnivån och effektiviteten hos marknadsbaserade mekanismer för omdirigering av anläggningar, volymerna i

MWh och typen av produktionskälla som omfattas av omdirigering, de åtgärder som vidtagits för att minska behovet av omdirigering nedåt avseende produktionsanläggningar som använder förnybara energikällor eller högeffektiv kraftvärme i framtiden, inklusive investeringar i digitalisering av nätinfrastrukturen och i tjänster som ökar flexibiliteten. Den berörda tillsynsmyndigheten ska överlämna rapporten till byrån för samarbete mellan energitillsynsmyndigheter (Acer) och offentliggöra en sammanfattning av de uppgifter som avses i första stycket leden a, b och c, tillsammans med rekommendationer om förbättringar, vid behov.

Omdirigeringen ska hållas till minsta möjliga och minimera omdirigering nedåt av el som produceras från förnybara energikällor och högeffektiv kraftvärme. De ska säkerställa att deras nät är tillräckligt flexibla för att de ska kunna förvalta dem. Omdirigering nedåt ska vara vederbörligen motiverad, på ett transparent sätt. Motiveringen ska ingå i rapporten till tillsynsmyndigheten som nämns ovan.

Om icke marknadsbaserad omdirigering utnyttjas ska den vara föremål för ekonomisk ersättning från den systemansvarige som efterfrågar omdirigeringen till operatören av produktionsanläggningar, energilagransanläggningar eller anläggningar för efterfrågefleksibilitet, utom i fråga om producenter som godtagit ett anslutningsavtal enligt vilket säker leverans av energi inte garanteras. Den ekonomiska ersättningen ska vara minst lika med den högsta av följande delar eller en kombination av dem om tillämpning av endast den högre skulle leda till en omotiverat låg eller omotiverat hög ersättning:

- a) Extra driftskostnader till följd av omdirigeringen, t.ex. extra bränslekostnader i fråga om omdirigering uppåt, eller tillhandahållande av reservvärme i fråga om omdirigering nedåt av kraftproduktionsanläggningar som använder högeffektiv kraftvärme.
- b) Nettointäkterna från den försäljning av el på dagen före-marknaden som anläggningar skulle ha inbringat utan begäran om omdirigering; om ekonomiskt stöd beviljats till produktionsanläggningar, energilagransanläggningar eller anläggningar för efterfrågefleksibilitet, baserat på den mängd el som produceras eller förbrukas, ska ekonomiskt stöd som skulle ha erhållits om det inte hade varit för begäran om omdirigering anses vara en del av nettointäkterna.

Artikel 14 i elmarknadsförordningen anger att medlemsstaterna ska vidta alla lämpliga åtgärder för att hantera överbelastning. Elområdesgränser ska baseras på

långsiktiga, strukturella överbelastningar i överföringsnätet. Elområden får inte innehålla sådana strukturella överbelastningar såvida inte dessa saknar inverkan på angränsande elområden eller, som ett tillfälligt undantag, dessas inverkan på angränsande elområden mildras genom korrigerande åtgärder och de angränsande elområdena inte leder till minskad kapacitet för handel mellan elområden, i enlighet med kraven i artikel 16. Elområdeskonfigurationen i unionen ska utformas på ett sådant sätt att ekonomisk effektivitet och möjligheter till handel mellan elområden i enlighet med artikel 16 maximeras, samtidigt som försörjningstryggheten upprätthålls.

Artikel 16 i elmarknadsförordningen beskriver principer om kapacitetstilldelning och hantering av överbelastning. Problem med överbelastning i nätet ska åtgärdas med icke-diskriminerande, marknadsbaserade lösningar som ger effektiva ekonomiska signaler till berörda marknadsaktörer och berörda systemansvariga för överföringssystem.

Förfaranden för att inskränka handeln får tillämpas endast i nödfall när den systemansvarige för överföringssystem tvingas vidta omedelbara åtgärder och omdirigering eller motköp inte är möjliga. Alla sådana förfaranden ska tillämpas på ett icke-diskriminerande sätt. Utom i fall av force majeure ska marknadsaktörer få kompensation för inskränkning av tilldelad kapacitet.

Systemansvariga för överföringssystem får inte begränsa den mängd sammanlänkningskapacitet som ska göras tillgänglig för marknadsaktörer för att lösa överbelastning inom sitt eget elområde eller som ett sätt att hantera flöden som är en följd av interna transaktioner inom elområden. Detta anses vara uppfyllt om den systemansvariga kan tillgängliggöra minst 70 procent sammanlänkningskapacitet per timme.

Den totala mängden på 30 % får användas för säkerhetsmarginaler, ringflöden och interna flöden för varje kritiskt linjesegment. På begäran av systemansvariga för överföringssystem får tillsynsmyndigheterna, om det är nödvändigt för att upprätthålla driftsäkerhet, bevilja undantag från miniminivåerna. Ett sådant undantag ska strikt begränsas till vad som är nödvändigt för att upprätthålla driftssäkerheten och de ska undvika diskriminering mellan interna utbyten och utbyten mellan elområden.

Svenska kraftnät har ansökt om undantag för flera elområdesförbindelser för år 2022³. Grundläggande för kapacitetsberäkningen idag är att det så kallade N-1 kriteriet ska beaktas. Det innebär att inget nätelement ska belastas mer än det klarar bortfallet av något annat nätelement. I kapacitetsberäkningen beaktas möjligheter att t.ex. överbelasta elnätet, möjligheterna till motköp och användningen av den snabba störningsreserven.

Ytterligare EU-regler för flexibilitet?

I nuläget diskuteras en ramriktlinje som ska ligga till grund för en eventuell EU-förordning om "demand response". Utfallet skulle också kunna bli en ändring av existerande regelverk. Principerna i de nya reglerna ska syfta till att tillåta alla resurser tillträde till alla elmarknader i enlighet med principerna i artikel 3 i elmarknadsförordningen och tillåta att systemansvariga använder alla resurser för drift och planering av nätet. Riktlinjen föreslås ta sikte på att avlägsna alla otillbörliga hinder för flexibla resursers deltagande på alla grossistmarknader för el (inklusive de för upphandling av så kallade SO-tjänster), och fastställa europeiska principer för bedömning av systemoperatörernas behov av, upphandling av och användningen av sådana tjänster. Med SO-tjänster avses marknadsbaserad upphandling av balansering, spänningskontroll och överbelastningshantering.

Förslaget till nya riktlinjer för ett eventuellt framtida regelverk innehåller allmänna bestämmelser men föreslås också dra upp riktlinjerna kring

- allmänna krav för marknadstillträde som bland annat inkluderar roller och ansvar, principer för baseline och mätning, samt bestämmelser kopplade till balansering,
- förkvalificering,
- datautbyte och samordning mellan systemansvariga,
- hantering av överbelastning och
- spänningskontroll.

Förslaget arbetas fram inom Acer på uppdrag av EU-kommissionen. En konsultation genomfördes under sommaren 2022. Acer ska överlämna den slutliga ramriktlinjen till kommissionen i december 2022.⁴

³ Ei:s ärendenummer 2021-102881

⁴ <https://www.acer.europa.eu/events-and-engagement/news/acer-initiates-drafting-new-framework-guidelines-demand-response>

Specifika regler för energilagring

Utöver de ovan beskrivna regelverken finns ytterligare regelverk som riktar sig specifikt mot energilagringsanläggningar. De specifika reglerna omfattar definitionen av energilagring, vem som får äga ett energilager och villkor för anslutning. I avsnittet belyses även behovet av att se över delar av regelverket som en följd av en ny aktör.

Definition

I Europeisk rätt definieras energilagring enligt elmarknadsdirektivet (artikel 2.59):

"energilagring: i elsystemet en uppskjutning av den slutliga användningen av el till en senare tidpunkt än produktionstillfället, eller omvandlingen av elenergi till en form av energi som kan lagras, lagringen av den energin, och den därpå följande återomvandlingen av den energin till elenergi eller användningen som en annan energibärare."

Och energilagringsanläggning (i artikel 2.60): *en anläggning i elsystemet där energi lagras.*

I svensk rätt är en energilagringsanläggning, enligt 1 kap. 4 § ellagen, en sådan anläggning i elsystemet som används för att i systemet skjuta upp den slutliga användningen av el till en senare tidpunkt än produktionstillfället eller för omvandling av elenergi till en form av energi som kan lagras, lagringen av den energin och den följande återomvandlingen av energin till el eller någon annan energibärare.

Regleringen i ellagen omfattar sådana anläggningar som används särskilt för energilagring. Genom att ange att anläggningen ska användas för sådana ändamål görs en gränsdragning mot sådan uppskjutning av elanvändningen som alltid sker vid transporten av el genom nätet utan att vara särskilt avsedd.

Ägande

Från elmarknadsdirektivet framgår att systemansvariga för överföringssystem (artikel 54) eller systemansvariga för distributionssystem (artikel 36) inte ska äga, utveckla, förvalta eller driva energilagringsanläggningar.

Undantag finns för helt integrerade nätkomponenter, om det inte på annat sätt går att få tag på dessa tjänster till en rimlig kostnad och i rätt tid, om anläggningarna är nödvändiga för att de systemansvariga för distributionssystemen ska kunna fullgöra sina skyldigheter enligt detta direktiv när det gäller effektiv, tillförlitlig



och säker drift av distributionssystemen, (anläggningarna används inte för att köpa eller sälja el på elmarknaderna) eller om tillsynsmyndigheten har bedömt behovet av ett sådant undantag och gjort en bedömning av anbudsförfarandet, däribland villkoren för anbudsförfarandet, och har lämnat sitt godkännande.

För transmissionsnätsföretag gäller även att beslutet att bevilja undantag ska anmälas till kommissionen och Acer tillsammans med relevant information om ansökan och om skälen för att bevilja undantag.

Vid undantag ska tillsynsmyndigheten minst vart 5:e år hålla ett offentligt samråd om befintliga energilagringsanläggningar. Om ett offentligt samråd, enligt tillsynsmyndighetens bedömning, visar att tredje parter kan äga, utveckla, driva eller förvalta sådana anläggningar på ett kostnadseffektivt sätt ska tillsynsmyndigheten säkerställa att den verksamhet som bedrivs av systemansvariga för distributionssystem på detta område fasas ut inom 18 månader. Som en del av villkoren för detta förfarande får tillsynsmyndigheterna medge att systemansvariga för distributionssystem får skälig ersättning, särskilt för att få tillbaka restvärdet av sina investeringar i energilagringsanläggningarna.

I nationell rätt har artiklarna implementerats genom 3 kap. 39 och 40 §§ ellagen, där det framkommer att ett nätföretag inte får äga, utveckla, förvalta eller driva en energilagringsanläggning. Regeringen får dock meddela föreskrifter om att nätmyndigheten får bevilja dispens i enskilda fall från förbudet. En sådan möjlighet har regeringen gett Ei genom regler i 18–22 §§ förordningen (2022:585) om elnätsverksamhet.

För att genomföra elmarknadsdirektivet krävs att det införs ett förbud för nätföretag att äga, utveckla, förvalta eller driva energilagringsanläggningar. Det finns inte utrymme för att beakta sådana invändningar som tar sikte på de svårigheter ett förbud kan skapa för nätverksamheten. Eventuella problem får i stället hanteras genom de möjligheter till undantag från förbudet som är tillåtna enligt direktivet.

Regeringen anger i propositionen att det inte finns skäl att i ellagen föra in samtliga de detaljerade föreskrifter som krävs för att göra undantag möjliga. En möjlighet är att införa allmänt hållna bestämmelser i lagen och komplettera lagen i förordning och myndighetsföreskrifter. Regeringen ser dock ingen särskild fördel med en sådan uppdelning eller att det annars finns starka skäl för en reglering i

lagen. Regeringen bör få meddela föreskrifter om att Energimarknadsinspektionen får bevilja dispens i enskilda fall från förbudet.

Anslutning

Från elmarknadsdirektivet artikel 42 framgår att den systemansvarige för överföringssystem (TSO) ska inrätta och offentliggöra transparenta och effektiva förfaranden för icke-diskriminerande anslutning av nya produktionsanläggningar och energilagringsanläggningar till överföringssystemet. Dessa förfaranden ska godkännas av tillsynsmyndigheten. De kan heller inte neka att ansluta ny energilagring baserat på framtida begränsningar i nätets kapacitet. Om begränsningar kan uppstå ska den systemansvarige för överföringssystem kunna erbjuda en begränsad garanterad anslutningskapacitet eller erbjuda anslutningar som omfattas av driftsmässiga begränsningar för anslutningen.

I elmarknadsdirektivet artikel 8 nämns även att vid tillstånd för ny kapacitet ska alternativ till anläggande av ny produktion, exempelvis energilagring, beaktas.

