

SMARTA ELNÄT

En översikt av svensk forskning med potential att accelerera utvecklingen av effektiva och hållbara elsystem

Johnn Andersson
Helena Lindquist
Sverker Molander

2017-07-17

Huvudrapport

RELOGOS

SAMMANFATTNING

Det globala energisystemet förändras i snabb takt som en följd av ökad efterfrågan, resursbegränsningar, behov att minska miljöproblem samt som en konsekvens av teknikutveckling inom flera områden vilken förändrar relativpriserna för olika energislag, och därmed energisystemets struktur. I detta sammanhang används ofta begreppet "smarta elnät" för att belysa olika aspekter av elsystemets omvandling.

Familjen Kamprads stiftelse har visat intresse för att stödja forskning inom smarta elnätsområdet och denna rapport utgör del av ett sådant beslutsunderlag inför eventuella kommande satsningar. Rapporten innehåller en kortare utredning av begreppet "smarta elnät", en översikt av den internationella kontexten samt en kartläggning av kunskapsbehovet och pågående relevant forskning och utveckling i Sverige. Den bygger på expertintervjuer, en kartläggning av forsknings- och utvecklingsprojekt samt rapporter och dokument som områdets aktörer gjort tillgängliga.

"Smarta elnät" ses som ett samlingsbegrepp för de nya tekniker som kan möjliggöra effektiva och ekologiskt hållbara elsystem, vilket kan ge den växande globala befolkningen långsiktigt välbefinnande. Området uppvisar omfattande internationell aktivitet som även reflekteras i Sverige i form av strategiska satsningar på politisk nivå, offentlig forskningsfinansiering, och utvecklingsaktiviteter inom näringslivet.

Även om begreppet "smarta elnät" för många leder tanken till tekniskt inriktad forskning och utveckling, så visar rapporten att de tekniska lösningarna som krävs för att skapa effektiva och hållbara elsystem till stor del redan finns tillgängliga. Det som behövs för att accelerera utvecklingen är snarare kunskap som kan bidra till att dessa nya tekniker kan användas på ett smart sätt. Därför krävs framåtriktade och vidsynta studier som fokuserar på att förstå framtidens möjliga elsystem, och vägen dit, i termer av förändrade tekniska lösningar, affärsmodeller, beteenden och regelverk.

Rapporten pekar emellertid på att den största delen av svenska forskningsprojekt inte möter detta kunskapsbehov. Majoriteten av forskningsfinansieringen går till projekt som förvisso är relevanta för området men som har en teknisk karaktär och angriper frågeställningar med utgångspunkt i hur det befintliga elsystemet fungerar, medan en betydligt mindre del går till projekt som möter behovet av samhällsorienterad kunskap som kan möjliggöra ett mer decentraliserat elsystem. Det finns emellertid ett antal svenska forskningsmiljöer som är engagerade i relevanta forskningsprojekt och som har potential att möta det identifierade kunskapsbehovet.

INNEHÅLL

Sammanfattning	2
Innehåll	3
1. Inledning	4
2. Om begreppet “smarta elnät”	5
3. Den internationella kontexten	8
4. Översikt av aktörer och initiativ	11
5. Behovet av ny kunskap och teknik	16
6. Forskning som kan möta kunskapsbehovet	20
7. Slutsatser och reflektioner	27
Appendix 1: Intervjupersoner och -metodik	29
Appendix 2: Genomförandemetodik för projektkartläggning	30

Bilaga 1: Samlad projektkartläggning

Bilaga 2: Pågående och relevanta projekt

1. INLEDNING

Familjen Kamprads stiftelse syftar till att stödja, stimulera och belöna utbildning och vetenskaplig forskning på ett sådant sätt att entreprenörskap, miljö, kompetens, hälsa och social utveckling främjas, och att resultat snarast och med kostnadseffektivitet ska kunna komma de många människorna till del. Stiftelsens styrelse har visat intresse för att stödja forskning inom området ”smart grids” – smarta elnät – och ett behov av beslutsunderlag beträffande stiftelsens framtida vägval för eventuellt stöd till området har identifierats.

Föreliggande rapport utgör ett bidrag till ett sådant beslutsunderlag. Rapporten har tagits fram av Relogos på uppdrag av Familjen Kamprads stiftelses styrelse. Arbetet med rapporten har genomförts av författarna under april-juli 2017.

Rapporten baseras på 15 intervjuer med experter samt en kartläggning av olika organisationer och grupperingar verksamma internationellt samt av svenska universitet, forskningsinstitut och företag med relevanta forsknings- och utvecklingsaktiviteter. Dessutom har ett försök gjorts att identifiera pågående relevanta forsknings- och demonstrationsprojekt. Utifrån detta material genomförs en kort begreppsutredning, en redovisning av den internationella kontexten, en översikt av svenska aktörer och initiativ, en redovisning av kunskapsbehovet så som det avspeglas i expertintervjuerna samt en genomgång av svensk forskning- och utveckling som möter det identifierade kunskapsbehovet, med fokus på några exempel på särskilt intressanta kunskapsmiljöer.

Författarna gör även ett försök att i någon mån peka ut några olika framtida utvecklingsmöjligheter. Rapporten ger emellertid inga explicita rekommendationer beträffande stiftelsens vägval, utan strävar efter att redovisa den pågående forskningen och det forskningsbehov som identifierats under intervjuerna.

Författarna framför också ett varmt tack till de experter som frikostigt delat med sig av sina erfarenheter och insikter under intervjustudien, samt till professor Tomas Kåberger som varit behjälplig under arbetet med rapporten på olika sätt.

2. OM BEGREPPET ”SMARTA ELNÄT”

Begreppet ”smarta elnät” har de senaste tio åren använts flitigt i debatten om energisystemets framtid. Nedan sätter vi begreppet i ett större sammanhang och tydliggör vad som i denna rapport avses med smarta elnät.

Existerande elsystem domineras av storskalig och centraliserad elproduktion från fossila bränslen, vilket skapar stora miljö- och samhällsproblem

Förbränning av fossila bränslen, mest för värmeproduktion och i transportsektorn, är det globala energisystemets huvudprocess. Den storskaliga elproduktionen sker också till stor del i förbränningsanläggningar som använder fossila bränslen, och till viss del biomassa, men även med kärnkraft och vattenkraft. Det finns ett antal problem med sådana system. Fossila bränslen, och kärnbränsle, är exempel på lagerresurser vars utvinning förr eller senare blir starkt begränsande. Utsläppen från förbränningsprocesser bidrar till klimatproblemet och en lång rad andra miljö- och hälsoproblem. Vattenkraft, liksom sol- och vind, är baserade på flödesresurser som begränsas av deras aktuella storlek – det energiflöde som finns vid en viss plats och en viss tid. Men mänsklighetens nuvarande, och förväntade, efterfrågan på energi bör under överskådlig tid kunna tillgodoses av förnybara flödesresurser – sol, vind och vatten. Till exempel används för tillfället endast cirka två tiotusendelar av den strålningsenergi som strömmar in från solen inom energisystemet. Biomassa är däremot en fondresurs som förnyas med tillväxtens hastighet, vilket möjliggör ett långsiktigt resursuttag så länge fondens kapital bevaras. Storskalig användning av biomassa för energiändamål konkurrerar emellertid om begränsade markresurser, som är nödvändiga för mat- och foderförsörjning samt bevarandet av biologisk mångfald och andra ekosystemtjänster.

Genom vetenskapliga och tekniska genombrott under 1800-talet blev el en allt viktigare energibärare under början av 1900-talet. De tekniker som användes för elproduktion under 1900-talet hade skalfördelar som gjorde att man byggde allt större elproduktionsanläggningar. Uppbyggnaden av lokala elnät stöddes av en utveckling som minskade distributionsnätens förluster. Något senare under 1900-talet möjliggjorde högspänningsteknik att långväga transmissionsnät kunde byggas upp för att koppla samman avlägsna lokaliserade generatorer med tätorter, samtidigt som elproduktionsanläggningarna blev ännu större för att försörja allt fler med alltmer el. Balansen i elsystemen sköttes genom att produktionen anpassades till konsumtionen, vilket gynnade stora elsystem där många konsumenters ostyrda elanvändning blev lättare att hantera ju fler de var. Resultatet blev centraliserade elsystem där stora maktkoncentrationer byggts upp kring infrastruktur för produktion, transmission och distribution av el.

Även om de tekniker som idag dominerar energisystemet möjliggjort välbefinnande för stora delar av jordens befolkning, så är energisystemet beroende av begränsade resurser och orsakar en rad allvarliga miljö- och samhällsproblem. Det befintliga energisystemets teknik kan därför inte användas för att ge den växande globala befolkningen långsiktigt välbefinnande.

El kan genereras och distribueras med relativt små energiförluster, och med relativt liten miljöpåverkan från produktionskedjan från generering till slutanvändning. De miljöeffekter som följer av en utbredd och storskalig användning av fossila och bio-bränslen är av en helt annan storleksordning och karaktär. En fortsatt elektrifiering av processer som tidigare varit baserade på förbränning är därför viktigt. De övergripande miljö- och resursproblemen utgör, tillsammans med nya tekniska möjligheter, en viktig drivkraft för elsystemets utveckling.