I nationell rätt har detta implementerats genom 4 kap. 6 § ellagen, där det framkommer att nätföretag ska ha standardiserade rutiner för anslutning av elproduktionsanläggningar och energilagringsanläggningar. Sådana rutiner ska, så långt det är möjligt och ändamålsenligt, säkerställa en snabb och enkel anslutning. Det ryms inom Ei:s tillsynsansvar att se till att detta krav följs. Ett nätföretag skulle enligt dåvarande 3 kap. 7 b § ellagen ha standardiserade rutiner för anslutning av elproduktionsanläggningar

Tekniska krav vid anslutning av produktion

De generella anslutningskraven i anslutningskoderna förordning (EU) 2016/631 om fastställande av nätföreskrifter med krav för nätanslutning av generatorer (RfG) och förordning (EU) 2016/1388 om fastställande av nätföreskrifter för anslutning av förbrukare (DCC) ska inte tillämpas på kraftlagringsenheter (artikel 3.2 i respektive förordning). Samtidigt kan exempelvis ett batteri ingå i en kraftproduktionsmodul och då tillämpas kraven på hela modulen. För en kraftproduktionsmodul, såsom en turbin eller en bränslecell som drivs av exempelvis vätgas, tillämpas RfG.

RfG

Inom EU finns det gemensamma krav för nätanslutning av generatorer. De anslutande kraftproduktionsmodulerna (KPM) delas upp i olika typer utifrån maximal kontinuerlig effekt samt om det är en synkron (så kallad synkron kraftproduktionsmodul) eller asynkron (så kallad kraftparksmodul) modul.

Kraftproduktionsmodulerna omfattas av olika krav på tekniska förmågor utifrån den installerade effekten i modulen. Typ A (0,8–1 500 kW) behöver uppfylla flera krav på tekniska förmågor, bland annat krav på frekvensstabilitet, begränsat frekvenskänslighetsläge – överfrekvens samt systemsäker återanslutning till nätet. Dessa tekniska förmågor innebär dels att nya KPM är mer robusta och klarar störningar bättre. Dessutom är dessa nya KPM frekvenskänsliga vid höga frekvenser vilket bidrar till en ökad systemsäkerhet. För en modul av typ B (>1,5–10 MW) tillkommer flera ytterligare krav på tekniska förmågor. De ytterligare kraven innebär bland annat krav på förmåga till feltålighet, krav avseende systemåterställning, krav avseende generell systemförvaltning samt krav gällande förmåga till produktion och konsumtion av reaktiv effekt. Om en KPM idag ansluts till elnätet och klassificeras till Typ C (>10–30 MW) eller Typ D (>40 MW) behöver den uppfylla än mer omfattande krav på tekniska förmågor.

DCC

DCC ska tillämpas på de förbrukningsenheter som används för att tillhandahålla tjänster för efterfrågefleksibilitet vilket kan vara batterier vid uttag eller produktion av vätgas i en elektrolysanläggning. Tjänster för efterfrågefleksibilitet i det här fallet är frekvensrelaterade stödtjänster, såsom FCR och FRR, och andra stödtjänster, men även flexibilitetstjänster såsom hantering av överbelastning. Den svenska tillämpningen av kraven specificeras i Ei:s föreskrifter (EIFS 2019:6) om fastställande av generellt tillämpliga krav för anslutning av förbrukare. Kraven består av robusthetskrav om kontinuerlig drift vid olika frekvenser i elsystem samt krav om fortsatt anslutning vid variationer i lokal spänning. Kraven innebär även att de fortsatt ska vara anslutna under snabba frekvensändringshastigheter upp till 2 Hz/s samt att de ska ha viss teknisk förmåga gällande okänslighet vid frekvensändringar kring 50 Hz.

Övriga anslutningskrav

Utöver ovanstående anslutningskrav kan det vara skäligt att ställa ytterligare anslutningskrav på flexibilitet och energilager. Exempelvis har ENTSO-E:s expertgrupp för energilagring⁵ föreslagit krav för energilager.

Om energilagret både kan mata in och ta ut el i anslutningspunkten föreslår expertgruppen att en lämplig kravbild är hela RfG utifrån klassificerad typ. Kravbilden föreslås ställas både när energilagret matar in el och tar ut el från nätet. Dessa energilager bör även uppfylla kraven för energilager i artikel 15.3 i

⁵ Energy Storage, ENTSO-E expert group, [CNC - Expert Groups \(entsoe.eu\)](https://entsoe.eu/CNC-Expert-Groups)

förordning (EU) 2017/2196 om fastställande av nätföreskrifter för nödsituationer och återuppbyggnad avseende elektricitet (ER) gällande automatisk växling till produktionsläge vid vissa störningar. Viss elektrisk utrustning, såsom synkronkompensatorer, bör däremot inte omfattas av hela RfG utan den berörda systemansvarige för överföringssystemet föreslås fastställa kravbilden vid anslutning för dessa energilagrar.

Om energilagret endast kan ta ut el i anslutningspunkten föreslås energilagret omfattas av kravbilden i DCC. Dessa energilagrar bör även uppfylla kravet om bortkoppling av energilagrar i artikel 15.3 i ER-förordningen.

För att energilagrar ska kunna leverera stödtjänster krävs att kvalificeringskraven för att leverera stödtjänster är öppna, transparenta och icke-diskriminerande. Detta innebär att det inte bör vara en skillnad mellan förkvalificeringen för flexibilitetsresurser som energilagringssenheter och kraftproduktionsmoduler som ska leverera stödtjänster.

Andra regelverk kan behöva ses över

Svensk lagstiftning har tidigare utgått ifrån aktörerna inom produktion, förbrukning och distribution. Nya aktörer, inom exempelvis energilagring, innebär att flera regelverk inom den svenska nationella lagstiftningen kan behöva ses över för att inte utgöra ett hinder för energilagring.

I och med den nationella strategin för elektrifiering avser regeringen bland annat att intensifiera arbetet med att genomföra den nya EU-lagstiftningen (åtgärd 56⁶) samt skapa mekanismer för långsiktig prissäkring (åtgärd 59⁷). Ett arbete kommer behöva ske för att säkerställa att marknadsreglerna skapar långsiktighet i investeringar av ny produktion, energilagring och efterfrågefleksibilitet. Arbetet kommer även behöva säkerställa att det inte finns några nationella marknadsregler som skapar snedvridningar mellan produktion, energilagring och

⁶ 56. EU:s nya elmarknadsdesign genomförs och efterlevs. Regeringen avser att intensifiera arbetet med att genomföra den nya EU lagstiftningen på ett sätt som bidrar till en mer effektiv elmarknad som kan stödja en framgångsrik elektrifiering. Samtidigt bör efterlevnaden av befintliga och nya elmarknadsregler säkerställas.

⁷ 59. Mekanismer för långsiktig prissäkring. En fördjupad utvärdering ska göras av om den finansiella elmarknaden fungerar på ett tillfredställande sätt utifrån ett kraftigt ökat elbehov med längre tidshorisont. Utvärderingen bör bl.a. inkludera frågan om prissäkringsmöjligheter genom olika börser, mäklare och bilaterala avtal mellan marknadsaktörer (PPA:er). Om prissäkringsmöjligheterna bedöms otillräckliga eller om de påverkar elmarknaden på ett negativt sätt ska förslag lämnas på möjliga förbättringar.

efterfrågefleksibilitet. Nedan följer några exempel där marknadsreglerna kan behöva ses över och utvecklas.

Funktionskravet

Funktionskravet innebär att ett avbrott till en elanvändare inte ska vara längre än tjugofyra timmar (4 kap. 20 § ellagen 1997:857). Ett ytterligare funktionskrav ställs i Ei:s föreskrift EIFS 2013:1 (kap. 4) som innebär att avbrott till stora uttagpunkter (över 50 MW) inte får vara längre än två timmar vid normala återställningsförhållanden. Av definitionen i föreskriften framgår att avbrott är tillstånd då uttags-, gräns- eller inmatningspunkten är elektriskt fränkopplad i en eller flera av faserna från spänningssatt koncessionspliktigt genom till exempel kopplingsmanöver i elnät eller till följd av yttre händelser såsom utrustningsfel eller störningar. Detta tillstånd resulterar i en spänning nära eller lika med noll i en eller flera av faserna i uttagpunkten. Kritik har kommit från industrin och elnätsbolag att funktionskraven inte är önskvärda för flexibilitet inkl. energilagring eftersom exempelvis energilagransanläggningar ofta inte har ett behov av en så hög tillförlitlighet. Genom 4 kap 21§ ellagen som gäller från 1 juli 2022 möjliggörs för Ei att meddela föreskrifter om undantag från funktionskravet. Det pågår idag ett arbete med att revidera föreskriften på Ei (EIFS 2013:1).

Icke koncessionspliktiga nät

I förordningen (2007:215) om undantag från kravet på nätkoncession enligt ellagen (1997:857), icke koncessionspliktiga nät (IKN), finns inte energilagransanläggningar med eftersom lagring tidigare inte funnits med i svensk lagstiftning. IKN-förordningen kan behöva uppdateras, förtydligas och inkludera energilagring där det är lämpligt. EU-lagstiftningen innebär bland annat att energilagring inte får diskrimineras. Utöver uppdateringen är det viktigt att Ei har tillräckligt med resurser för att snabbt ge bindande besked.

Regelverk för vätgas

I Sverige finns ingen lagstiftning som specifikt reglerar vätgas. När vätgas överförs i ett naturgassystem tillämpas naturgaslagen (2005:403). För koncession tillämpas möjligen lagen (1978:160) om vissa rörledningar, den så kallade rörledningslagen. Det är inte helt självklart att rörledningslagen omfattar vätgas, vilket skulle innebära att regelverk för koncession saknas. Rörledningslagen utvecklades ursprungligen 1978 för att bygga ut naturgasledningarna under 1980-talet. Lagen innebär att koncession även krävs för rörledningar som inte används för naturgas. Rörledningar för transport av råolja eller produkt av råolja eller av annan vätska eller gas som är ägnad att användas som bränsle får inte dras fram eller användas

utan särskilt tillstånd (koncession). Koncession krävs även för att dra fram och använda en rörledning för transport av koldioxid som ska lagras geologiskt. Däremot krävs inte koncession om rörledningens längd är kortare än 20 kilometer, om rörledningen huvudsakligen nyttjas för enskilda hushåll eller uteslutande nyttjas inom en hamn eller ett industriområde.

Enligt rörledningslagen ska Ei bereda ärendet och sedan lämna ett yttrande till regeringen som beslutar i ärendet. Detta innebär att det sker två remissrundor, en hos Ei och en hos Regeringskansliet, innan beslut kan fattas. Lagen har knappt tillämpats sedan 2000 och förutsättningarna skiljer sig idag jämfört med 1978 när lagen antogs. Idag ser flera aktörer osäkerhet kopplad till rörledningslagen som ett hinder och menar att det är svårt att veta vad som gäller.

Regeringen har belyst detta i den nationella strategin för elektrifiering och ämnar förtydliga förutsättningar för vätgas och elektrobränslen (åtgärd 16) samt analysera förutsättningar för att införa en reglering med intäktsram för vätgasledningar (åtgärd 17). Ei tillsammans med regeringen behöver vara förberedda på att utveckla ett regelverk för koncession av vätgasledningar och ett nationellt regelverk i samklang med övriga EU.

I december 2021 utkom förslag från EU kommissionen om en ny förordning och direktiv om gemensamma regler för de inre marknaderna för förnybar gas, naturgas och vätgas. Eftersom vätgas tidigare inte varit så omfattande föreslås att regleringen ska vara relativt begränsad, men med en vision. Visionen innebär en fullständig reglering där reglerna inte tillämpas direkt utan implementeras över tid. Tanken är att visionen kommer leda till investeringar som beaktar den kommande marknaden, och undviker uppkomsten av icke-konkurrensdriven infrastruktur samtidigt som den ger en flexibilitet av en stegvis upptrappning av regleringen.

Slutna distributionssystem

Slutna distributionssystem (SDS) är en ny företeelse inom distributionssystem som i motsats till IKN endast handlar om reglering och regelverket. SDS är inte kopplat till koncession. Ett slutet distributionssystem kan därför bestå av koncessionerade ledningar, IKN eller båda. Om ett nät inte beviljas status som slutet distributionssystem blir det enligt direktivet och EU-domstolens praxis ett vanligt distributionssystem och ska regleras som en sådan. Vid bedömningar eller lagstiftning för slutna distributionssystem bör nya energilagringsanläggningar likställas med ny produktionskapacitet. Exempel på slutna distributionssystem kan

vara direkta koncessionerade ledningar mellan en ny produktionskälla och ett energilager, som undantas reglering. Det kan även vara ett småskaligt system där energilagringen har viktiga funktioner, exempelvis för ö-drift och mikronät. EU-kommissionen fastställer i EU:s vätgasstrategi att slutna distributionssystem och direkta ledningar är tillräckliga för att reglera och möjliggöra vätgasens utbredning första fasen (år 2020 till 2025). Dessa regelverk bör ses över så att de implementeras som EU-kommissionen tänkt och att de på så vis möjliggör lokala energikluster. Ei har för närvarande ett regeringsuppdrag som handlar om att se över om den svenska lagstiftningen stämmer överens med elmarknadsdirektivets artikel 38 om slutna distributionssystem och lämna författningsförslag till regeringen. Uppdraget ska redovisas till regeringen i januari 2023.

Fördjupa analysen om systemnyttor

Det tredje inre marknadspaketet syftar till en effektiv användning av befintlig elinfrastruktur genom effektiva prissignaler i form av elpriser som speglar strukturella flaskhalsar i elsystemet och nättariffer som bland annat reflekterar situationer med knapphet i elnätet. Ren energi-paketet med elmarknadsdirektivet och elmarknadsförordningen visar vägen mot en framtid där nätföretagen hanterar kvarstående utmaningar genom en marknadsbaserad anskaffning av flexibla resurser när det är mer kostnadseffektivt jämfört med att bygga ut nätet.⁸

Smarta elnät, och alla andra lösningar som aktörerna kan genomföra, är en konsekvens av elmarknadens funktion och de förutsättningar den ger. Idealt sett bör ramarna vara sådana att aktörerna vid varje givet tillfälle fattar samhällsekonomiskt effektiva beslut. Ramarna ges av marknadsdesign, reglering av nätföretag och de styrmedel som finns för att nå politiskt uppsatta mål. Om samhällsekonomiska kostnader och nyttor värderas korrekt finns det incitament att utveckla teknik och ta fram nya produkter och tjänster så att de smarta åtgärder som kan bidra till att sänka kostnaderna för att upprätthålla energiförsörjningen också kommer till stånd. Utvecklingen sker då i konkurrens med andra möjliga sätt att sänka kostnaderna.⁹

Kostnader och nyttor för systemet som inte reflekteras i ett pris gör att aktörernas kalkyler inte reflekterar det samhällsekonomiska värdet. En utvärdering inriktad på att analysera vilka kostnader och nyttor som prissätts på en marknad och vilka som eventuellt inte gör det, är därför befogad för att säkerställa att det finns tillräckliga mekanismer för att ge marknadsaktörerna de incitament som krävs för

⁸ Kapcitorsutmaningen i elnäten 2020:6

⁹ Utvärdering av kostnader och nyttor av smarta elnät 2021:6

att energisystemet ska utvecklas på ett effektivt sätt. Det finns också skäl att titta närmare på i vilken utsträckning systemoperatörerna är förhindrade av regelverket att prissätta sådana nyttor och kostnader, och i vilken mån systemoperatörerna kan jobba mer aktivt för att utnyttja de möjligheter som regelverket medger.

Bilaga 3: Forskning och utveckling för ökad flexibilitet i transmissionsnätet

Innehåll

1	Inledning	4
1.1	Bakgrund.....	4
1.2	Metod och avgränsningar.....	4
1.3	Energiforskning i Sverige	4
2	Diskussion	6
2.1	Vilka forsknings- och utvecklingsinsatser behövs?	7
3	Större satsningar inom forskning och utveckling	9
3.1	Större programsatsningar	9
3.2	Nationella kompetenscentrum	11
3.3	Stora demonstrationer	14
4	Pågående och avslutade forsknings- och utvecklingsprojekt	19
4.1	Marknadsplatser och stödtjänstemarknader	19
4.2	Lagrings- och flexibilitetsresurser	20
4.3	Övriga projekt, inom områdena digitalisering, cybersäkerhet, resiliens och sociala aspekter	31

Sammanfattning

För att klara elsystemets långsiktiga behov av flexibilitet och lagring behövs forskning och utveckling inom området. Det pågår just nu många olika projekt, men det behövs sannolikt också fler insatser inom ett antal strategiska områden, såsom vätgas, laddning, smart styrning, regionala och lokala system samt hur man uppnår ökad resiliens.

Bilden som målas upp från forsknings- och utvecklingsprojekten är att lagring och flexibilitet kan spela en avgörande roll i att underlätta för transmissionsnätets drift och planering, både i närtid och på längre sikt. Vilka lösningar som är mest relevanta för framtiden är dock svårt att avgöra. Rapporten tar upp ett brett urval av projekt och initiativ, allt från programsatser, kompetenscentrum, större demonstrationer samt forsknings- och utvecklingsprojekt.

Jämfört med för några år sedan har Sverige tagit flera kliv framåt när det gäller mognadsgrad inom lagrings- och flexibilitetsområdet. Det har vuxit fram helt nya flexibilitetsmarknader, såsom CoordiNet och Sthlmflex. Dessutom har de storskaliga industridemonstrationerna (exempelvis inom fossilfritt stål och power-to-x) blivit viktiga pådrivare för att främja flexibilitetslösningar i energisystemet. Detta sammantaget har gjort att Sverige har en stark position internationellt för att bli ledande inom de lösningar som behövs för att bidra till transformeringen till ett mer hållbart energisystem.

Rapporten innehåller många exempel på projekt med lagrings- och flexibilitetsreserver. Exempelvis kan flexibilitet inom bebyggelsen ha stor nytta för att lösa lokala behov, men om flexibiliteten aggregeras kan det även få nytta för transmissionsnätet. Den pågående forskningen visar att det finns många olika lösningar som skulle kunna aggregeras på detta sätt. Batterier har stor potential, och har flera nyttor beroende på vad batteriet ska användas för. Vätgas kan förmodligen bli en stor bidragsgivare av lagring och flexibilitet, räknat på de mängder vätgas som kommer att behövas i klimatomställningen av industrin.

Svenska kraftnät har möjligheten att vara en drivkraft för att innovativa lösningar inom lagring och flexibilitet kommer in på olika marknader och bidrar till samhällsnytta. Det behöver vara enklare att hjälpa transmissionsnätet med olika typer av tjänster, både för att sänka kostnaderna och skapa bättre säkerhet och stabilitet i driften men också för att skapa utrymme för samhällets utveckling.

Inom forskningen finns många idéer och lösningar som transmissionsnätet kan dra nytta av, både på kort och lång sikt.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Affärsverket svenska kraftnät har fått i uppdrag att göra en omvärldsanalys om lagring av el.

Uppdragsbeskrivning från Affärsverket svenska kraftnäts regleringsbrev för budgetåret 2022:

”Affärsverket svenska kraftnät ska i en omvärldsanalys, inklusive mot bakgrund av affärsverkets långsiktiga marknadsanalys, beskriva utveckling, potential och behovet av lagring av el och andra flexibilitetstjänster kopplat till drift, systemansvar, utbyggnad av transmissionsnät och för en väl fungerande elmarknad. Affärsverket svenska kraftnät ska utföra uppdraget i samarbete med Energimarknadsinspektionen och Statens energimyndighet. Uppdraget ska redovisas till Regeringskansliet (Infrastrukturdepartementet) senast den 30 november 2022.”

Denna delleverans syftar på att beskriva pågående insatser inom forskning och utveckling som är relevanta för uppdraget.

1.2 Metod och avgränsningar

Rapporten består av en övergripande beskrivning av relevanta forsknings- och utvecklingsaktiviteter inom lagring och flexibilitet som kan **underlätta för transmissionsnätets drift och planering idag och i framtiden**. Den innehåller ett axplock av forsknings- och utvecklingsprojekt och initiativ inom flexibilitet och lagring. Alla projekt och initiativ är svenska eller har svensk koppling. De flesta är aktiva projekt som är pågående med stödfinansiering.

Underlag och innehåll för rapporten har tagets fram genom intervjuer, intern workshop, och genomsökningar av flera projektdatabaser. Energimyndighetens, Vinnovas, och EU-projektdatabasen har undersökts för intressanta och relevanta projekt. Beskrivningar och sammanfattningar är oftast direktcitrat från projekten.

Intervjuer med experter inom området lagring och flexibilitet har gett perspektiv om forsknings- och utvecklingsbehov, prioriterade områden, och nyckelfrågor för utveckling. Experter inom vätgas, batterier och flexibilitet har tillfrågats. Utöver intervjuer, har en intern workshop på Energimyndigheten ägt rum där ca 20 forskning- och sakområdesexperter har gett sitt inspel och kvalitetsgranskat projektutbudet.

1.3 Energiforskning i Sverige

Energimyndigheten ansvarar för ett energiforskningsanslag på ca 1,4 miljarder kronor per år för att bidra till de energi- och klimatpolitiska målen,

näringspolitiska mål och forskningspolitiska mål. Forskning och innovation bidrar till att bygga upp den kunskap och kompetens som behövs för energiomställningen och för att ta fram nya lösningar som kan åstadkomma systemförändringar och accelerera omställningen. Energimyndigheten finansierar forskning och innovation som både är av grundläggande karaktär och marknadsnära. Myndigheten har flera pågående programsatsningar där företag, institut, universitet, högskolor eller offentlig sektor kan söka medel för att genomföra innovativa projekt inom olika temaområden. Medlen fördelas genom konkurrensutsatta utlysningar, och vid bedömningen av ansökningar tar Energimyndigheten hjälp av externa experter. Exempel på program är Bio+, Termo, FFI, Industrins energi- och klimatomställning, Framtidens elsystem samt Människa, energisystem och samhälle. Dessutom finns andra utlysningar för exempelvis internationella projekt, pilot- och demonstrationsprojekt samt kompetenscentrum. Energimyndigheten publicerar löpande information om utlysningar på sin hemsida.

Det finns även energiforskning som genomförs utanför energiforskningsanslaget, exempelvis genom Industriklivet (med en budget på 900 miljoner år 2022) som hanteras av Energimyndigheten samt genom andra forskningsanslag (exempelvis Vinnova, Formas, Vetenskapsrådet eller direkt från universitet och högskolor). Dessutom finansieras och samfinansieras en hel del forskning och utveckling från näringslivet själva, eller från olika stiftelser. Det finns också goda möjligheter att växla upp den nationella finansieringen genom att använda EU-medel, såsom Horisont Europa eller innovationsfonder. Inom ramen för Horisont Europa pågår just nu första utlysningen inom Clean Energy Transition Partnership, som kommer att bli ett viktigt verktyg för att stärka samarbetet mellan EU-länder och snabba på energiomställningen i Europa.

2 Diskussion

Bilden som målas upp från forsknings- och utvecklingsprojekten är att lagring och flexibilitet kan spela en avgörande roll i att underlätta för transmissionsnätets drift och planering, både i närtid och på längre sikt. Genom att inkludera flexibilitet i planeringsfasen tillåts flera användare att dela på den befintliga nätkapaciteten. Det kan handla om byggande av nya stadsdelar, omställning av industrier samt elektrifiering av transporter. Utan flexibilitet kan satsningar komma att försenas eller ställas in, eftersom kapaciteten helt enkelt inte räcker till.

Affärsverket svenska kraftnät har systemansvar för svenska elsystemet, vilket innebär att de hela tiden behöver hålla systemet i balans. De senaste åren har utmaningarna ökat, på grund av underhållsbehov, elektrifiering, tillväxt i städer, utbyggnad av förnybar elproduktion samt geopolitiska händelser. När marknaden inte själv klarar att säkerställa att användning och produktion är i jämvikt har Svk flera verktyg som hjälp i driften av transmissionsnätet, såsom frekvensmarknader, effektreserv och störningsreserv. Flexibilitet och lagring har väldigt goda möjligheter att bidra inom dessa områden.

Vilka av de lösningar som nämnts som är mest relevanta är dock svårt att avgöra. Det beror på var i systemet man är och vilka funktioner som behövs. Flexibilitet i bebyggelsen har förmodligen störst möjlighet att komma till nytta för lokala behov, men om flexibiliteten aggregeras kan det även få nytta för transmissionsnätet. Den pågående forskningen visar att det finns många olika lösningar som skulle kunna aggregeras på detta sätt. Batterier har troligtvis stor potential, men har också olika nyttor beroende på vad batteriet primärt ska användas för. Vätgas kan förmodligen bli en väldigt stor bidragsgivare av lagring och flexibilitet, räknat på de mängder vätgas som kommer att behövas i klimatomställningen av industrin.

Jämfört med för några år sedan har Sverige tagit flera kliv framåt när det gäller mognadsgrad inom lagrings- och flexibilitetsområdet. Det finns nu en insikt om att en hög grad av automation samt samverkan mellan olika aktörer (t.ex. TSO, DSO, kommuner, aggregatorer, marknadsplatser, användare och teknikleverantörer) behöver vara ledsagande i utformning av lösningar.

Det handlar också om att det vuxit fram helt nya flexibilitetsmarknader, såsom CoordiNet och Sthlmflex, där lösningar har fått prövas i skarpt läge och betalningsmodeller har förhandlats fram i samverkan mellan behovsägare och flexleverantörer. Dessutom har de storskaliga industridemonstrationerna (exempelvis inom fossilfritt stål och power-to-x) blivit viktiga pådrivare för att

främja flexibilitetslösningar i energisystemet. Detta sammantaget har gjort att Sverige har en stark position internationellt för att bli ledande inom de lösningar som behövs för att bidra till transformeringen till ett mer hållbart energisystem.