Ny teknik gör det möjligt att skapa ett effektivt och hållbart energisystem baserat på förnybara energikällor, men förändrar också elsystemets förutsättningar och struktur

Teknikutvecklingen under de senaste decennierna har skapat nya möjligheter att möta människors efterfrågan på energi utan att orsaka allvarliga miljö- och samhällsproblem. Även energisystem baserade på förnybara energikällor har emellertid inverkan på miljön, och det är mycket stora skillnader mellan olika förnybara energikällor. Moderna tekniker för utvinning av förnybar energi är dock i de flesta fall bättre ur miljösynpunkt än fossilbaserade och teknikutvecklingen har lett till kraftiga kostnadsminskningar. Redan idag är sol- och vindel konkurrenskraftiga utan subventioner i större delen av världen. I takt med att elpriset sjunker som konsekvens av den nya tekniken blir el mer attraktiv som energibärare inom andra sektorer, vilket ytterligare drivs på av den ofta höga verkningsgraden i elbaserade energisystem. Elektrifieringen syns idag tydligast inom transportsektorn, där elfordon snabbt sprids på många marknader. Även användningen av el för att generera värme och kyla kan eventuellt öka, även i olika industriella processer. Därtill effektiviseras själva elanvändningen i snabb takt – en värmepump kan minska elbehovet för att värma ett hus till en fjärdedel och lysdioder minskar elbehovet för belysning till en bråkdel jämfört med en glödlampa.

Produktionen av sol- och vindel varierar över dygn och säsong samt med väder, vilket inte användningen gör på samma sätt. Detta skapar utmaningar för elsystemen. Solel möjliggör småskalig elproduktion som är distribuerad i elsystemet och ger omvända elflöden i det som tidigare var (enbart) distributionsnät. Elektrifieringen av transportsektorn förändrar elanvändningens karaktär. Till exempel kan elanvändningen öka, istället för att som för tillfället stagnera, och eventuellt kan högre krav komma ställas på överföringskapacitet när många fordon ska laddas samtidigt. Detta gör att det blir värdefullt att kunna styra effektbalansen med nya metoder i elsystemen – de existerande elnäten behöver användas på ett ”smartare” sätt för att möta nya utmaningar.

Det sker också en parallell utveckling inom andra teknik- och kunskapsområden som gör det möjligt att tillvarata den nya energiteknikens potential. Avancerad informations- och kommunikationsteknologi gör det snabbt billigare att samla in, behandla, distribuera och använda information för att styra processer och apparater på olika nivåer i elsystemet. Det möjliggör i sin tur en mer effektiv handel med el som utgår från konsumentens efterfrågan av energi, lagring och flexibilitet. Teknikutvecklingen leder vidare till billiga komponenter och systemlösningar som minskar förluster i elnät av olika storlek – från hushåll till internationellt sammankopplade system. Dessutom sjunker priserna för energilagring, något som drivs av utvecklingen inom elfordonbranschen. Detta skapar också helt nya möjligheter att sammanlänka den intermittenta elproduktionen med komplexa konsumtionsmönster. De nya teknikerna ändrar alltså förutsättningarna för elsystemet som helhet.

Mer lokalt producerad förnybar elenergi betyder att elförsörjningen kan ske med mer decentraliserad elproduktion. Tidigare leverantörsberoende elkonsumenter kan bli så kallade prosumenter, som helt eller delvis använder sin egenproducerade el, kanske t o m köper och säljer el. Grupper av prosumenter kan samarbeta och utbyta över- och underskott med varandra i mindre elnät. Konsumenter kan låta billiga datorer anpassa elanvändningen efter den aktuella produktionen, vars pris varierar med tillgången. Billiga batterier möjliggör dessutom framväxten av lokala elsystem baserade på solel som är helt oberoende av ett nationellt elnät. Sammantaget möjliggör nya tekniker

ett framtida elsystem med en helt annan struktur, d v s delvis andra tekniska komponenter, nya typer av aktörer, förändrade roller för gamla aktörer, förändrade konsumentbeteenden, och eventuellt minskade maktkoncentrationer, något som är typiskt för de nuvarande elsystemen.

Teknikutvecklingen möjliggör ett mer decentraliserat elsystem och kan samtidigt förbättra funktionaliteten i den befintliga strukturen

Teknikutvecklingen kan leda till stora samhällsförändringar, särskilt då den troligtvis pekar mot ett mer decentraliserat elsystem. Ett mer decentraliserat system innebär att kunder minskar nyttjandet av elnätet och den storskaliga elproduktionen, vilket så småningom kan leda till att enskilda eller grupper av kunder helt kopplar bort sig från det stora elsystemet. Användningen av teknik för små fristående nät baserade på förnybara energikällor kan också snabbt höja levnadsstandarden i utvecklingsländer som saknar elnätsinfrastruktur.

Samtidigt som den nya tekniken möjliggör ett mer decentraliserat elsystem där transmissionsnätet spelar en mindre roll för många prosumenter, kan den användas för att åstadkomma större effektivitet på högre systemnivåer. Informations- och kommunikationsteknik gör det möjligt att skapa tjänster där kunder minskar sina kostnader genom att anpassa sin elkonsumtion till elpriset och elnätets behov av balans och flexibilitet. Elektrifieringen av transportsektorn skapar stor lagringskapacitet som även kan bidra till balans eller flexibilitet i elnätet, genom att fordonens batterier kan fungera som utjämning mellan tillfällena med god tillgång på el (och lågt pris) och tillfällena med mindre tillgång. Därtill skapar sammankopplingen av el- och värmesystemen möjligheter till termisk energilagring, vilket kan vara särskilt intressant vid de temporära överflöd av el som sol- och vindelens låga marginalkostnad och väderberoende ger.

Dessutom kan den nya tekniken leda till förbättringar av elsystemet inom ramen för den befintliga strukturen. Högspänningselektronik ökar elnätets kapacitet och nya slags komponenter och systemlösningar gör det möjligt att bättre styra flöden i stora och komplicerade system. Med modern informations- och kommunikationsteknik kan man mäta, övervaka och ibland avhjälpa fel i elsystemen på distans istället för genom besök.

Smarta elnät är ett samlingsnamn för nya tekniker som möjliggör elsystem som kan ge den växande globala befolkningen ett hållbart välstånd

Många av de företeelser som beskrivs ovan kan omfattas av begreppet "smarta elnät". Vi anser att begreppet bör ses i ett sammanhang av stora miljöutmaningar, nya tekniska möjligheter, behov att ersätta gammal infrastruktur och entreprenörer som ser nya affärsmöjligheter. I vissa sammanhang handlar det om automatisering av in- och utgående elflöden till en prosument med hänsyn tagen till pris och egen användning. I slutändan handlar det dock inte om smart teknik utan om aktörer som använder ny teknik på ett smart sätt för att skapa värden på olika samhällsnivåer. Det innebär att innebörden av "smarta elnät" beror på betraktarens föreställningar, värderingar och perspektiv. "Smarta elnät" kan alltså ses som ett samlingsnamn för de nya tekniker, affärsmodeller och regleringar som möjliggör ett effektivt och hållbart elsystem åt en växande global befolkning.

3. DEN INTERNATIONELLA KONTEXTEN

Smarta elnätsområdet ges global uppmärksamhet och det finns många delvis överlappande internationella samarbetsorgan, forskningsprojekt och andra initiativ. De samlar olika aktörer – från politiker och tjänstemän till experter, forskare, industrikoncerner och mindre företag – och fokuserar ofta på att sprida information och koordinera den utveckling som sker på nationell nivå. Inom EU:s olika program finns även exempel på större forsknings- och innovationsprojekt som samlar deltagare från flera länder. Nedan presenteras kortfattade de viktigaste aktörerna och initiativen utanför Sverige inom smarta elnätsområdet.

Globala samarbetsorganisationer

På global nivå sker mellanstatligt samarbete framförallt inom ramen för *International Smart Grid Action Network (ISGAN)*¹. ISGAN är ett samarbete på regeringsnivå vars syfte är att främja utveckling av teknologi, praktik och system samt verka för att ta fram gemensamma riktlinjer i frågor med betydelse för smarta elnätsområdet. Samarbetet startades som ett initiativ kopplat till *Clean Energy Ministerial*² och inordnas under *International Energy Agency (IEA)*³. ISGAN har 24 medlemsländer samt EU-kommissionen och Sverige är mycket aktivt. Deltagandet leds av Energimyndigheten och engagerar flera svenska experter inom olika arbetsgrupper. Inom IEA finns förutom ISGAN en rad andra *Technology Collaboration Programmes (TCP)* med relevans för smarta elnät, till exempel energisystemanalys, laststyrning och efterfrågefleksibilitet, energilager, energieffektiva produkter samt utbyggnad av förnybar energi. Organisation och arbetsinnehåll ser olika ut beroende på vilka medlemsländer som deltar och vilka aktörer som leder arbetet. Ett annat globalt initiativ är *Mission Innovation (MI)* som startades i samband med klimatavtalet i Paris 2015. MI har 22 medlemsländer samt EU-kommissionen och syftar till att påskynda omställningen till förnybara energilösningar. Initiativet syftar till att öka informationsutbytet mellan länderna, identifiera synergier mellan forsknings- och innovationsinsatser samt engagera och främja att viktiga investeringar görs av näringslivet. Arbetet fokuserar på ett antal utpekade innovationsutmaningar, varav en handlar om smarta elnät⁴. Sverige deltar i arbetet men leder inte något område.