2.1 Vilka forsknings- och utvecklingsinsatser behövs?

Affärsverket Svenska kraftnät har en unik möjlighet att vara drivande för att innovativa lösningar inom lagring och flexibilitet kommer in på olika marknader och bidrar till samhällsnytta. Svenska kraftnät kan ha även en nyckelroll i utvecklingen av regionala och lokala elsystem, eftersom många av lösningarna återfinns på dessa nivåer. För att skapa mer innovation inom området flexibilitet och lagring behöver det vara enklare att hjälpa transmissionsnätet med olika typer av tjänster. Då finns möjligheten att sänka kostnaderna och skapa bättre säkerhet och stabilitet i driften men också möjlighet för att skapa utrymme för samhällets utveckling. De många FoU-projekten visar att det finns många idéer och lösningar som kan komma till nytta om det ges förutsättning för vidareutveckling och uppskalning.

Det behövs fler samverkansprojekt där TSO, DSO, kommuner, forskare, teknikleverantörer och användare jobbar tillsammans för att identifiera behov och lösningar. Intressanta frågeställningar är hur man skapar win-win i nätutvecklingsplaner, samt hur energisystemfrågor kan komma in tidigare i exempelvis detaljplanering och översiktsplanering. Dessutom hur trösklarna kan sänkas för att delta i olika typer av marknader. Det kan finnas geografiska aspekter, till exempel var någonstans det är mest optimalt att placera flexibilitetslösningar. Långsiktigt behövs mer kunskap om hur energiomställningen bidrar till rättvise- och demokratiaspekter i samhället, till exempel avseende de resurser som används och de områden som exploateras för att utveckla nya lösningar. Exempel på påverkan skulle kunna vara snabbare reglering av vattenkraft, ökade transporter av bränslen och ökad mineralutvinning för tillverkning av batterier och elektrolysörer.

Flexibilitet och lagring kan finnas inbyggd i elnätet, elsystemet och energisystemet. Denna rapport innehåller främst projekt där flexibilitet ingår i el- och energisystemet. Däremot finns det inte så många projekt med enbart elnätsfokus och ett område som inte är lika väl undersökt handlar om FACTS (flexible alternating current transmission system). FACTS är flexibilitetsutrustning som bland annat kan öka kapaciteten eller hålla spänningsstabilitet inbyggt i själva elnätsstationer och anläggningar. FACTS är ett viktigt område för transmissionsnätet där det finns ett behov av flera projekt.

Det behövs också kunskap om styrning och optimering av de nya teknikerna som just nu byggs ut i Sverige. Detta gäller både storskaliga vätgaslager och småskaliga batterilager (t.ex. i fordon). Det krävs mer kunskap om hur batteriers

livslängd påverkas av olika i- och urladdningscykler, t.ex. då de används på stödtjänstemarknader. Detta behöver kopplas till de faktiska behov som en fordonsägare har gällande exempelvis värdebevarande, bekvämlighet och prestanda.

Det verkar dessutom vara relativt få projekt som tar upp resiliens och robusthet, till exempel genom reservkraft, gasturbiner och ö-driftmöjlighet. De senaste åren har vi haft en stark tillväxt inom tekniker som är lokala till sin natur, såsom solceller, batterier och elbilsladdning. Fastigheter blir därför mer och mer att betrakta som centrala noder i energisystemet, där det skapas helt nya möjligheter för användaren. Utifrån ett samhällsperspektiv vore det fördelaktigt om det gick att nyttja lokala system även om överliggande nät drabbas av störningar. Till exempel för att använda elbilsbatteri för att driva kylskåp, eller att ladda elbilen direkt från solcellerna. Eftersom de största investeringarna redan är gjorda skulle det dessutom vara kostnadseffektivt, samt göra att samhället vid olika typer av störningar kan rikta sina resurser där det behövs som mest (till exempel sjukhus och äldreboenden). Hur sådana system ska utformas är en intressant forskningsfråga som behöver undersökas vidare. Det behövs dessutom praktiska demonstrationer av helhetslösningar.

Om vätgas ska kunna bli en viktig pusselbit i energiomställningen kommer det att behövas tillskott av kunskap och kompetens. Det saknas satsningar inom grundläggande utveckling som skulle behövas för att få en långsiktighet i vätgassatsningarna. Dessutom finns det risk att kompetensförsörjningen inte hinner med om tekniken skulle skalas upp kraftigt på kort tid.

3 Större satsningar inom forskning och utveckling

3.1 Större programsatsningar

Batterifondsprogrammet

Batterifondsprogrammet är ett forskningsprogram med inriktning mot batteriåtervinning och mot batterier för elsystems- och fordonstillämpningar. Programmet finansierar forskningsprojekt inom: batteriutveckling, diagnostik/mätning, styrning/användning, säkerhet, återanvändning, återvinning, och övrig relevant utveckling. Programmet finansieras med cirka 280 miljoner kronor (2017-2027) av Energimyndigheten via medel från Naturvårdsverket.

[Mer info](#)

Forsknings- och innovationsprogrammet SamspeL

Forsknings- och innovationsprogrammet SamspeL omfattar totalt 283 miljoner kronor under år 2016 - 2023. Programmet samlar Energimyndighetens insatser inom elsystemområdet och innefattar både samhällsvetenskapligt och tekniskt arbete. Programmet innefattar tre forsknings-, utvecklings- och innovationsområden: 1) kunskap och kompetens för en resurseffektiv utveckling av Sveriges kraftsystem, 2) nya tekniker, systemtjänster och marknadsmodeller som skapar mervärden för elsystemets aktörer, och 3) ledande svenska forsknings- och innovationsaktörer på en global marknad.

[Mer info](#)

Framtidens elsystem

Forskningsprogrammet Framtidens elsystem är från och med 2022 Energimyndighetens huvudsakliga satsning på forskning och utveckling inom elproduktion, elanvändning och framtidens elnät. Programmet pågår under åren 2022 - 2027 men kan komma att förlängas vid behov. Initialt är budgetramen 552 miljoner kr för hela programperioden.

[Mer info](#)

Fordonsstrategisk Forskning och innovation (FFI)

Fordonsstrategiska Forskning och Innovation (FFI) är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om gemensam finansiering av forsknings-, innovations- och utvecklingsaktiviteter med fokus på områdena klimat och miljö samt säkerhet. Satsningen börjar 2022 och innebär forsknings- och utvecklingsverksamhet för cirka 1 miljard kronor per år varav de offentliga medlen avser cirka 410 miljoner kronor per år.

[Mer info](#)

Pilot och demonstration

Energimyndighetens program för pilot- och demonstrationsprojekt tar sikte på omställning av energisystemen inom olika utmaningsområden. Dessa inkluderar samhällsutmaningar inom industri, transport, bioenergi, elsystem och bebyggelse. Programmet stödjer även systemdemonstrationer som även utforskar ekonomiska, infrastrukturella, regelverksmässiga och politiska förutsättningar.

[Mer info](#)

International Smart Grid Action Network (ISGAN) - Annex 6

Sverige leder ett utvecklingsarbete inom ramen för det internationella nätverket ISGAN. Annex 6 är kopplat till kraftöverförings- och distributionssystem och har som huvudmål att skapa en långsiktig vision för utvecklingen av framtidens hållbara kraftsystem. Fokus ligger på systemrelaterade utmaningar och på de teknologier, marknadslösningar och policyer som bidrar till utvecklingen av systemlösningar. Arbetet med Annex 6 främjar lösningar som gör det möjligt för elnät att förbättra säkerheten, tillförlitligheten och kvaliteten på elkraftsförsörjningen samtidigt som elnäten står inför utmaningar relaterade: utvidgning av elektrifiering, förnybara energikällor och distribuerad produktion, kunddeltagande, åldrande infrastruktur och framväxande informationsteknologisystem i realtid.

[Mer info](#)

Clean Energy Transition Partnership (CETPartnership)

Clean Energy Transition Partnership är ett kommande EU-partnerskapsprogram inom ramen för Horisont Europa. Partnerskapet omfattar hela Europa och kommer att främja och påskynda energiomställningen i alla dess dimensioner. Det kommer att göra det möjligt för gemensamma forsknings- och innovationsprogram från regional till nationell och global nivå, med stöd av näringslivet, offentliga organisationer, forskning och medborgarorganisationer, att göra Europa till en föregångare inom energiinnovation och så småningom till den första klimatneutrala kontinenten.

[Mer info](#)

ERA-NET Smart Energy Systems

ERA-NET Smart Energy Systems är ett europiskt nätverk som samlar nationella och regionala offentliga finansieringsprogram inom forskning, teknisk utveckling och demonstration. ERA-Net Smart Energy Systems har skapat en gemensam programmeringsplattform för att finansiera transnationella RDD-projekt inom tematiska områden som smarta elnät, regionala och lokala energisystem,

fjärrvärme och fjärrkyla, digital energi och smarta tjänster, mm. Nätverket har funnits sedan 2015 och kommer framöver att gå in i CETPartnership.

[Mer info](#)

Horisont Europa

Horisont Europa är EU:s forsknings- och innovationsprogram för 2021–2027 med en budget på 95,5 miljarder euro. Det tar itu med klimatförändringarna, bidrar till att uppnå FN:s mål för hållbar utveckling och stärker EU:s konkurrenskraft och tillväxt. Programmet underlättar samarbete och stärker effekterna av forskning och innovation när det gäller att utveckla, stödja och genomföra EU:s politik samtidigt som man tar itu med globala utmaningar. Det stöder skapande och bättre spridning av kunskap och teknik.

[Utlysningar kopplat till vätgas](#)

[Utlysningar kopplat till batterier](#)

Bridge

BRIDGE är ett initiativ från Europeiska kommissionen som förenar Horisont 2020-projekt för smarta nät, energilagring, öar och digitalisering för att skapa en strukturerad bild av övergripande frågor som uppstår i demonstrationsprojekten och som kan utgöra ett hinder för innovation. BRIDGE-processen främjar kontinuerligt kunskapsutbyte mellan projekt, vilket gör det möjligt för dem att med en enda röst leverera slutsatser och rekommendationer om det framtida utnyttjandet av projektresultaten genom fyra olika arbetsgrupper som företräder de viktigaste intresseområdena: datahantering, affärsmodeller, reglemente, och konsument- och medborgarengagemang.

[Mer info](#)

BATTERY 2030+

Det storskaliga forskningsinitiativet BATTERY 2030+ skapar en generisk verktygslåda för att förändra hur vi utvecklar och designar batterier i Europa. Det är en del av eu-kommissionens stöd på 272 miljoner euro för att förbättra och påskynda forskning och produktion av batterier. BATTERY 2030+ löper specifikt under åren 2020-2023, med en trolig fortsättning för att nå mål på medellång och lång sikt. Projekten implementerar forskningsplanen BATTERY 2030+.

[Mer info](#)

3.2 Nationella kompetenscentrum

Kompetenscentrum är ett av verktygen inom Energimyndighetens och Vinnovas forsknings- och innovationsfinansiering. Syftet med kompetenscentrum inom

energiområdet är att stärka samarbetet mellan näringsliv, offentlig sektor och akademi och därmed bygga upp både kunskap och kompetens för omställningen till ett hållbart energisystem.

Energimyndigheten beslutade i december 2021 om stöd till elva kompetenscentrum om ett totalt belopp av 594 miljoner kronor fördelat över 5 år. Finansieringen är tredelad, vilket innebär att Energimyndighetens stöd växlas upp med motsvarande stöd från lärosäten och forskningsinstitut respektive näringsliv och offentlig sektor. Den sammanlagda finansieringen motsvarar cirka 1,8 miljarder kronor.

Följande kompetenscentrum kan vara intressanta utifrån ett energilagrings- och flexibilitetperspektiv.

Svenskt centrum för el-energilagring och balansering

Finansierat av: Energimyndigheten

Huvudansvarig: Chalmers tekniska högskola

Samarbetande lärosäten och forskningsinstitut: Linköpings universitet, Lunds universitet, Karlstads universitet, Uppsala universitet

Svenskt centrum för el-energilagring och balansering (SESBC) vill vara en nyckelspelare för att nå visionen om ett 100 procent förnybart elsystem, genom formeringen av ett multidisciplinärt och internationellt konkurrenskraftigt svenskt nav för excellent forskning med stark industrisamverkan. Inkluderar hela kedjan från material, via komponenter till elsystemet och dess styrning.

RESILIENTa Energisystem Kompetenscentrum

Finansierat av: Energimyndigheten

Huvudansvarig: Mälardalens högskola

Samarbetande lärosäten och forskningsinstitut: Uppsala universitet, Högskolan i Gävle, Umeå universitet och RISE Research Institutes of Sweden AB

Fem forskningsorganisationer tillsammans med cirka 30 företag och offentliga aktörer har formulerat det nya kompetenscentret Resilienta energisystem. Syftet är att öka kunskap och kompetens om omställningen av det svenska energisystemet, mot hög tillförlitlighet och resurseffektivitet, samt låg miljöpåverkan. I centrum står kunskap om hur sektorkoppling mellan transportinfrastruktur, industri och byggd miljö, inklusive affärsmodeller och organisation, kan skapa ett resilient energisystem.

Swedish Electromobility Centre

Finansierat av: Energimyndigheten

Huvudansvarig: Chalmers tekniska högskola

Samarbetande lärosäten och forskningsinstitut: Kungliga tekniska högskolan, Linköpings universitet, Lunds universitet, Uppsala universitet, Statens väg- och transportforskningsinstitut, RISE Research Institutes of Sweden AB

Swedish Electromobility Centre är ett nationellt forskningscentrum för elektromobilitet. Elektromobilitet är en möjliggörare i utmaningar kopplade till att skapa hållbar mobilitet, på land, till sjöss och i luften. Forskning rör drivlinan med dess komponenter och styrsystem samt själva infrastrukturen, interaktionen mellan fordon och fordonets förmåga att utnyttja infrastrukturen.

Batteries Sweden (BASE)*Finansierat av: Vinnova**Huvudansvarig: Uppsala universitet**Samarbetande lärosäten och forskningsinstitut: Chalmers, Kungliga tekniska högskolan och RISE Research Institutes of Sweden AB*

Målet är att utveckla batterier med mycket hög prestanda samt nya batteriproduktionsprocesser för att befästa den starka svenska batteriforskningen. Batteries Sweden (BASE; f d SweBAL) är Sveriges batteriallians, för långsiktig batteriforskning med det långsiktiga målet att stödja svensk industri inom olika sektorer av batterivärdekedjan: från gruvdrift, material, batteriproduktion, batterianvändning, "second life" till återvinning.

Teknologier och innovation för en hållbar framtida vätgasekonomi*Finansierat av: Energimyndigheten**Huvudansvarig: Chalmers tekniska högskola**Samarbetande lärosäten och forskningsinstitut: RISE Research Institutes of Sweden AB*

Kompetenscentrumet TechForH2 genomför tillämpad multidisciplinär vätgasforskning med ett fokus mot tung transport. Centrumet fokuserar på integrationen av de tekniska lösningarna vid användningen. TechForH2 leds av Chalmers tekniska högskola med samarbetspartners som RISE, Siemens Energy, PowerCell Sweden, Scania, Volvo GTT, GKN Aerospace, Oxeon, Stena Teknik, Johnson Matthew och Inspirion.

Swedish Hydrogen Development Center*Finansierat av: Vinnova**Huvudansvarig: RISE Research Institutes of Sweden AB**Samarbetande lärosäten och forskningsinstitut: Swerim*

RISE Research Institutes of Sweden och industriforskningsinstitutet Swerim har, med stöd från industrin, fått projektfinansiering från Vinnova för att tillsammans utveckla ett nytt kunskapscentrum där olika komponenter och applikationer kan testas och utvärderas. De kommer att bygga upp en testbädd med fysisk anläggning (inklusive elektrolysör) i Luleå.

Kompetenscentrum för hållbara turbinbränslen för luftfart och kraftproduktion (CESTAP)*Finansierat av: Energimyndigheten**Huvudansvar: Lunds universitet**Samarbetande lärosäten och forskningsinstitut: RISE Research Institutes of Sweden AB och Luleå tekniska universitet*

Kompetenscentrum för hållbara turbinbränslen för luftfart och kraftproduktion (CESTAP) kommer att utveckla nya bränsleproduktionsvägar och fossilfria bränslen samt arbeta med potentiella modifieringar av turbinmotorer eller turbinmotorkomponenter för luftfart, sjötransport och reservkraftsproduktion. Projektet syftar till att stimulera produktionen och användningen av fossilfria bränslen inom luftfart och kraftproduktion.

Svenskt centrum för hållbar vattenkraft*Finansierat av: Energimyndigheten**Huvudansvarig: Luleå tekniska universitet*

Samarbetande lärosäten och forskningsinstitut: Uppsala universitet, Kungliga tekniska högskolan, Chalmers tekniska högskola, Karlstads universitet, Umeå universitet, Lunds universitet

Detta kompetenscentrum ska besvara frågor relaterade till att säkerställa att anläggningarna är säkra och har en lång livslängd, dvs. 60–100 år i drift, samt att implementera åtgärder för ekologisk rehabilitering av vattendrags ekosystem. Dessutom ska centrumet bidra till att optimera användningen av vattnet för att tillgodose behoven både för förnybar el och för att skydda den biologiska mångfalden.

Svenskt vindkraftstekniskt centrum (SWPTC)

Finansierat av: Energimyndigheten

Huvudansvarig: Chalmers tekniska högskola

Samarbetande lärosäten och forskningsinstitut: Luleå tekniska universitet, Lunds tekniska högskola, RISE Sicomp, RISE

Svenskt Vindkraftstekniskt Centrums vision är att vindkraftverk i Sverige har hög tillförlitlighet och kostnadseffektiv drift för att främja industrin och vindkraftsutbyggnaden i Sverige. Målsättningen är att forskningen ska leda till en ökad livslängd hos vindkraftverken med hjälp av bättre lastprediktering, optimal drift samt förebyggande underhåll och kostnadseffektiv elsystemintegration.

3.3 Stora demonstrationer

Följande avsnitt innehåller FoI-projekt och initiativ där beskrivningar är direktcitat från Energimyndighetens projektdatabas eller från projektets hemsida.

CoordiNet

Svenska partners: Vattenfall eldistribution, Eon, Svenska kraftnät, Uppsala kommun, Energiforsk, och Expektra

Totalbudget 150 miljoner kronor

CoordiNet är ett EU-finansierat Horizon 2020 projekt som pågår i sju olika länder. I Sverige drivs projektet i samverkan mellan Vattenfall Eldistribution, E.ON Energidistribution och Svenska kraftnät. Demonstrationsanläggningar med lokala marknadsplatser genomförs på fyra områden: Uppland, Malmö, Västernorrland/Jämtland och Gotland. Syftet med CoordiNet är att upprätta olika samarbetssystem mellan systemansvariga för överföringssystem, systemansvariga för distributionssystem och konsumenter för att bidra till utvecklingen av ett smart, säkert och mer motståndskraftigt energisystem. Särskild tonvikt kommer att ligga på analys och definition av flexibilitet i nätet på varje spänningsnivå, allt från TSO och DSO-domänen till konsumenternas deltagande.

[Mer info](#)

Sthlmflex

Partners: Svenska kraftnät, Vattenfall eldistribution, och Ellevio

Sthlmflex är ett FoU-projekt för att öka flexibiliteten i Storstockholm. Det bedrivs av Svenska kraftnät i samarbete med Ellevio och Vattenfall

Eldistribution. Inom ramen för Sthlmflex skapas en marknad för effektflexibilitet där elnätsbolag kan köpa flexibilitetstjänster av flexibilitetsleverantörer. För elanvändaren handlar det om att avstå eller minska elförbrukningen och för elproducenten att starta elproduktion. Målet är att motverka kapacitetsbrist i elnäten och därigenom öka leveranssäkerheten.

[Mer info](#)

Effekthandel Väst

Partners: Göteborg Energi Nät och NODES

Göteborgs effektbehov växer stadigt. För att motverka effekttoppar och använda elnätet mer effektivt har Göteborg Energi Elnät nu startat en marknadsplats för effekt. Potentialen för Effekthandel Väst är 100 MW, enligt företaget, vilket motsvarar två mellanstora svenska kommuners elanvändning. Effekthandel Väst är en lokal marknadsplats där Göteborg Energi Nät köper effektkapacitet från elnätsanslutna företagskunder. Handeln sker i samarbete med NODES, en oberoende marknadsoperatör och deras marknadsplats. Pilotfasen kommer att pågå från januari-mars 2022 och nästa fas mellan november 2022 –mars 2023.

[Mer info](#)

Fossil-free Energy Districts (FED)

Partners: Göteborgs Stad, Johanneberg Science Park, Göteborg Energi, Business Region Göteborg, Ericsson, RISE Research Institutes of Sweden, Akademiska Hus, Chalmersfastigheter, och Chalmers
Totalbudget 4,7 miljoner euro

Projektet Fossil-free Energy Districts, FED, var en innovativ satsning av Göteborgs Stad för att minska energianvändningen och beroendet av fossila bränslen i fastigheter. FED var en unik lokal handelsplats för el, fjärrvärme och fjärrkyla som utvecklades på Chalmersområdet tillsammans med nio partners 2016-2019. FED samfinansierades 2017- oktober 2019 av Europeiska regionala utvecklingsfonden genom initiativet Urban Innovative Actions, Europakommissionens satsning för att låta städer testa nya lösningar för sina utmaningar.

[Mer info](#)

Flexigrid

Svenska partners: Chalmers tekniska högskolan och RISE Research Institutes of Sweden AB
Totalbudget 10,4 miljoner euro

Flexigrid demonstrerar spjutspetsteknik och innovativa flexibla marknader som möjliggörs av avancerade tvärplattformar för lokala energiutbyten och ger flexibilitet till distributionssystemoperatörer för att säkerställa säker, stabil och prisvärd drift av elektriska distributionsnät för koldioxidutsläppande

energisystem med höga andelar förnybar energi (upp till och över 100 %). Genom att utnyttja digitala, smarta nätteknologier, IoT, blockchain, tillhandahåller FlexiGrid en transparent datahanteringsplattform genom att sända realtidsinformation om nätverkets villkor för att optimera observerbarheten av nätet och marknadens funktion.

[Mer info](#)

Integrid

Svenska partners: Elevio och Kungliga tekniska högskolan

Totalbudget 14,5 miljoner euro

InteGrids vision är att överbrygga klyftan mellan medborgare och leverantörer av teknik/lösningar såsom allmännyttiga företag, aggregatorer, tillverkare och alla andra agenter som tillhandahåller energitjänster, och därmed expandera från DSO:s distribution och åtkomsttjänster till aktiv marknadsfacilitering och systemoptimeringstjänster samtidigt som man säkerställer hållbarhet, säkerhet och leveranskvalitet.

[Mer info](#)

Interflex

Svenska partners: Eon

Totalbudget 22,8 miljoner euro

InterFlex undersökte användningen av lokal flexibilitet för att lindra begränsningarna i distributionsnätet. Projektet undersökte nya lösningar för att främja utvecklingen av distribuerade energiresurser och förbereda elsystemet för nya användningsområden, inklusive e-mobilitet. InterFlex medfinansierades av EU:s forsknings- och innovationsprogram Horisont 2020. Projektet avslutades i december 2019. Svenska demonstrationer var i Malmö och Simris.

[Mer info](#)

PARITY

Svenska Partners: Eon Energilösningar AB och CheckWatt

Totalbudget 9,4 miljoner euro

Ambitionen med PARITY-projektet är att ta itu med den "strukturella trögheten" hos befintliga distributionsnät genom att leverera ett transaktivt nät- och marknadsramverk. PARITY kommer att gå utöver de traditionella "top-down" näthanteringsmetoderna genom att leverera en unik lokal flexibilitetsmarknadsplattform som sömlös integrerar IoT och blockchain-teknik. Genom att tillhandahålla en marknad för automatiserat flexibilitetsutbyte baserat på smarta kontrakt och blockkedjor kommer PARITY att underlätta effektiva och transparenta lokala flexibilitetstransaktioner och belöna flexibilitet

på ett kostnadsreflekterande och symmetriskt sätt, genom prissignaler baserade på driftsbegränsningar i realtidsnätet och tillgänglig DER-flexibilitet.

[Mer info](#)

HYPERRIDE

Svenska partner: SciBreak

Totalbudget 8,2 miljoner euro

HYPERRIDE bidrar till implementeringen av DC och hybrid AC/DC-nät.

Riktlinjer för nätplanering och drift tas fram och tillgängliga dimensioneringsverktyg anpassade för DC. TRL för möjliggörande teknologier kommer att höjas med fokus på MVDC-brytare, sensorer och DC-mätenheter för att tillhandahålla fältfärdiga enheter för nätautomatisering och skydd.

Automatiseringsalgoritmer skapas, valideras och överförs till demosidor. Det handlar om koncept och lösningar för cybersäkerhet och felreducering för att undvika kaskadeffekter. Demonstrationer i Aachen (DE), Lausanne (CH), Terni (IT) kommer att visa upp ovan nämnda teknologier. Fördelarna med lösningarna utvärderas, särskilt integrationspotentialen för förnybar energi. Affärsmodeller skapas för produkter, tjänster och applikationer.

[Mer info](#)

Demonstration av stödtjänster från Smarta Solelparker för framtidens energisystem

Pågående forskningsprojekt med Solkompaniet Sverige AB

Totalbudget 39 miljoner kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

Demonstration av hur en Smart Solelpark lönsamt erbjuder stödtjänster som, utan att kompromissa på leveranssäkerheten, möjliggör en ökad andel sol i energimixen. Detta projekt visar hur reglerbara växelriktare, batterier och ultrakondensatorer kopplat till innovativa AI-drivna reglersystem skapar en Smart Solelpark som erbjuder en rad olika stödtjänster. Vissa stödtjänster har etablerade intäktsmodeller och marknader men projektet ämnar även utreda potentialen för, och kommersialisera nya tjänster, exempelvis för att adressera problem rörande god elkvalitet.