*Global Smart Grid Federation (GSGF)*⁵ är en intresseorganisation grundad 2010 som i likhet med många andra samarbetsorgan ska främja informationsutbyte och spridande av goda exempel kopplat till smarta elnät. Den har tolv nationella branschorganisationer som medlemmar. Sverige finns emellertid inte representerat. Arbetet inom GSGF fokuserar på interoperabilitet, användargränssnitt inom särskilt e-mobilitet och energilager samt anslutning av mikroproducenter.

¹ www.iea-isgan.org

² www.cleanenergyministerial.org

³ ISGAN räknas också som ett av IEA:s Technology Collaboration Programmes (TCP), se www.iea.org/tcp

⁴ www.mission-innovation.net/our-work/innovation-challenges/smart-grids-challenge

⁵ www.globalsmartgridfederation.org

Det finns även flera globala branschorganisationer som deltar i arbetet kring smarta elnät. *IEEE*⁶ är en av de största branschorganisationerna inom elkraftsområdet och spelar en viktig roll i utvecklingen av internationella standarder. Smarta elnät är ett viktigt fokusområde inom vilket man arbetar för att främja samarbete och koordinera aktiviteter mellan olika relevanta teknikområden. IEEE samlar både offentliga och privata aktörer och organiserar flera arbetsgrupper kring framför allt tekniska aspekter av smarta elnät. Medan IEEE är den viktigaste organisationen för aktörer i Nordamerika, samverkar den svenska branschen traditionellt sett genom organisationen *Conseil International des Grands Réseaux Électriques (CIGRÉ)*. CIGRÉ grundades redan 1921 som en internationell ideell förening med uppgift att möjliggöra expertsamarbete inom elkraftsområdet. Den samlar 2 500 experter från hela världen i olika arbetsprogram⁷, ofta med stor relevans för smarta elnät. Det svenska deltagandet i CIGRÉ samordnas av Energiforsk. Slutligen är *International Electrotechnical Commission (IEC)* en viktig global plattform för utvecklingen av internationella standarder inom elkraftsområdet. Den samlar offentliga och privata aktörer från 166 länder och Sveriges deltagande koordineras av SEK Svensk Elstandard⁸. En av IEC:s strategiska arbetsgrupper⁹ fokuserar på smarta elnät. Inom ramen för denna har man utvecklat en färdplan för standardiseringsarbetet, vilken inkluderar interoperabilitet, transmission, distribution, smarta mätare och cybersäkerhet. IEC har även utvecklat en interaktiv översikt över existerande standarder inom området.¹⁰

Europeiska samverkansinitiativ och forsknings- och utvecklingsprojekt

Inom EU finns en stor mängd samarbetsorgan och projekt på olika nivåer som relaterar till smarta elnätsområdet. Flera av initiativen utgår från utmaningar kopplade till att implementera den övergripande strategiska energiteknikplanen (SET-planen)¹¹. EU-kommissionen har till exempel skapat *European Technology and Innovation Platforms (ETIP)* inom olika områden för att samla aktörer inom energisektorn. En av dem – *ETIP SNET*¹² – fokuserar på att öka energisystemets motståndskraft, säkerhet och funktionalitet. ETIP SNET syftar till att ta fram och skapa engagemang för en europeisk vision, utveckla och uppdatera en strategisk färdplan samt följa upp implementeringen i medlemsländerna. En annan viktig pelare för implementeringen av SET-planen är *European Industrial Initiatives (EII)*. De är storskaliga industriella teknikutvecklingsprogram som syftar till att koordinera och skapa gemensamma mål för industriell energiforskning, och ett av dem fokuserar på smarta elnät¹³. Inom ramen för detta, och mer specifikt projektet Grid+, har man tagit fram en färdplan för perioden 2013-2022¹⁴ för europeisk forskning och innovation inom området. Sverige deltog framförallt genom Svenska Kraftnät men även Vattenfall fanns med som en av medlemmarna.

Inom den mer akademiskt inriktade forskningen är *European Energy Research Alliance (EERA)*¹⁵ en viktig sammanslutning av mer än 175 offentligt finansierade universitet och forskningsinstitut. EERA driver 17 gemensamma program som bygger på samordning av nationell finansiering. Ett av de dem – *EERA Smart Grids*¹⁶ – fokuserar på smarta elnät och har delprogrammen elnätsdrift, energy management, interoperabilitet mellan kontrollsystem, energilager samt transmissionsnät. EERA

⁶ www.ieee.org/

⁷ www.cigre.org/Technical-activities/Study-Committees-Working-Groups

⁸ www.elstandard.se

⁹ www.iec.ch/smartgrid/development

¹⁰ www.smartgridstandardsmap.com

¹¹ Dokumentet har spelat en nyckelroll i utformandet av EU:s energi- och klimatpolicy, se www.ec.europa.eu/energy/en/topics/technology-and-innovation/strategic-energy-technology-plan

¹² www.etip-snet.eu/about/etip-snet/

¹³ www.etip-snet.eu/European-Electricity-Grid-Initiative

¹⁴ www.gridplus.eu/Documents/20130228_EEGI%20Roadmap%202013-2022_to%20print.pdf

¹⁵ www.eera-set.eu

¹⁶ www.eera-set.eu/eera-joint-programmes-jps/smart-grids

Smart Grids har bland annat resulterat i forskningsprogrammet *ELECTRA Integrated Research Programme on Smart Grids*¹⁷. EU har även, knutet till EU-kommissionen, så kallade *Joint Research Centres (JRC)* som är viktiga stödfunktioner för EU-kommissionen och medlemsstaterna. Det finns sju JRC i fem EU-länder. Ett av instituten – *JRC Smart Electricity Systems and Interoperability*¹⁸ – fokuserar på smarta elnät och har bland annat utvecklat en virtuell karta¹⁹ med information om europeiska projekt och forskningsinfrastrukturer.²⁰

*ERA-Net Smart Grids Plus*²¹ är ett viktigt initiativ mellan 21 medlemsstater och regioner inom EU som koordinerar nationella och regionala finansieringsprogram för forskning, teknikutveckling och demonstration inom smarta elnätsområdet. Programmet fokuserar på att bygga upp samarbetsstrukturer på europeisk nivå och främja tvärssektoriella och interdisciplinära innovationer som kan bidra till implementeringen av SET-planen. Sverige, genom Energimyndigheten, har en ledande roll inom initiativet som vice ordförande tillsammans med Schweiz. Ett av de pågående initiativen inom ERA-Net Smart Grids Plus är konceptet *RegSys* som just nu förbereds för perioden 2018-2023. Det är ett gemensamt programinitiativ för 15 länder som syftar till att utveckla, demonstrera och validera integrerade och behovsmotiverade energilösningar på lokal och regional nivå med betoning på holistiskt tänkande. Genom partnerskap med forsknings- och näringslivsaktörer är ambitionen att stimulera innovativa lösningar nära slutanvändare. Programmet kommer att koordinera cirka 26 miljoner euro och resultera i 10-15 transnationella projekt med partners från olika sektorer.

Slutligen bedrivs även flera konkreta forsknings- och utvecklingsprojekt inom EU:s ramprogram, varav tre projekt ofta lyfts fram som särskilt intressanta.²² *Grid4EU*²³ är EU:s hittills största demonstrationsprojekt med en total budget om 54 miljoner euro. Projektet pågick 2011-2016 och testade smarta elnätslösningar inom områden som integrering av förnybar el, elbilar, automation i nätet, energilager, energieffektivisering och lastreducering. Sex stora energibolag deltog, bland andra Vattenfall, medan KTH deltog som akademisk partner. I Sverige fokuserade man på utvecklingen av övervakningssystem baserade på avancerad mätutrustning i sekundära ställverk. *Flexiciency*²⁴ är ett stort demonstrationsprojekt med en budget på 19,1 miljoner euro som pågår under perioden 2015-2019. Projektet syftar till att utveckla och demonstrera nya typer av tjänster och lösningar på elmarknaden, med fokus på elkonsumenter och data från smarta elmätare. Vattenfall ansvarar för en av fem demonstrationsanläggningar. Den avser avancerad energimätning med varningssystem, beslutsunderlag, kontrollsystem och flexibilitetslösningar, och innefattar en kundgrupp på 5000 användare i Stockholmsområdet. Även *Arrowhead*²⁵, som är Europas hittills största forskningsprojekt inom automation, har relevans för smarta elnät. Projektet pågick 2013-2017 och involverade cirka 80 partners och en budget på 68 miljoner euro. Det fokuserade på automation och interoperabilitet mellan smarta applikationer, bland annat inom energiområdet. Sverige hade en viktig roll som projektledare och koordinator genom Luleå Tekniska Universitet.

¹⁷ www.electrairp.eu

¹⁸ www.ses.jrc.ec.europa.eu

¹⁹ www.ses.jrc.ec.europa.eu/sites/ses.jrc.ec.europa.eu/files/u24/2014/project_maps_28_april_2014.html

²⁰ www.ses.jrc.ec.europa.eu/sites/ses.jrc.ec.europa.eu/files/u24/2017/report_sg_labs/jrc104803_jrc104803_sgli_report_2016_pdf_version.pdf

²¹ www.eranet-smartgridsplus.eu

²² Det är svårt att systematiskt kartlägga EU-finansierade forsknings- och utvecklingsprojekt på grund av bristande sökfunktionalitet i databaserna. De tre projekt som beskrivs är de som ofta nämns som särskilt av experter inom området.