Systemförändring med lokalt delad energi - en samhällsekonomiskt lönsam modell (Tamarinden och Hammarby Sjöstad)

Pågående forskningsprojekt med RISE Research Institutes of Sweden AB

Totalbudget 58,4 miljoner kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

Projektet studerar Energigemenskap (EG) i bred mening och föreslår framtida lösningar för hur det kan ske i en juridisk, hållbar och affärsmässig kontext. Projektet studerar optimala lösningar för MEG eller FEG. För att täcka ca 80 % av fastighetsmarknaden och förstå drivkrafter för EG demonstreras två styrmodeller samt skillnader mellan ny- och befintlig byggnation i piloterna:

nybyggnad i Örebro driven av staden och befintlig i Hammarby Sjöstad driven av BRF. Riktlinjer för policy, upphandlingar, tjänster, innovationer, affärsplaner tas fram och visar EG:s potential för energi- och klimatomställning. Piloterna och samhället kan potentiellt halvera effektbehovet och spara ca 30% energi.

Boden plug and play

Partners: Bodens business park och Boden business academy.

Boden har flera satsningar som de tillsammans samlar under rubriken "Boden plug and play". Det handlar om energidriven näringslivsutveckling, där Boden tillhandahåller byggklar mark med gott om elöverföringskapacitet. Satsningar som är på gång är bland annat fossilfri stålproduktion, ammoniakframställning, datahallar där spillvärme tas tillvara i växthus och fiskodlingar samt frekvensstabiliserande batterier.

[Mer info](#)

HYBRIT

Samarbete: SSAB, LKAB och Vattenfall

Tillsammans gör SSAB, LKAB och Vattenfall en unik satsning för att förändra den svenska järn- och stålindustrin i grunden. HYBRIT-tekniken har potential att minska Sveriges totala koldioxidutsläpp med minst tio procent. Det motsvarar en tredjedel av utsläppen från industrin och kan i framtiden bidra till att minska utsläppen från järn- och stålproduktion i hela världen. I arbetspaket 1 värderas förutsättningarna för leverans av fossilfri el, bland annat genom att simulera HYBRIT-konceptets effekter på nuvarande elsystem. Projektet har även sett över möjligheterna att stödja omställningen till en fossilfri elproduktion genom att balansera systemet och säkerställa stabilitet i elnätet. Hur produktionskostnad och flexibilitet påverkas av installerad kapacitet för produktion och lagring av vätgas analyserades också.

[Mer info](#)

4 Pågående och avslutade forsknings- och utvecklingsprojekt

Följande avsnitt innehåller beskrivningar av projekt och initiativ där texterna ofta är direktcitrat från projektdatabaser eller projektets hemsida. Observera att detta avsnitt inte ger en komplett förteckning över projekt inom området, utan bara ger exempel på pågående och avslutade projekt inom för uppdraget relevanta ämnesområden.

4.1 Marknadsplatser och stödtjänstemarknader

Pilotprojekt om marknadsplats för handel med energi i det lokala energisamhället

Avslutat forskningsprojekt med Energiforsk

Total budget: 3 miljoner kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

Detta projekt utvecklade en design för en lokal marknad, med utgångspunkt i att den ska bidra till att lösa flera systemutmaningar och väga samman flera olika intressen inom ramen för en och samma marknadsdesign. Tre fokusområden för projektet var 1) hur en lokal marknad kan organiseras och hur roller och ansvar fördelas, 2) vilken funktionalitet en lokal marknadsplats kan besitta och hur handeln går till och 3) en fallstudie (Hammarby Sjöstad) för att konkretisera ovanstående punkter och för att förbereda för ett eventuell pilot- eller demonstration.

[Länk till slutrapport](#)

Nästa generation systemtjänster från ett hybrid BESS/hydro-system

Pågående forskningsprojekt med Skellefteå Kraftaktiebolag

Total budget: 24,4 miljoner kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

Skellefteå Kraft finansierar konstruktion, distribution och testning av en pilot-hybridanläggning för att tillhandahålla den nya systemtjänsten FFR som efterfrågas av SvK. Projektet ska verifiera att man, genom batterilagring i kombination med vattenkraft, ökar tillgängligheten och responstiden för frekvensreglering. Tekniken ger mindre slitage på turbinerna och en möjlighet att vara med på den nya marknaden för frekvensreglering vilket dagens tekniker inte gör. Piloten kommer inte bara tillhandahålla de kommande FFR-tjänsterna utan även anpassas för framtida nättjänst.

AI-styrd marknadsplattform för handel med flexibilitet

Pågående forskningsprojekt med Myrspoven

Samarbetande organisationer: NODA, Power2U, RISE, KTH, Greenlytics

Myrspoven har åtagit sig att undersöka förutsättningarna för att utveckla en automatiserad marknadsplattform för handel med flexibilitet för el, fjärrvärme och fjärrkyla. Projektet är ett samverkansprojekt mellan aggregatorer av

fastighetsenergi, fastighetsbolag, och energi-/nätbolag. Målet är att undersöka hur flexibilitetsprodukter för värme och el, som aggregatorerna frigör hos fastighetsägarna kan omsättas på en automatiserad marknadsplattform, och därmed upphandlas av nätägare och energileverantörer när behov finns.

[Mer info](#)

4.2 Lagrings- och flexibilitetsresurser

4.2.1 Batterier

Realtidsstyrning av Batterilager för Framtidens Flexibilitetsbehov

Pågående forskningsprojekt med Vattenfall AB

Totalbudget 7,4 miljoner kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

Batterilager i Uppsala. Projektet avser att utveckla en avancerad styralgoritm för flexibilitet och lagring som möjliggör för batterier att leverera nätnytta, utöver sin primära användning med att kapa effekttoppar och flytta energikonsumtion för elkonsumenten.

EINPUT: Eleffekt som tjänst från distribuerat batterienergilagrar

Pågående forskningsprojekt med Primrock AB

Totalbudget 2,8 miljoner kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

I projekt EINPUT ska en metod (E-in-P-ut) för leverans av eleffekt från ett distribuerat multifunktionellt batterienergilagrar till en lokal elförbrukare färdigställas och empiriskt verifieras. Projektet ska också utveckla en affärsmodell för att leverera eleffekt som tjänst samt ett tekniskt och affärsmässigt gränssnitt för leverans av eleffekt som tjänst till en lokal förbrukare.

Energy Storage

Avslutat forskningsprojekt med ALELION ENERGY SYSTEMS AB

Delfinansierat av Vinnova med 4,3 miljoner kr

Alelion Energy Systems AB har, i samarbete med Aalto University och Tempus energy, utvecklat en energisystemlösning som gör nya och befintliga batterier i truckflottor och logistikcentraler tillgängliga som energilagrar anslutna till energinätet. I projektet har man skapat möjligheter till energioptimering på flera nivåer med start lokalt inom truckflottan för att därefter kunna optimera på en högre nivå för hela energisystemet.

4.2.2 Vätgas

Balansering av vindkraft genom användning av kraftelektronik och flexibla vätgas-elektrolysörer

Pågående forskningsprojekt med Kungliga Tekniska Högskolan

Totalbudget 3,3 miljoner kr (finansierat av Energimyndigheten)

Syftet med projektet är att bidra till balansering av vindkraft genom användning av kraftelektronik och flexibla vätgas-elektrolysörer. Projektet ska utveckla och utvärdera olika typer av kraftelektroniska gränssnitt, med och utan batterier, lämpliga styrmekanismer för systemtjänster samt värdet för vindkraftsintegrationen.

Vätgasproduktion för ellagring efter elnätsnytta och affärsmodeller

Pågående forskningsprojekt med RISE Research Institutes of Sweden AB

Totalbudget 1,5 miljoner kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

Det aktuella projektet ska testa och undersöka olika affärsmodeller och regulatoriska förutsättningar för elhandel från ett lokalt byggnadsintegrerat energilagringssystem innehållande både batterier och vätgas. Projektet genomförs av forskare på RISE i samverkan med driftansvariga från VänerEnergi AB och anläggningsägaren Mariestads kommun.

Detaljerad analys state-of-the-art industriell elektrolys – fallstudie

Avslutat forskningsprojekt med RISE INNVENTIA AB

Totalbudget 2,3 miljoner kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

Projektet syftade till att undersöka möjligheterna för att minska två svenska processindustriers klimatutsläpp med upp till 33 kton CO₂/år genom att ersätta delar av sina nuvarande processer med storskalig elektrolys. Två fallstudier definierades utifrån Bolidens och Höganäs krav på kvalitet och mängd vätgas, redundans och överkapacitet.

[Länk till slutrapport](#)

Vätgas, energisystem och infrastruktur i norra Skandinavien och Finland – förstudie

Pågående forskningsprojekt med RISE Research Institutes of Sweden AB

Budget 4 miljoner kr (finansierat av Vinnova)

I denna förstudie analyseras förutsättningar, möjligheter och hinder för en vätgasinфраstruktur i norra Skandinavien och Finland. I projektet ska ett ramverk etableras som en bas för analysen av vilka beslut som krävs för att uppnå den mest hållbara lösningen.

4.2.3 Termiska energilagring

Regional och lokal integration av el- och värmesystem via energilagring

Avslutat forskningsprojekt med Uppsala universitet

Totalbudget 2,7 miljoner kr (finansierat av Energimyndigheten)

Termisk lagring i fjärrvärmesektorn ökar produktionsflexibiliteten och därmed potentialen för att kapa produktionstoppar från förnybar el till viss del men kan också bli begränsande när tidigare lagrad värme blir en konkurrent till kraft-till-

värmeproduktion i ett senare skede. På bostadsområdesnivå kan termisk lagring i kombination med kraftvärme och värmepumpar vara ett signifikant bidrag till att kapa produktionstoppar av lokalproducerad solceller samt bidra med balanskraft till den nationella kraftproduktionen.

[Länk till slutrapport](#)

4.2.4 Övriga energilager

Smartergy- predikterat lokalt effektstöd genom svänghjul och AI

*Pågående forskningsprojekt med Mutual Benefits Engineering AB
Totalbudget 300 000 kr (delfinansierat av Energimyndigheten)*

Smartergys modulära Power Banks skall med lagrad energi från elnät och vätgas leverera efter predikterad lokal effekt samt stödtjänst till Svenska kraftnät. Prediktering sker genom AI-verktyget DEEP, som används i fastigheter idag. Effektleverans sker med svänghjul. Batterier kan användas, men de har relativt kort livslängd och stort underhållsbehov jämfört med svänghjul. Projektets syfte är att verifiera förutsättningarna att förse lokala energibolag, industri och transportsektorn med effektkapacitet.

Ersättningströghet för ett kraftsystem dominerat av förnybara källor

*Avslutat forskningsprojekt med Uppsala universitet
Totalbudget 1,3 miljoner kr (finansierat av Energimyndigheten)*

Projektet demonstrerade och utvecklade en syntetisk svängmassa som är kontinuerligt aktiv. Det innebär att man kan bestämma erforderlig svängmassa som behövs för olika driftsituationer och sedan se till att den finns tillgänglig utan synkron drift på större elektriska maskiner. Systemet består av ett energilager och kraftelektronik som snabbt kan agera på störningar som finns på elnätet. Mätningar i labbskala visar att ett energilager kan tillföra den tröghet som behövs för att stabilisera frekvensen under normala driftförhållanden.

[Länk till slutrapport](#)

4.2.5 Storskalig förnybar elproduktion, t.ex. vindkraftparker eller hybridparker (sol/vind/batteri)

Nätskapande vindpark – koordinerad styrning av vindpark och energilager för storskalig integration av vindenergi

*Pågående forskningsprojekt med Chalmers Tekniska Högskola Aktiebolag
Totalbudget 5 miljoner kr (finansierat av Energimyndigheten)*

Detta projekts syfte är att utveckla en koordinerad styrstrategi för en vindpark och ett energilager och på detta sätt åstadkomma samma nätskapande funktionalitet som en vanlig synkron generator. Algoritmer för såväl normaldrift

som drift under felfall avses utvecklas. Vidare avses nya algoritmer för ytterligare nätsupport utvecklas med hjälp av de koordinerade algoritmerna.

Effektiv handel för integration av vindkraft

Pågående forskningsprojekt med Kungliga Tekniska Högskolan

Totalbudget 5 miljoner kr (finansierat av Energimyndigheten)

Vindkraftens variationer måste balanseras av övrig elproduktion och eventuellt även på förbrukningssidan. Detta projekt syftar till att ta fram verktyg för att utvärdera hur olika marknadsstrukturer påverkar integrationen av vindkraft i elsystemet. Den vetenskapliga utmaningen är främst att modellera handel inom dagen samt hur vindkraft-producenter och övriga aktörer ska agera utifrån de vindkraftprognoser som finns tillgänglig vid en viss tidpunkt.