²³ www.grid4eu.eu

²⁴ www.flexiciency-h2020.eu

²⁵ www.arrowhead.eu

4. ÖVERSIKT AV AKTÖRER OCH INITIATIV

Även i Sverige sker en omfattande utveckling inom smarta elnätsområdet. Nedan presenteras en översikt av viktiga aktörer och initiativ.

Politiska initiativ, reglerande myndigheter och forskningsfinansiärer

Allt sedan smarta elnät blev ett populärt begrepp för cirka tio år sedan har området fått stor uppmärksamhet på politisk nivå. Efter ett omfattande utredningsarbete²⁶ beslutade regeringen 2015 att tillsätta *Forum för smarta elnät*²⁷ inom Miljö- och energidepartementet. Forumet utgör en samverkansplattform för de centrala aktörerna inom området och dess ledamöter representerar flera perspektiv. Arbetet fokuserar på att utveckla dialogen om möjligheter och utmaningar, sprida information samt utarbeta en nationell strategi. Smarta elnät är också en central del av det slutbetänkande som *Energikommissionen*²⁸ överlämnade till regeringen i januari 2017, i syfte att lägga grunden till en bred överenskommelse om den framtida energipolitiken.

På myndighetsnivå kan en grov uppdelning göras mellan reglerande myndigheter och forskningsfinansiärer. Bland de förstnämnda är *Energimarknadsinspektionen* en särskilt viktig aktör med uppdrag att utöva tillsyn över och utveckla regleringen av elmarknaden samt stärka kundernas ställning. *Svenska Kraftnät* (ett statligt affärsverk med myndighetsutövande roll) förvaltar Sveriges stamnät för elkraft och ansvarar även för att säkerställa balans i elnätet som helhet. *Elsäkerhetsverket* utfärdar föreskrifter för elektriska produkter och installationer och medverkar i standardiseringsarbete med stor betydelse för smarta elnät. Därtill finns ett flertal myndigheter som kan tänkas spela en allt viktigare roll i takt med att elsystemet utvecklas som konsekvens av nya tekniker, till exempel *Boverket*, *Konsumentverket*, *Datainspektionen* med flera.

Den viktigaste forskningsfinansiären är *Energimyndigheten* som har ett brett uppdrag och ansvar inom energiområdet som även innefattar utveckling av nya lagar och regler. Energimyndigheten fördelar nästan alla statliga medel till energirelaterad forskning och utveckling. Det innefattar allt från grundforskning vid universitet och högskolor till utvecklingsprojekt inom mindre företag och storskaliga demonstrationsprojekt i samverkan med industrin. Energimyndigheten har även ansvar för olika främjande verksamheter, som också innefattar utvecklingsländer. Innovationsmyndigheten *Vinnova* finansierar projekt som fokuserar på innovation inom små och medelstora företag i energisektorn, ofta i samverkan med universitet, industriföretag och myndigheter. De insatser som relaterar till smarta elnät sker ofta i samarbete med Energimyndigheten och det finns visst överlapp mellan myndigheternas respektive ansvarsområden. *Formas* stödjer forskning inom områdena miljö, areella näringar och samhällsbyggande, och det finns flera exempel på projekt som är inriktade på

²⁶ Den statliga utredningens slutbetänkande kan läsas på www.regeringen.se/rattsdokument/statens-offentliga-utredningar/2014/12/sou-201484/

²⁷ Forum för smarta elnät samlar information och rapporter på www.swedishsmartgrid.se

²⁸ www.energikommissionen.se

smarta elnätsområdet. Därtill finansierar *Vetenskapsrådet* och *Stiftelsen för strategisk forskning* grundläggande forskningsaktiviteter inom flera relevanta områden.

Universitet, högskolor och forskningsinstitut

Framtidens energisystem bygger på kunskap från många forskningsområden, från kraftelektronik och informations- och kommunikationsteknik till mer samhällsvetenskaplig forskning, som t ex system- och beteendevetenskap. Därför finns relevanta forskningsaktiviteter på många universitet, högskolor och forskningsinstitut.

Kungliga tekniska högskolan anses vara ledande inom traditionell elkraftteknik på system- och komponentnivå samt inom relaterad data- och informationsteknik. Därtill bedrivs bred forskning om hållbara system på stads- och byggnadsnivå. *Uppsala universitet* har en omfattande forskning kring energiförsörjning, energilagring och förnybar energi, med stark koppling till materialforskningen vid Ångströmlaboratoriet²⁹. *Lunds universitet* bedriver forskning inom elkraft- och informationsteknik som ofta leder till standarder och produkter i nära samverkan med näringslivet. Därtill finns aktiviteter inom elnät, förnybar elproduktion och elfordon. *Chalmers tekniska högskola* har omfattande forskning om kraftproduktionssystem och transmissionsnätverk på både system- och komponentnivå, samt ledande systemorienterad forskning om framväxten av nya teknologier och deras interaktion med miljö och samhälle. *Linköpings universitet* studerar framförallt smarta elnät ur ett samhällsperspektiv. Forskningen fokuserar på hur olika tekniska lösningar påverkar vårt vardagliga handlande och hur förändringar i tekniska system möjliggörs. *Luleå tekniska högskola* inriktar sig framförallt mot forskning om integrering av stora mängder förnybar elproduktion i elnätet, elmarknadsreglering och energieffektivisering. *Umeå universitet* har ledande forskning om kundbeteenden på elmarknaden som ofta utgår från ekonomiska modeller. Slutligen samlar statligt ägda *RISE Research Institutes of Sweden* bred forskningskompetens inom flera relevanta områden. Arbetet syftar ofta till att skapa en länk mellan universitet och företag för att främja innovation. Av särskild relevans är institutens infrastruktur för mätning, test och demonstration av ny teknik.

Industriföretag, utvecklingsbolag och andra privata forskningsaktörer

Sverige har flera stora företag inom elkraftsområdet som bedriver relevant forskning- och utveckling. Ett exempel är *ABB* som är världsledande inom kraftelektronik och transmissionsystem. Därtill bedriver elproducenter och elnätsbolag, omfattande forsknings- och innovationsaktiviteter. Större aktörer som *Vattenfall*, *E.ON* och *Fortum*, samt mindre aktörer på regional och lokal nivå, deltar ofta i samverkansprojekt inriktade på test och demonstration av nya lösningar. Det finns också många ledande industriaktörer med kompetenser, förmågor och erbjudanden som kan förväntas spela en allt större roll i takt med att energisystemet förändras. Två exempel är *Ericsson* och *IKEA* som har mycket relevanta förmågor och redan idag omfattande aktiviteter inom energiområdet. Vidare deltar flera teknik konsulter i forsknings- och utvecklingsinitiativ. En viktig aktör är företaget *STRI*³⁰ som har ett ackrediterat högspänningslaboratorium beläget i Ludvika. *STRI* är involverade i ett flertal projekt och deltar aktivt i standardiseringsarbete kopplat till smarta elnät.

Delar av den forskning och utveckling som bedrivs inom näringslivet initieras och koordineras av privata aktörer som samlar utvecklingsbolag, etablerad industri och forskningsaktörer i olika typer av samverkansprojekt. *Energiforsk*³¹, som ägs av Svensk Energi (en branschorganisation) och Svenska Kraftnät, spelar en sådan roll och har omfattande aktiviteter med relevans för smarta elnät. *Power*

²⁹ www.angstrom.uu.se

³⁰ www.stri.se

³¹ www.energiforsk.se

*Circle*³², som beskriver sig som elkraftbranschens intresseorganisation, arbetar med samverkan, kunskapshöjande aktiviteter, demonstration och politisk påverkan. *High Voltage Valley*³³ är en samverkansplattform i Ludvika som syftar till att stärka regionens position inom elkraftteknik genom att främja forsknings- och utvecklingsprojekt. Initiativet startades 2005 av ett regionalt utvecklingsbolag tillsammans med ABB, STRI, KTH, Uppsala Universitet och Chalmers. Av särskilt intresse är emellertid organisationerna *Sustainable Innovation*³⁴ och *KIC Innoenergy*³⁵ (vars tematiska arbete inom smarta elnät drivs från Sverige) som driver flera mycket relevanta projekt. Dessa bedrivs ofta tillsammans med mindre utvecklingsbolag som utvecklar nya lösningar inom smarta elnätsområdet. En databas med svenska bolag tillhandahålls av Forum för smarta elnät.³⁶

Forskningsprogram

De aktörer som beskrivits ovan är engagerade i en uppsjö av forskningsprojekt med varierande relevans för smarta elnät. Följande satsningar lyfts emellertid ofta fram som särskilt viktiga.

*Svenskt centrum för smarta elnät och lagring (SweGRIDS)*³⁷

SweGRIDS är ett nationellt centrum för forskning och utveckling inom elkraftteknik och lagring som etablerades 2011. Den akademiska forskningen är lokaliserad till KTH och Uppsala universitet, och sker i nära samverkan med centrets industripartners som inkluderar flera storföretag, bland annat ABB, Vattenfall och Fortum. SweGRIDS fokuserar på tekniska frågeställningar inom områden som material, komponenter, informations- och kommunikationsteknik, energilagring och transmissions-system. Centret har en total budget på över 270 MSEK under dess första två etapper (2011-2018), med finansiering av Energimyndigheten (105 MSEK) och projektets partners.