Variationshantering för effektiv integrering av stora mängder vindkraft

Pågående forskningsprojekt med Chalmers Tekniska Högskola Aktiebolag

Totalbudget 4,3 miljoner kr (finansierat av Energimyndigheten)

Projektet syftar till att utveckla kunskap och underlag som behövs för att ta fram scenarier som visar hur vindkraft kan integreras på ett effektivt och systemvänligt sätt i det svenska elsystemet. Som en del i detta är målet att utveckla en modellerings- och analysmetodik som kan hjälpa till att visa på vindkraftsvänliga scenarier där variationshanteringsmöjligheter utnyttjas på ett effektivt sätt.

Vindkraftens potential och kostnader för att tillhandahålla systemtjänster till elnätet

Avslutat forskningsprojekt med RISE Research Institutes of Sweden AB

Totalbudget 1,6 miljoner kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

Genom systematiska aeroelastiska simuleringar, av en generisk landbaserad vindturbin, i ett modernt optimeringsverktyg, där olika reglerparametrar, vindvillkor, systemfel etc. automatiskt uppdateras för att täcka en mycket stor variabelmängd, beräknas värde (effektreserv och laster) och kostnad (produktionsbortfall) för olika nivåer av systemtjänst. Detta projekt syftade till att kartlägga vindkraftens möjligheter att tillhandahålla effektreserv samt hitta en optimal eller realistisk nivå på den kapacitet som vindkraften kan bidra med.

[Länk till slutrapport](#)

Vindkraftens potential och kostnader för att tillhandahålla systemtjänster till elnätet del 2

Pågående forskningsprojekt med RISE Research Institutes of Sweden AB

Totalbudget 1,5 miljoner kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

Genom att köra vindturbinerna med högre varvtal vid låga vindar kan vindkraften förse elnätet med systemtjänsten snabb frekvensreglering (FFR). Syftet med detta projekt är att utifrån marknadsinformation om ersättningsnivåer för respektive elproduktion och FFR-reserv anpassa en turbins körsätt för att maximera

ersättningen (= systemnyttan) för dessa två olika tjänster som vindkraftverket kan erbjuda. I projektet kommer reglersystemet i en generisk turbinmodell på 3,4 MW uppgraderas med marknadsinformation om ersättningsnivåer. Regleralgoritmerna kommer också att implementeras och testas på Chalmers forskningsturbin.

Vindkraft till vätgas till el och värme - Möjliggör mer vindkraft till energisystemet

Pågående forskningsprojekt med Krafttringen Energi AB (publ)

Totalbudget 2,3 miljoner kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

Projektet syftar till att med hjälp av vindkraft producera förnybar vätgas vid primärt de timmar då elpriset är lågt. Denna vätgas används sedan till ett närliggande bostadsområde där både el och spillvärme från bränslecellen kan användas till att stötta ett lågtempererat närvärmenät med både el och värme – elen för att driva värmepumpar vid behov av spets-el och värmen direkt in i närvärmesystemet. Detta kan möjliggöra att vindkraften blir mer planerbar och i förlängningen att vi kan få in mer vindkraft i elsystemet.

4.2.6 Smart laddning av elfordon

Effekthantering med smarta elmätare

Pågående forskningsprojekt med ELECTRO TEST SWEDEN AKTIEBOLAG

Totalbudget 2,4 miljoner kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

Under hösten 2021 börjar den nya generationen elmätare med standardiserat och öppet kundgränssnitt och med nästan realtidsegenskaper rullas ut av GEAB på Gotland. Detta möjliggör effektstyrning hos elnätskunderna. Att styrningen kan ske automatiskt utan att vara beroende av tredje part eller molntjänster är viktiga aspekter för allmän acceptans. Projektet skall installera och utveckla styrenheter som kan flytta effekt och därmed frigöra utrymme i elnätet för ett större antal elfordon och därmed uppfylla utmaning 2 och 4 i utlysningen. Målet är att etablera faktisk styrning lokalt och utröna i vilken grad lokalt producerad förnybar el kan behållas kvar och användas för att driva alla elfordon på Gotland.

Elbilar till allting – Mobilitet med extra tjänster (V2X-MAS)

Pågående forskningsprojekt med Chalmers Tekniska Högskola

Totalbudget 30,9 miljoner kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

Projektet utvecklar och demonstrerar tekniker inom området ”elbilar till allting” (V2X) och möjliga nyttor för intressenter och samhället i stort. De huvudsakliga lösningarna som utvecklas i projektet innefattar en bidirektionell AC ombordladdare från Polestar, V2X-kompatibla AC och DC laddstationer från CTEK och Ferroamp. Dessutom utvecklas avancerade styralgoritmer för nyttjandet av elbilsbatteriet samt affärsmodeller som möjliggör V2X ur ett ekonomiskt perspektiv.

Laddinfrastruktur och frekvensreglering - en fallstudie

Pågående forskningsprojekt med RISE Research Institutes of Sweden AB

Del finansierat av Vinnova med 799 384 kr

Projektet genomför en fallstudie centrerad kring Axess logistics anläggning i Malmö hamn och projektets övergripande mål och syfte är att utreda hur standardisering kan användas för att påskynda och öka användandet av elbilar som resurs för flexibilitetstjänster till elnätet.

4.2.7 Kraftvärme**Flexibla kraftvärmeverk för framtidens energi- och klimattjänster**

Pågående forskningsprojekt av Chalmers Tekniska Högskola Aktiebolag

Totalbudget 2 miljoner kr (finansierat av Energimyndigheten)

Syftet med projektet är att öka kunskapen om vilka krav som kommer ställas på kraftvärmearläggningar i det framtida svenska energisystemet och hur svenska kraftvärmearläggningar kan anpassas till dessa driftlägen.

Flexibla kraftvärmeverk för elsystem med volatila elpriser

Avslutat forskningsprojekt med Energiforsk

Total budget: 6,1 miljoner kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

En central fråga för projektet var under vilka förutsättningar är det lönsamt med produktflexibilitet mellan produktion av kraft, värme och primär frekvensreglering. Forskningsprojektet visar att en mer flexibel drift och försäljning av reglerkraft för kraftvärmeverk är teknisk möjligt och kan implementeras på flera olika sätt. Vidare har projektet undersökt de praktiska möjligheterna att möjliggöra frekvensreglering för kraftvärmeverk.

[Länk till slutrapport](#)

Undersökning av möjligheterna för svenska kraftvärmeverk att leverera reglerkrafttjänster

Avslutat forskningsprojekt med Solvina AB

Total budget: 1 miljon kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

Projektet undersökte möjligheterna för de svenska kraftvärmeverken att leverera reglerkrafttjänster samt vilka tekniska och ekonomiska konsekvenser detta innebär. Vid en utbyggnad av förnybar elproduktion är reglerkraft viktig för att bibehålla ett driftsäkert kraftsystem. Kunskap om konsekvenser av leverans av reglerkraft kan även bidra till att minska påverkan på elverkningsgraden vid den högre driftflexibilitet som krävs.

[Länk till slutrapport](#)

4.2.8 Vattenkraft/pumpkraft

Snabb reglerkraft från Vattenkraft

Pågående forskningsprojekt med Mittuniversitetet

Totalbudget 4 miljoner kr (finansierat av Energimyndigheten)

För att kunna bistå med snabb reglerkraft (FFR) avses teknik utvecklas i projektet för att använda ett energilager byggt av superkondensatorer i stället för batterier med tillhörande kraftelektronik. Projektet kommer studera effekter och konsekvenser för en möjlig implementation vid Sollefteåforsens kraftverk men den utvecklade tekniken är generisk och skulle kunna användas vid godtyckliga vattenkraftverk.

Underground Pumped Hydro Storage (UPHS)

Pågående forskningsprojekt med SENS AB

Totalbudget 29,8 miljoner kr (delfinansierat av EU:s LIFE-program)

Projektet blir det första i sitt slag i världen som demonstrerar det innovativa konceptet Underground Pumped Hydro Storage (UPHS). Projektet avser att bygga upp en pilotanläggning för att validera komponenter och system i en industriellt relevant skala och fullständiga driftsförhållanden. Pilotanläggningen kommer att tillhandahålla maximal frekvensreglering av 2 000 MWh energi/år (4% av en fullskalig anläggning).

Unik batterilösning vid Forshuvuds kraftverk

Pågående forskningsprojekt med Fortum

Sedan våren 2019 är en batterilösning vid vattenkraftverket Forshuvud i drift.

Batterierna används för att stödja kraftverket när det krävs små och snabba regleringar. Det är första gången i Sverige som detta görs med hjälp av batterier och vattenkraft.

[Mer info](#)

4.2.9 Efterfrågefleksibilitet från sektorn bebyggelse

Klusterinstallation för Sol-Geo-Hybrid – baserat på förnybar energi för effektiv energi och effekthushållning i bostäder

Pågående forskningsprojekt med Samster AB

Total budget 4,9 miljoner kronor (delfinansierat av Energimyndigheten)

Projektet skall ge alla möjlighet att installera ett högeffektivt bergvärmesystem med god lönsamhet. Det skall även fokusera på att minska energi- och effektbehov samt möjliggöra elbilsladdning utan elnätsförstärkning. Som resultat skall både den totala effekten och förbrukningen minska samt ersättas med förnyelsebar energi.

Klimatdriven effekthushållning i kvarteret Crossways

Pågående forskningsprojekt med Linnéuniversitetet

Total budget 1,8 miljoner kronor (delfinansierat av Energimyndigheten)

I nya stadsdelen Bäckaslöv i Växjö kommer kvarteret Crossways att utvecklas, bestående av fem byggnader inom service, kontor, mötesplats och livsmedelshandel. Framtidens förnybara energisystem som innebär väderberoende och mindre förutsägbar effekt behöver balanseras med hjälp av effekthushållning samt flexibilitet i användningen av energi. Denna utmaning kommer att mötas genom att utveckla en energi- och effektlösning på kvartersnivå med avseende på el, värme och kyla.

Energiflexibilitet från termisk tröghet i svenska småhus

Pågående forskningsprojekt med RISE Research Institutes of Sweden AB

Total budget 1,5 miljoner kronor (helfinansierat av Energimyndigheten)

Syftet med detta projekt är att utnyttja potentialen från den termiska massan i byggnaden för ökad flexibilitet i elnätet. Kvantitativa data på exempelvis värmeeffekt, flyttbar uppvärmning och inomhustemperatur kommer att tillhandahållas för ett brett utbud av det svenska byggnadsbeståndet genom IDA-ICE simuleringar. Resultaten från projektet kan fungera som bas och användas för ett brett spektrum av applikationer, till exempel utveckling av kontroll- och optimeringsstrategier för uppvärmning och uppskattning av flexibilitetspotential för en typ eller en grupp byggnader.

Flex-o-Mat: möjligheter med effektutjämning i storkök

Pågående forskningsprojekt med STUNS

Totalbudget 2,9 miljoner kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

I detta projekt ska man genomföra studier hur storköken kan bidra till att minska effekttoppar. Data från fem skolor i olika storlek och portionsantal samlas in, vilket kommer att leda till att man får fram resultat som kan användas nationellt. Åtgärderna förväntas leda till att storkök kan minska effekten med minst 25 procent.

Flexibilitet och energieffektivisering i byggnader med solex och fordonsladdning

Pågående forskningsprojekt med RISE Research Institutes of Sweden AB

Totalbudget 4,9 miljoner kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

Målet med detta projekt är att studera hur olika systemlösningar, kombinationer av systemlösningar samt styrning kan bidra till ökat utnyttjande av solex, vilka faktorer som är avgörande för att få ett sådant system effektivt samt vilka verktyg som kan användas för att öka systemets flexibilitet och potentialen för dessa. Bland annat kommer intern växel- och likströmsförsörjning i byggnaden, i kombination med lagring (termiskt och elektriskt), lastförflyttning samt solexprognostisering och lastprediktering studeras.

Storskalig laststyrning av värmepumpar i elnätet

Pågående forskningsprojekt med RISE Research Institutes of Sweden AB

Totalbudget 3,1 miljoner kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

Projektet syftar till att identifiera de flexibilitetshinder som finns i elnät och värmepumpar och föreslå lösningar för detta samt leverera en metod för att möjliggöra för balansansvarig eller aggregator i elnätet att kommunicera med laststyrning till individuella värmepumpar. Projektet förväntas även bidra till att en de facto standard för hur värmepumpar kan styras efter elnätens behov.

Bostäder för flexibilitet

Pågående forskningsprojekt med RISE Research Institutes of Sweden AB

Totalbudget 3,6 miljoner kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

Syftet med projektet är att utvärdera möjligheten att utnyttja värmelaststyrning i eluppvärmda bostäder (villor, radhus och mindre flerfamiljshus) för att möta det ökande behovet att hantera den aktiva effekten i de lokala lågspänningsnäten.

Aktiv laststyrning i flerbostadshus

Pågående forskningsprojekt med RISE Research Institutes of Sweden AB

Totalbudget 2,3 miljoner kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

Projektet avser att implementera ett system för aktiv laststyrning i en bostadsrättsförening. Olika styrstrategier och styrbara resurser utvärderas mot varandra för att ta fram ett verktyg som kan användas för underlag till investeringar, kostnadseffektivisera eleffektförbrukningen och i förlängningen indikera hur bostadsfastigheter kan tillhandahålla systemtjänster i form av efterfrågefleksibilitet till det överliggande nätet.