*KTH ACCESS Linnaeus Centre*³⁸

Autonomic Complex Communication Networks, Signals and Systems (ACCESS) är ett av Europas ledande forskningscenter inom nätverkande system. Centret har en årlig forskningsbudget om drygt 100 MSEK och finansieras av Vetenskapsrådet, EU, VINNOVA, Stiftelsen för Strategisk Forskning och Knut och Alice Wallenbergs Stiftelse. Forskningen bedrivs av över 55 disputerade forskare och över 100 doktorander. Forskningsområden som omfattas är cyber-fysiska system, kommunikationsinfrastruktur, big data, nätverksbaserade tjänster och säkerhet, vilka alla har stor relevans för smarta elnät.

*STandUP for Energy*³⁹

STandUP for Energy är ett samarbete mellan Uppsala universitet, KTH, Sveriges lantbruksuniversitet och Luleå tekniska universitet. Forskningsprogrammet bildades som resultat av regeringens satsning på strategiska forskningsområden 2009. STandUP for Energy är en bred satsning med stor budget som innefattar områdena förnybar elproduktion, el- och hybridfordon, anslutning till elnätet och energisystem.

³² www.powercircle.se

³³ www.highvoltagevalley.se/

³⁴ www.sust.se

³⁵ www.innoenergy.com/thematic-fields/smart-electric-grid/

³⁶ www.swedishsmartgrid.se/foretag/

³⁷ www.swegrids.se

³⁸ www.access.kth.se

³⁹ www.standupforenergy.se

North European Power Perspectives (NEPP)⁴⁰

North European Power Perspectives (NEPP) är ett forskningsprogram som tar ett helhetsgrepp kring förändringar inom elmarknad, -produktion, -efterfrågan och -nät. Den akademiska forskningen sker på KTH och Chalmers i nära samarbete med konsultföretagen Profu och Sweco. Därtill sker samverkan med ett stort antal el- och nätbolag samt andra näringslivsaktörer. Projektet koordineras av Energiforsk och har en total budget på 29 MSEK som finansieras av Energimyndigheten (9,8 MSEK) och deltagande industriföretag.

Demonstrationsprojekt

Utöver forskningsprojekt så pågår ett antal demonstrationsprojekt. Vissa fokuserar på enskilda produkter och tjänster eller kompletta system på hushållsnivå medan andra tar ett bredare grepp och ofta integreras i utvecklingen av nya stadsdelar. Tre projekt av den senare typen har fått betydande finansiering av statliga myndigheter och lyfts ofta fram som "flaggskeppsprojekt". De beskrivs i korthet nedan.

Smart Grid Gotland⁴¹

Smart Grid Gotland genomfördes i huvudsak 2012-2017 och syftade till att uppnå optimal integration av stora mängder vindkraft i ett befintligt distributionsnät, visa på möjligheterna med nya tekniska lösningar för att öka kundernas elkvalitet i ett landsbygdnät med mycket distribuerad elproduktion samt att ge slutkunder möjligheter att aktivt delta på energimarknaden. Projektet berörde aspekter som energilagring, tjänster för balansering av elnätet genom vindkraftsproduktion, processer för informationsbyte mellan spänningsnivåer och för anslutning av distribuerad elproduktion, lösningar för personlig avbrottsinformation och automatisk återställning av nätet. Därtill genomfördes ett marknadstest där energiboxar installerades hos 280 elkunder. Dessa gav prissignaler som möjliggjorde smart styrning av hushållets energiförbrukning. Det fanns även en gemensam utvecklingsplattform som försörjde de olika delprojekten med tekniska installationer som populärt kom att kallas "det självläkande nätet". Detta inkluderade mätare, sensorer och brytare för att möjliggöra styrning och övervakning av distributionsnätet. Projektet kompletterades dessutom med nyutveckling av mjukvaruapplikationer för övervakning, styrning och optimering av elsystemet i syfte att kunna hantera större mängder data och ge operatörerna bättre översikt av tillståndet i systemet samt bättre beslutsstöd. Projektet visade att det är möjligt att öka andelen vindkraft i det befintliga elnätet samtidigt som avbrotten minskat. Detta åstadkoms genom att utnyttja kundernas flexibilitet vid hög vindkraftsproduktion samtidigt som styrningen av vindkraften optimerades. Marknadstestet visade att slutkunder kunnat sänka sin elförbrukning utan att komforten påverkats. Till exempel kunde de genom den installerade energiboxen se till att varmvattenberedaren slogs på automatiskt vid god tillgång på förnybar el och att den stängdes av när elpriset gick upp.

Projektet genomfördes av Vattenfall, ABB, Gotlands Energi, Svenska Kraftnät, Schneider Electric och KTH. Det hade en total budget på över 150 MSEK som finansierades av Energimyndigheten (45 MSEK), Vinnova (1,3 MSEK) och projektets industripartners.

Norra Djurgårdsstaden⁴²

Satsningen på smarta elnät i Norra Djurgårdsstaden i Stockholm har gjorts i flera faser och i olika konstellationer. Initiativet startade med en ambitiös förstudie 2010 som föreslog att stadsdelen

⁴⁰ www.nepp.se/

⁴¹ www.smartgridgotland.se/

⁴² www.swedishsmartgrid.se/vad-ar-smarta-elnet/intressanta-exempel/norra-djurgardsstaden/

skulle kunna utvecklas till ett provområde för att studera en mängd olika frågor kring optimering, styrning, underhåll och reglering av framtida smarta elnätlösningar. Det mynnade ut i satsningen "Det aktiva huset" som gick ut på att testa ny teknik för att visualisera och styra elförbrukningen i en verklig miljö, bestående av en familj i en lägenhet i området, som samtidigt utvärderades av forskare. Resultaten blev dock inte så bra som man väntat sig.⁴³ I den senaste etappen som fått namnet Smart Energy City⁴⁴ har man breddat ansatsen till att även mäta och styra uppvärmning och varmvatten. Projektet har utökats till att omfatta 170 nya lägenheter som är utrustade med smarta systemlösningar för inomhusklimat, belysning, smarta vitvaror och laddning av elbilar samt visualisering av lokal elproduktion från solceller. Satsningen inkluderar nya kommunikationslösningar och smarta nätstationer och i kombination med befintlig teknik så ska nya driftmodeller testas. I satsningen förväntas de boende ta en aktiv roll för att genom medvetna val kunna kapa effekttoppar och bidra till systemnytta.

I projektet ingår också att göra distributionsnätet mer funktionellt, till exempel genom att placera ut sensorer som kan ge viktig information om transformatorers drifttillstånd. Den andra delen av nysatsningen kallas "Smarta elnätet" och fokuserar på att testa lösningar för kommunikation, övervakning och styrning av distributionsnätet lokalt.

Det nuvarande projektkonsortiet består av ABB, Fortum, Electrolux, Ellevio, Ericsson och KTH. Sedan starten har projektet haft en total budget på cirka 145 MSEK som finansierats av Energimyndigheten (43 MSEK), Vinnova (10 MSEK) och de deltagande industriaktörerna.

Smarta nät för ett hållbart energisystem i Hyllie⁴⁵

Stadsdelen Hyllie i Malmö hyser flera fullskaledemonstrationer där man genom interaktiva informations- och kommunikationsteknik-lösningar och visualisering kan optimera energisystemets användning och på nya sätt kan integrera befintliga system för eldistribution, vatten, fjärrvärme och -kyla, och energilagring. I detta huvudprojekt var utgångspunkten att studera energisystemet ur ett helhetsperspektiv och därigenom åstadkomma hög energieffektivitet, bättre utnyttjande av befintliga flöden och förbättra förutsättningarna för mer förnybar intermitterent energi.

En del av projektet gick ut på att utveckla en plattform för smarta nät som tillsammans med fastighetsägare och byggherrar integrerats i fastigheternas automationssystem. Därtill testades system för mätning, kontroll och styrning av el- och värmeanvändning i 61 fastigheter. Kopplat till denna del var även energisparexperimentet 100Koll som är ett koncept för att ge boende kontroll över sin energianvändning. Vidare innefattar projektet temperaturdynamisk fjärrvärme som gör det möjligt att ta omhand mer överskottsvärme. Ny mät- och automationsteknik har också utvecklats i projektet för att möjliggöra ökad användning av lokalproducerad el. Slutligen har man tittat på möjligheterna som öppnas genom realtidskommunicerande elmätare, till exempel avseende distributionssäkerhet och kostnadseffektiva tjänster för elkonsumenter.

Projektet genomförs av ett konsortium bestående av E.ON, Malmö stad, Roth Fastigheter, MKB, Skanska, Malmö Arena, Lustgården, VA SYD, Lunds universitet, Lunds tekniska högskola, Chalmers tekniska högskola, Schneider-Electric och Siemens. Under perioden 2011-2016 har det en övergripande budget på närmre 200 MSEK som finansieras av Energimyndigheten (47 MSEK), E.ON, Malmö Stad och övriga projektpartners.

⁴³ www.nyteknik.se/nyheter/smarta-fiaskot-for-prestigebygget-i-norra-djurgardsstaden-6336033

⁴⁴ www.smartenergycity.se/

⁴⁵ Slutrapport för projektet finns tillgänglig på www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/projektdatabas/sokresultat/?projectid=16472

5. BEHOVET AV NY KUNSKAP OCH TEKNIK

Att förverkliga de miljö- och samhällsvärden som utvecklingen inom smarta elnätsområdet kan innebära kräver inte bara tekniska innovationer, utan även nya affärsmodeller och förändrade beteenden bland samhällets aktörer samt möjliggörande lagar och regler. Behovet av kunskap är därmed av både teknisk, psykologisk och social karaktär – vi behöver utveckla ny teknik, men också förstå de förutsättningar som krävs för att den ska kunna spridas och användas av många.

För att få en bättre förståelse av kunskapsbehovet har vi genomfört 15 intervjuer med experter och ledande företrädare inom smarta elnätsområdet. Intervjuerna visar att området kan betraktas utifrån olika perspektiv som alla ger viktiga insikter om det föreliggande behovet av forsknings- och utvecklingsinsatser. Nedan sammanfattas den bild som framträtt medan intervjupersonerna listas i Appendix 1.

Samhällsomvälvande innovation ställer krav på nytänkande

En vanligt förekommande tankegång bland respondenterna är att svensk forskning och utveckling i väldigt hög utsträckning präglas av den befintliga tekniska infrastrukturen och de industristrukturer och särintressen som historiskt skapats och möjliggjorts av det svenska elsystemets framväxt. Svenska energiforskningsmiljöer har oftast levt i symbios med industriaktörer inom områden som kraftelektronik och -transmission, vilket medför att nationella forskningsaktiviteter utgår från den kunskap som efterfrågas av aktörer som verkar inom ramen för dagens energisystem. Ett exempel är den stora satsningen på forskningscentret SweGRIDS, som med en total budget på över 270 MSEK mellan 2011-2018, dominerar den riktade offentliga forskningsfinansieringen inom området.

Svensk forskning- och utveckling har historiskt varit mycket framgångsrik genom att bädda för industriell uppbyggnad och nationell konkurrenskraft. Flera viktiga teknologier har utvecklats av svenska aktörer som i många fall fortfarande är världsledande inom områden som elkraft-, informations- och kommunikationsteknik. Trots detta efterfrågar många av de intervjuade modigare ansatser som ifrågasätter hur det befintliga elsystemet är strukturerat, vilket beror på att nya teknologier kan medföra stora omvälvningar av elsystemets struktur, så kallad disruptiv innovation. Detta kan ge ett energisystem som skiljer sig radikalt från det befintliga sett till maktförhållanden, kostnadsfördelning, roller och beteenden. I synnerhet pekar många på att energisystemet kan utvecklas mot att bli mer decentraliserat – när hushåll och andra kunder genererar mer el minskar eventuellt deras beroende av det nuvarande elsystemet.

För att bättre förstå de möjligheter, risker, drivkrafter och hinder som är förknippade med möjliga framtida energisystem krävs alltså en kunskapsuppbyggnad som utgår från de potentiella möjligheter som ny teknik ger. Att i alltför stor utsträckning utgå från det befintliga energisystemet kan leda till en begränsning av vårt sätt att tänka kring framtida energisystem vilket kan bli mycket problematiskt om utvecklingen går i någon annan riktning än den allmänt förväntade. Det kan dessutom leda till att viktiga möjligheter till minskad miljöförstöring, ökad effektivitet, lägre kostnader och ökad resiliens

går förlorade. I ljuset av detta uttrycker respondenterna ett tydligt behov av att i högre grad prioritera forskning och utveckling som utgår från olika scenarier för hur elsystemet kan komma att utvecklas och som applicerar traditionella kunskapsområden på andra tänkbara systemstrukturer än den befintliga.

Den globala marknaden växer snabbt och har i många fall helt andra förutsättningar än de som präglar utvecklingen i Sverige

Ytterligare en faktor som understryker behovet av nytänkande kring energisystemets struktur är den utveckling som sker globalt. På många snabbt växande marknader saknas vår typ av infrastruktur, industrier och regelverk, vilka är anpassade för ett centraliserat elsystem. Denna frånvaro förväntas främja uppbyggnaden av decentraliserade strukturer som kan skilja sig från vad som är fallet i till exempel Sverige. Därtill ser både utmaningar och drivkrafter väldigt olika ut. På vissa marknader drivs utvecklingen av behovet av att ge människor snabbt tillgång till elektricitet och de nyttor som den kan skapa, medan den centrala utmaningen på andra håll handlar om att möjliggöra utbyggnad av förnybar energi, skapa större tillförlitlighet, öka kvalitet och minska förluster.

Flera av de tillfrågade anser att delar av den kunskap och teknik som utvecklas i Sverige är användbar på de globala marknaderna. Samtidigt betonas behovet av en större förståelse för de energisystem som växer fram i framförallt utvecklingsländer samt av forsknings- och utvecklingsprojekt som har globala förutsättningar som utgångspunkt. Om svensk kunskapsutveckling även fortsättningsvis utgår från storskalig och centraliserad elproduktion och ett transmissionssystem med hög kapacitet, så kan det i framtiden kanske bli svårt att hitta exportmarknader för svenska innovationer. Det är mer troligt att forskning som kan bidra till att befintliga tekniklösningar kan användas för att möjliggöra ett mer decentraliserat elsystem har störst potential att leda till nya produkter och tjänster som kan skapa värde på globala marknader. Nya systemlösningar som inte är beroende av den gamla tidens infrastruktur, utan kan byggas var som helst av mindre samhällen eller individer, kan komma att se dagens ljus, inte minst i utvecklingsländer.

Det globala perspektivet synliggör därtill behovet av att integrera satsningar som motiveras av klimat-, energi-, industri- och biståndsorienterade målsättningar. För att svensk forskning och utveckling ska vara relevant menar därför många respondenter att fler projekt borde ha en starkare industriell och akademisk koppling till de globala kontexter där elsystem byggs från grunden med andra strukturer än de som finns i utvecklade länder.

Det behövs ny teknik – men det är inte bristen på teknisk kunskap som hindrar utvecklingen

Att skapa ett effektivt och miljömässigt och socialt hållbart energisystem innebär en genomgripande samhällsomvandling baserad på teknologiska innovationer. Det skapar ett behov av teknisk kunskap som möjliggör helt nya produkter och tjänster eller som förbättrar och effektiviserar de som redan finns tillgängliga på marknaden. Områden som ofta pekas ut som centrala innefattar material och komponenter för kraftelektronik, modellering och prognostisering samt system för styrning och övervakning som baseras på analys av stora datamängder och automatisering. Dessutom nämns ofta säkerhet och integritet i elsystem som blir allt mer integrerade i globala kommunikationssystem, som områden med ett stort behov av nya tekniska lösningar.

Det verkar emellertid finnas en bred konsensus bland respondenter med olika infallsvinklar att det inte är bristen på teknisk kunskap i sig som hindrar utvecklingen. Istället menar många att tekniken redan finns och det som verkligen behövs är en större förståelse för hur den kan användas, komponenter kombineras och tekniken spridas på ett sätt som skapar största möjliga miljö- och samhällsnytta. Det innebär att forskningen bör fokusera hur man i praktiken, med flera typer av

aktörer inblandade, kan skapa ett mer effektivt och hållbart energisystem med de tekniska komponenter som redan finns tillgängliga.

De nya teknikerna bjuder in nya aktörer och förändrar roller på marknaden

En av de fundamentala konsekvenserna av teknikutvecklingen är att tekniksektorer som tidigare varit relativt åtskilda kan kopplas närmare till varandra. I takt med att transportsektorn elektrifieras kan fordonsflottan komma att förbruka stora mängder elektricitet och möjligen även spela en viktig roll i att balansera elnätet på olika nivåer genom den inbyggda (och rörliga) lagringskapaciteten. Utbyggnaden av lokal elproduktion och energilagring, uppkopplad hemelektronik samt etableringen av mer sofistikerade marknadsplatser gör det möjligt för fastigheter och enskilda hushåll att gå från att vara passiva konsument av elektricitet till att både producera, konsumera och balansera – konsument blir prosumenter, och detta kan ske på olika skala från hushåll till större företag. Ny teknik för att både lagra och producera elektricitet termiskt kan leda till integration av de tekniska system som tillhandahåller elektricitet, värme och kyla. Därtill blir informations- och kommunikationsteknologier allt viktigare som grundläggande möjliggörare. Framtidens elsystem kan därför komma att innehålla helt nya aktörer, från företag till hushåll och individer.

För de aktörer som vanligtvis associeras med elsystemet, till exempel stora producenter av elektricitet, elhandlare och nätbolag, innebär utvecklingen ett affärslandskap i snabb förändring. Snabba kostnadsminskningar inom teknologier för lokal elproduktion och energilagring kan göra att kundernas efterfrågan kan gå från tillförlitlig leverans av elektricitet till tjänster som möjliggör ett mer aktivt deltagande som producenter, konsumenter och balansaktörer. De traditionella aktörerna kan därmed behöva hitta nya roller som ofta baseras på helt andra förmågor än de som tidigare varit aktuella, vilket skapar affärsmässiga utmaningar.