Nya samverkansmodeller på energimarknaden

Avslutat forskningsprojekt med Sustainable Innovation i Sverige AB

Totalbudget 7,8 miljoner kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

Projektet hade som mål att visa att man skulle kunna nå 1 MW styrbar effekt baserat på 500 kundinstallationer av Ngenics styrning av vattenburen värme. Målet grundade sig på tidigare indikeringar att ett vattenburet värmesystem har en snitteffekt på ca 2 kW, och att man således med 500 system aggregerat borde kunna slå av 1 MW. Projektet har visat att det snarare rör sig om ca 2 MW. Genom projektet har det visats att man redan med 250 system kan nå mer än 1,5 MW efterfrågefleksibilitet vid både morgon och kvällstopp. Det blir dessutom inte någon försämring av kundernas komfort, då ingen kund har fått någon kännbar sänkning av sin temperatur.

[Länk till slutrapporten](#)

Nätflexibla värmepumpar

Avslutat forskningsprojekt med RISE Research Institutes of Sweden AB

Totalbudget 3,6 miljoner kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

Projektet utvecklade och utvärderade potentialen hos kraftsystemtjänster som baseras på laststyrning av värmepumpar i olika byggnadstyper, s.k. efterfrågefleksibilitet. Potentialen har utvärderats dels kvantitativt i form av beräknad effektfleksibilitet och ekonomisk nytta, dels kvalitativt i form av en intervjustudie. Simuleringar av potentialen visar att man kan frigöra 10 MW under en timme för ett lokalt nätområde med 174 flerbostadshus genom att stänga av värmepumparna gemensamt. För ett elprisområde med drygt 10 000 flerfamiljshus är motsvarande siffra ca 170 MW.

[Länk till slutrapport](#)

DigiBreaker: Digital elbrytare för HomeGrid och framtidens intelligenta elnät.

Pågående forskningsprojekt med Blixt Tech AB

Totalbudget 24,3 miljoner kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

Syftet med detta projekt är att demonstrera en första prototyp av en digitala elbrytare för bostäder. Den digitala elbrytaren kan samla in realtidsdata och fjärrstyra laster via mjukvaruprogrammering i en enhet anpassad till vanliga proppskåp. Denna teknik har potential att möjliggöra lastbalansering i syftet att maximera andelen förnybara energikällor i nätet.

AutoFlex - Automatisk flexibilitets påverkan på kapacitetsutmaningen och effekttaxan. Skillnad mellan kollektiv optimering och konsumenters optimering?

Pågående forskningsprojekt med Ngenic.

Projektet avser att granska acceptans av automatiserade flexibilitetsprogram både ur kund- och systemperspektiv liksom att skapa underlag för nätföretag inför införandet av effekttaxa. Projektet har som mål att empiriskt visa att kapacitetsutnyttjandet kan ökas med minst 15% utan fysiska nätinvesteringar samt kartlägga utfall för olika optimeringsstrategier.

Användarvänlig plattform för efterfrågefleksibilitet via virtuella batterier

Avslutat forskningsprojekt med Emulate energy AB

Delfinansierat av Vinnova med 300 000 kr

Syftet med projektet var att lägga grunderna för reglertekniska utmaningar i styrning av en pool av flexibla hushållslaster.

Virtuella kraftverk i Väla Centrum

Pågående forskningsprojekt med Skandia Fastigheter

Siemens och Skandia Fastigheter har nu inlett ett samarbete för att bygga Sveriges första virtuella kraftverk av sitt slag på Väla Centrum. I Väla Centrums är energiresurserna utspridda på mer än 53 000 m² kommersiell yta, och utgörs av ventilationsaggregat, kylmaskiner, en reservkraftsgenerator och ett batteri. I

ett nästa steg kan fler energiresurser som exempelvis laddningsstolpar, belysning och värmepumpar komma att integreras i det virtuella kraftverket.

[Mer info](#)

Ny metod för storskalig energieffektivisering i städer – MUBES

Pågående forskningsprojekt med Kungliga Tekniska Högskolan

Total budget 5,4 miljoner kronor (delfinansierat av Energimyndigheten)

Projektet syftar till att utveckla en ny metod för automatisk generering av fastighetssimuleringar på stor skala för att utvärdera scenarier för energisystemet utifrån kommunala och regionala utvecklingsplaner. Verktöget avses därigenom kunna beräkna de resulterande värme- och kraftbehoven, och hur de interagerar med energisystemet, och hur den termiska trögheten i fastighetsbeståndet kan användas som ett energilager för att optimera investeringar och minska effekttoppar.

4.2.10 Efterfrågefleksibilitet från industrin

Flexibelt energisystem genom samverkan mellan fjärrvärmesystem, elsystem och industri

Pågående forskningsprojekt med Linköpings Universitet

Totalbudget 3 miljoner kr (finansierat av Energimyndigheten)

Projektet ska studera ett uppvärmningssystem som inkluderar värmepumpar, kraftvärmeanläggningar och industriell överskottsvärme och hur det tillsammans kan bilda en plattform för ökad andel sol- och vindel. Projektet ska redogöra vilka potentialer och utmaningar som finns i att skapa ett sådant samarbete mellan fjärrvärmesektorn, elsektorn och industrin, samt att utvärdera hur globala växthusgasutsläpp skulle påverkas av samarbetet.

Det pågår flera olika industriprojekt som har potential att ge mer lagring och flexibilitet till energisystemet, exempelvis

- Gävle hamn (Energioptimerat hamnkluster 2030 är ett 10-årigt program med huvudmål att sänka CO₂-utsläpp och öka energieffektiviteten),
- H2 Green Steel och SSAB (Fossilfritt stål producerat med vätgas),
- LKAB (Produktion av koldioxidfri järnsvamp),
- Northvolt (Tillverkning av batterier. Återvinning av förbrukade batterier),
- Massa- och pappersindustrin jobbar för att öka möjligheten till effektstyrning,
- Flera satsningar inom Power-to-X med både nya och befintliga industrier.

4.3 Övriga projekt, inom områdena digitalisering, cybersäkerhet, resiliens och sociala aspekter

Hard-to-Reach Energy Users

Pågående forskningssamarbete inom "Users TCP" (ett av IEAs tekniksamarbeten)

En betydande andel av den mänskliga befolkningen kan betraktas som "svåråtkomliga energianvändare". Det här är de människor som beslutsfattare, verktygsprogramchefer och forskningsexperter ofta kämpar för att engagera sig med. Detta trots våra många ansträngningar och insatser för att förändra beteenden kring energieffektiv teknikupptagning och teknikhantering samt energiförbrukning. Denna publiks hinder är ofta relaterade till förtroende, varför det är viktigt att identifiera och engagera betrodda budbärare eller mellanaktörer (ofta från samhället eller ideell sektor). Detta publiksegment blir ännu större när vi expanderar från svåråtkomliga individer och grupper i bostäderna, till de i icke-bostäder, särskilt den kommersiella sektorn - särskilt om vi tittar på alla bränslen och energitjänster, inklusive rörlighet. Detta, potentiellt mycket stora energianvändarsegment är i fokus för denna aktivitet.

[Mer info](#)

Social License to Automate

Pågående forskningssamarbete inom "Users TCP" (ett av IEAs tekniksamarbeten)

Social License to Automate Task undersöker de sociala dimensionerna av användarengagemang med automatiserad teknik i energisystem för att förstå hur slutanvändarnas förtroende för att automatisera byggs och upprätthålls i olika jurisdiktioner och kulturella miljöer.

[Mer info](#)

Vägledning för effektanpassade styrmedel

Pågående forskningsprojekt med Göteborgs universitet

Total budget 2,5 miljoner kronor (finansierat av Energimyndigheten)

Detta styrmedelsprojekt tar sin utgångspunkt i effektfrågorna och med en systemsyn analyseras frågan från två perspektiv, dels hur nuvarande styrmedel styr, dels en vision av ett mer effekt-anpassat system. En avgränsning görs till bebyggelsens behov av energi och möjligheterna att tillföra effektkapacitet. Syftet är att ge en kartbild över nuvarande styrmedel inom energiområdet och hur denna påverkar utvecklingen, vilket behov av styrning som bedöms föreligga och en kompass för att staten och andra aktörer ska kunna ta ut riktning för att göra förändringar.

Demonstrationsprojekt energigemenskaper

Pågående forskningsprojekt med RISE Research Institutes of Sweden AB som projektägare

Totalbudget 24 miljoner kr (finansierat av Energimyndigheten)

I projektet ska man bland annat undersöka möjligheterna till delning av energi mellan fastigheter, lokal solelproduktion och lokala energilagringsslösningar. Projektet ska bilda energigemenskaper i ett befintligt bostadsområde i området Hammarby sjöstad i Stockholm samt i ett nybyggt bostadsområde kallat Tamarinden i Örebro. Tillsammans har piloterna potential att kunna halvera effektbehovet och spara cirka 30 procent av energibehovet för de fastigheter som ingår i energigemenskapen

Regionala dialoger om den förnybara elproduktionens potential att avlasta elnätet

Pågående forskningsprojekt med Länsstyrelsen i Skåne Län

Totalbudget 2,2 miljoner kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

Elektrifieringen har en nyckelroll i den klimatdrivna energiomställningen. Under kommande år väntas Sveriges produktion av förnybar el byggas ut kraftigt. Samtidigt saknas det ibland utrymme i elnäten att överföra el från en plats till en annan och med en ökad mängd variabel förnybar elproduktion behöver systemet byggas annorlunda. Hur kan den förnybara elproduktionen integreras på ett smart sätt i det lokala elsystemet och bidra till att avlasta elnäten?

Informationsutbyte för effektiv och säker marknadsstyrd aktivering av distribuerade flexibla resurser

Avslutat forskningsprojekt med Kungliga Tekniska Högskolan

Totalbudget 3 miljoner kr (finansierat av Energimyndigheten)

Projektets mål var att utveckla automatiska metoder för semantiskt korrekt översättning av data som utbyts på marknaden till den kommunikation som krävs för aggregering och aktivering av flexibla resurser. Projektet har levererat en testbänk med ett flertal olika integrationspunkter implementerade och arbete med att modellera den semantiska nivån har påbörjats.

[Länk till slutrapporten](#)

DELAKTIG - Distribuerat energilager som tjänst i ett förnyelsebart elsystem

Avslutat forskningsprojekt med Primrock Holding AB

Totalbudget 2,9 miljoner kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

Projekt Delaktig har genomförts som ett experimentellt utvecklingsprojekt med syfte att validera ett multifunktionellt system och en affärsmodell för tillhandahållande av flera tjänster från ett distribuerat batterienergilager ("BESS-as-a-Service") i ett förnyelsebart energisystem. Projektet har identifierat, utvecklat och verifierat ett antal tekniska och kommersiella lösningar som hanterar principiella, informationsmässiga och tekniska hinder som tidigare

motverkade ett storskaligt kommersiellt införande av distribuerade, multifunktionella energilager i det förnyelsebara elsystemet.

[Länk till slutrapport](#)

Distribuerade fjärranslutna mätare för aktiv estimering av nätparametrar i realtid för digitala elkraftssystem

Avslutat forskningsprojekt med Chalmers Tekniska Högskola Aktiebolag

Totalbudget 1,9 miljoner kr (delfinansierat av Energimyndigheten)

Syftet med projektet var att utforska vilka möjligheter ett överlagrat kommunikationssystem tillför framtidens kraftelektronikdominerande elkraftssystem. Mer specifikt fokuserar projektet på lokala/distribuerade fjärrmätningar för att uppskatta viktiga systemparametrar för att få en ökad observerbarhet i elkraftssystemet. Målet var att tillhandahålla förståelse och ett system av algoritmer för att i realtid uppskatta kraftsystemets impedans vid en specifik anslutningspunkt för ett stort frekvensområde, vilket kan användas för en mer robust styrning av nätanslutna omriktare.

[Länk till slutrapport](#)

Nordic Early Warning Early Prevention System (NEWEPS)

Pågående forskningsprojekt med Svenska kraftnät

Projektet avser att bygga och testa en prototyp av ett nordiskt informationssystem som utnyttjar digitaliseringens möjligheter för tillståndsdetektering och planerar att testa ett proaktivt varningssystem samt möjlighet till automatisk styrning. Projektet omfattar det svenska deltagandet och forskningsinsatserna i det nordiska projektet.

Svenska kraftnät är ett statligt affärsverk med uppgift att förvalta Sveriges transmissionsnät för el, som omfattar ledningar för 400 kV och 220 kV med stationer och utlandsförbindelser. Vi har också systemansvaret för el. Vi utvecklar transmissionsnätet och elmarknaden för att möta samhällets behov av en säker, hållbar och ekonomisk elförsörjning. Därmed har Svenska kraftnät också en viktig roll i klimatpolitiken.

SVENSKA KRAFTNÄT
Box 1200
172 24 Sundbyberg
Sturegatan 1

Tel: 010-475 80 00
Fax: 010-475 89 50
www.svk.se