För att tekniken ska realisera sin potential krävs ny kunskap om affärsmodeller, förändrade beteenden och möjliggörande regelverk

Ett genomgående tema som kommit upp i intervjustudien har varit att dagens regelverk för elmarknaden till stor del står i vägen för de nya affärsmodeller och beteenden som krävs för att den nya tekniken ska kunna skapa största möjliga miljö- och samhällsnytta. Många uttrycker att elnätets regleringen behöver göras om eftersom den historiska uppdelningen mellan produktions-, elnäts- och elhandelsaktörer bromsar utvecklingen. Det är till exempel svårt att införa system för aktiv styrning av hemelektronik på grund av att elnätsbolagen inte delar med sig av information om elnätets belastning. Därtill pekar många på stora osäkerheter beträffande regelverkets framtida utformning, vilket försvårar experiment med nya affärsmodeller och teknologier.

Många respondenter menar att det finns stora kunskapsluckor beträffande aktörs-, beteende- och samhällsfrågor som på ett bättre sätt skulle kunna mötas av forsknings- och utvecklingsinsatser. Det efterfrågas en större förståelse för vilka affärsmodeller och beteenden som är önskvärda ur ett vidare perspektiv samt utforskande studier som undersöker hur rollerna på marknaden förändras. I synnerhet pekar många på behovet av beteendeforskning för att förstå hur man kan få kunderna i framtidens elsystem att agera på ett sätt som skapar nytta på både hushålls- och samhällsnivå. Dessa frågor anses överlag få för lite utrymme inom forskningen och flera jämför utvecklingen med telekombranschen. Där fanns tekniken tidigt men det dröjde innan vi förstod hur den kunde användas och vilken genomslagskraft den så småningom skulle få.

Det behövs också kunskap om vilka lagar och regler som skulle kunna skapa önskvärda incitamentsstrukturer i det nya teknologiska landskap som växer fram och i förlängningen möjliggöra och stimulera önskvärda affärsmodeller och beteenden. Det handlar dels om att anpassa lagar och regler

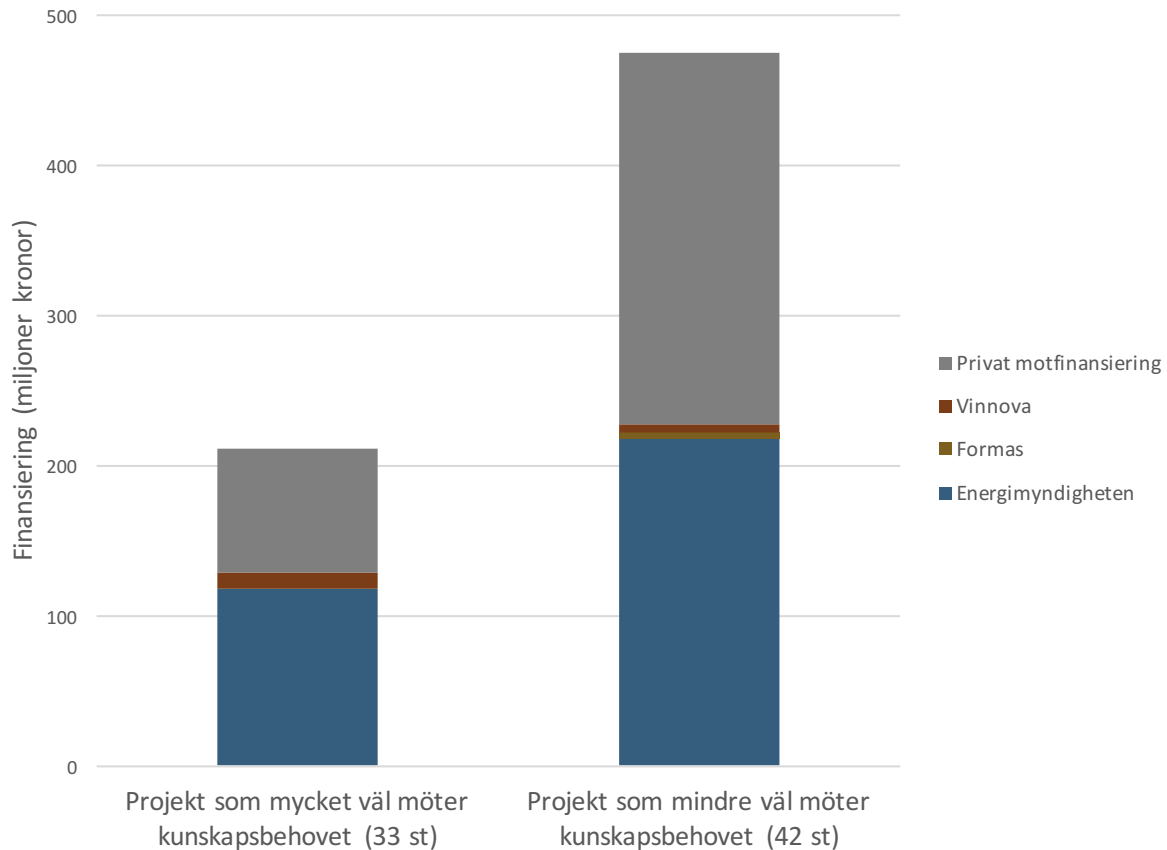
efter den nya tekniken men också om att förstå den styrande effekt som regelverken får på den teknologiska utvecklingen. Detta är särskilt viktigt i Sverige eftersom den svenska elnätsinfrastrukturen är relativt föråldrad och kräver stora investeringar under en snar framtid. Många av de intervjuade beskriver situationen som att vi står inför ett vägval rörande framtidens elsystem och att elmarknadsregleringen, som är under förändring, kommer att få stort inflytande på den utvecklingsriktning som i slutändan blir till verklighet.

6. FORSKNING SOM KAN MÖTA KUNSKAPS- BEHOVET

De genomförda intervjuerna visar tydligt att det som efterfrågas av experter och ledande branschföreträdare är forskning och utveckling som inte styrs av dagens tekniska infrastruktur, industriella strukturer och regelverk. Det är genom att utgå från hur den nya tekniken skulle kunna användas för att möjliggöra elsystem med andra strukturer, möjligen mer decentraliserade, som största möjliga miljö- och samhällsnytta kan skapas, givet att institutioner möjliggör snarare än begränsar förändringen. Därför anser vi att det krävs framåtriktade och vidsynta studier som fokuserar på att förstå framtidens möjliga energisystem, och vägen dit i termer av nya tekniska lösningar, förändrade affärsmodeller, beteenden och regelverk.

En omfattande kartläggning av projekt finansierade av svenska myndigheter (en närmare metodbeskrivning återfinns i Appendix 2) visar emellertid att den största delen av forsknings- och utvecklingsaktiviteterna inom området inte möter det genom intervjustudien identifierade kunskapsbehovet. Figur 1 nedan är baserad på en övergripande kategorisering av pågående forskningsprojekt som finansieras av svenska myndigheter. Det framgår tydligt att majoriteten av forskningsfinansieringen i Sverige går till projekt som förvisso är relevanta för området men som har en teknisk karaktär och angriper frågeställningar med utgångspunkt i hur det befintliga elsystemet fungerar ("projekt som mindre väl möter kunskapsbehovet"). En betydligt mindre del av forskningsfinansieringen går till projekt som möter behovet av mer samhällsorienterad kunskap om affärsmodeller, beteenden och regelverk som kan möjliggöra ett annorlunda strukturerat elsystem ("projekt som mycket väl möter kunskapsbehovet").

Figur 1 indikerar även att den privata motfinansieringen till offentliga forskningsmedel främjar projekt som är av mer teknisk karaktär och inriktade på den befintliga elsystemstrukturen. Detta understryker ytterligare behovet av att främja forskning och utveckling som har en annan inriktning än den konventionella.



Figur 1. Kategorisering av statlig riktad forskningsfinansiering i relation till identifierat kunskapsbehov inom smarta elnätsområdet.

Projektkartläggningen ger även en god indikation om vilka kunskapsmiljöer som kan anses ha stor potential att accelerera utvecklingen genom framtida projekt som väl möter det utpekade kunskapsbehovet. Vissa av dem är akademiska och inriktade på grundläggande och långsiktig forskning, medan andra drivs av privata aktörer med fokus på utvecklings- och demonstrationsaktiviteter i syfte att kommersialisera ny teknik. De kunskapsmiljöer som framstår som särskilt intressanta exempel beskrivs kortfattat nedan i bokstavsordning.

Chalmers tekniska högskola

På Chalmers bedrivs mycket relevant forskning på avdelningen Miljösystemanalys inom institutionen för Teknikens ekonomi och organisation. Fokus ligger på samspelet mellan teknik, samhälle och miljö, och frågeställningarna spänner över både livscykelanalys och miljöbedömning samt innovation och teknisk förändring. Ett mycket relevant projekt som väl illustrerar forskningsmiljöns inriktning syftar till att identifiera möjliga och troliga utvecklingsvägar för framtidens elsystem i Sverige och Europa. I tre doktorandprojekt följer projektet den globala framväxten av nya systemstrukturer, studerar effekter av de svenska pilotprojekten kring smarta elnät och utforskar tekniska, ekonomiska och miljömässiga konsekvenser av olika utvecklingsvägar. Arbetet leds av professor Björn Sandén som även är avdelningschef på Miljösystemanalys. Därtill sker forskning i nära samverkan med aktörer i Afrika om elsystemens framväxt i utvecklingsländer. Detta inkluderar även kompetenshöjande aktiviteter och akademiska utbyten, vilket anses vara av stor vikt både för utvecklingen i Afrika och för svenska aktörers förståelse för globala marknader. Initiativet leds av professor Sverker Molander.

Den samhällsvetenskapligt inriktade forskningen på Chalmers har även starka kopplingar till teknisk forskning som bedrivs på bland annat Institutionen för elektroteknik. Särskilt relevanta är projekt

som fokuserar på design och drift av lokala mikronät och deras interaktion med de vidare distributionsnäten. Två framstående forskare inom detta område är universitetslektor Anh Tuan Le och Docent Peiyuan Chen.

KIC Innoenergy

KIC Innoenergy är en europeisk satsning vars tematiska arbete inom smarta elnät och energilagring är förlagt till Sverige. Verksamheten drivs som ett företag ägt av huvudparterna ABB, Vattenfall, KTH och Uppsala universitet. Arbetet fokuserar på att initiera och koordinera innovationsprojekt men organisationen driver även utbildningsprogram och finansierar mindre utvecklingsbolag. I likhet med Sustainable Innovation som beskrivs nedan, återkommer KIC Innoenergy ofta som projektledare och koordinator i intressanta samverkansprojekt. Ett exempel som är särskilt relevant syftar till att demonstrera och utvärdera koncept för energitjänster på lokala marknader vid olika pilotplatser i Norge, Sverige och Tyskland. Projektets svenska del drivs av Fredrik Billing och avser tekniska koncept och affärsmodeller för en ny typ av lokal energisystemoperatör. Dessa ska utvärderas tillsammans med en ny innovativ marknadsplats där prosumenter kan handla med flexibilitet, lokal produktion och lagringsresurser.

KTH

Avdelningen för strategiska hållbarhetsstudier inom Institutionen för hållbar utveckling, miljövetenskap och teknik (SEED) på KTH bedriver forskning om samspelet mellan människa, miljö och teknik, ofta med fokus på frågeställningar kopplade till hållbar samhällsbyggnad och stadsplanering. Inom miljön finns kompetens inom beteendevetenskap och psykologi som bland annat appliceras på smarta elnätsområdet. I ett särskilt relevant projekt analyseras användaraspekter, i syfte att sammanställa och tillgängliggöra kunskap om människors beteende i relation till ny elnätsteknik i bostäder. Projektet leds av docent Cecilia Katzeff.

Även inom den mer tekniskt inriktade Institutionen för elektro och systemteknik finns relevanta projekt som behandlar frågeställningar kring integritet och säkerhet i de smarta elnätens informations- och kommunikationssystem. Universitetslektor Daniel Månsson undersöker i ett intressant projekt möjligheten att förbättra integriteten för prosumenter genom att använda energilagringssystem för att ändra konsumtionsmönster. Inom projektet utvecklas därtill integritetsmått som kan användas för fortsatt forskning- och utveckling inom området. I ett annat projekt utvecklar professor Mathias Ekstedt verktyg för att identifiera sårbarheter och förebygga cyberattacker mot elnätet. Projektet ska demonstrera verktygens nytta samt beskriva hur de kan integreras inom elkraftindustrin.

Linköpings universitet

Inom institutionen för tematisk forskning på Linköpings universitet sker relevant forskning inom avdelningen för teknik och social förändring. Särskilt intressant är gruppen Teknik Vardag Samhälle (TEVS) som forskar om hur energisystem påverkar och används i människors vardagsliv. Forskningen betonar den lokala och regionala samhällsnivån och handlar empiriskt främst om energianvändning, energi- och transportplanering och informations- och kommunikationsteknik. Professor Harald Rohrer driver två särskilt intressanta projekt. Det ena syftar till att studera hushållskunder som riskerar att hamna i utanförskap vid implementering av smarta elnät på grund av att de inte representerar gängse föreställningar om användaren som en aktör som bidrar till det nya nätets funktionalitet. Det andra fokuserar istället på att utveckla en metod för att förenkla återupprepnin g av tekniskt genomförbara, marknadsbaserade och användarvänliga lösningar inom smarta elnätsområdet. Därtill leder professor Jenny Palm ett projekt som syftar till att analysera hur

småskalig soletproduktion kan fungera som drivkraft för mer hållbar, effektiv och medveten elanvändning i svenska småhus och därigenom bidra både till utvecklingen av ett mer hållbart energisystem och en mer hållbar livsstil. Projektet ska studera faktiska och möjliga förändringar via mätningar och simuleringar samt analysera hushållens vardagsaktiviteter, förståelse och inställning till solcellstekniken.

Det bedrivs även mycket relevant informatikforskning på Institutionen för ekonomisk och industriell utveckling (IEI). Professor Karin Axelsson, som är inriktad på forskning kring samhällsnyttor och utmaningar med e-tjänster och andra IT-lösningar, studerar exempelvis design och leverans av tjänster till hushåll via smarta elnät.

Lunds universitet

International Institute for Industrial Environmental Economics (IIIEE) är ett internationellt och tvärvetenskapligt centrum som bedriver forskning och utbildning vid Lunds universitet. Syftet är att bidra till hållbarhetslösningar åt myndigheter och näringsliv genom forskning inom styrningsprocesser, policyutvärdering och affärsmodeller samt utveckling av visioner och scenarier för en hållbar framtid. Docent Luis Mundaca driver ett särskilt intressant projekt som utvecklar kunskap om människors beteende i scenarier med ambitiösa styrmedel inom energi- och klimatpolitiken. Projektet har en starkt interdisciplinär ansats, där perspektiv från beteendekonomi, psykologi, organisationsteori, miljöekonomi och utvärderingsforskning integreras.

Ett annat relevant projekt på Lunds universitet studerar affärsmodellinnovation för egenproducerad solet med utgångspunkt i elbolag. Projektet undersöker elbolagens strategiska svar på förändringarna mot en hållbar elmarknad och analyserar proaktiva aktörers affärsmodellinnovationsprocesser, med fokus på utmaningar, förmågor och samarbeten som möjliggör omställningen mot mer servicecentrerade erbjudanden. Som en del av projektet finns också ambitionen att etablera ett kunskapscentrum kring affärsmodellinnovation för egenproducerad solet.

RISE Research Institutes of Sweden

Statligt ägda RISE är en stor och komplex organisation som bedriver relevanta forsknings-, utvecklings- och demonstrationsaktiviteter inom flera institut och avdelningar, ofta i nära samarbete med universitet, utvecklingsbolag och andra samhällsaktörer. De förfogar även över viktig infrastruktur för test av material, komponenter och produkter samt större installationer. Vi har identifierat några projekt som framstår som särskilt intressanta.

Jon Persson utgår i ett projekt från en pilotanläggning på ett lantbruk, där ett nätanslutet batteri kombineras med soletproduktion. Med ett tvärvetenskapligt angreppssätt studeras möjligheten att skapa lokalt mervärde utifrån ett användarperspektiv, med fokus på drivkrafter och hinder. I ett något mer generellt projekt studerar Martin Warneryd vilken roll solbaserade mikronät kan spela för det svenska energisystemet. I projektet undersöks de institutionella förutsättningarna (lagar, regler, normer och kultur) och de sociala effekterna (prosumentperspektiv) av mikronät, och därtill genomförs två internationella fallstudier av existerande mikronät. Caroline Markusson driver vidare ett projekt som syftar till att demonstrera ett komplett likströmssystem i en enfamiljvilla, inklusive solceller, batterilager, laststyrning, likströmsnät och likströmslaster. Projektet ska ge underlag för hur solceller ska kunna användas för direktförsörjning av en villas tekniska system. Arbetet sker i samarbete med Chalmers, Johanneberg Science Park och Västra Götalandsregionen samt flera näringslivsaktörer inom fastighets-, fordons- och energisektorerna. Claus Popp Larsen fokuserar på att utveckla hållbara öppna lösningar för det smarta hemmet. Målet för projektet är att etablera en öppen plattform för tjänsteproduktion i hem- och fastighetsmiljö som ska testas i 125 lägenheter.

Syfte är att möjliggöra att samutnyttjande av fysisk utrustning och tillgängliggöra data för olika intressenter, med utgångspunkt i öppna standarder och mekanismer för att skydda individens integritet. Slutligen är Johan Nilsson involverad i ett större projekt som handlar om att utveckla och demonstrera småskaliga och dieselloberoende elsystem, baserade på teknik för energilagring och lokal elproduktion från förnybara energikällor, på den indiska ögruppen Andamanerna. Projektet har betydande finansiering från Energimyndigheten och sker i samarbete med bland annat projektutvecklaren Pamoja Cleantech som har en ledande roll.

Sustainable Innovation

Sustainable Innovation är ett företag som driver utvecklingsprojekt för marknadsnära och innovativa lösningar inom mobilitet, bebyggelse och energisystem. Företaget ägs av Föreningen för Energieffektivisering (Effekt) där aktörer som Riksbyggen, Vattenfall, Göteborg Energi, Fagerhult, Toyota, Stockholmshem, ÅF, Intel, White och WSP ingår. Genom dess medlemmar samt ett brett nätverk av forskare, entreprenörer och finansiärer, fångar Sustainable Innovation upp och vidareutvecklar projektidéer till konkreta utvecklingsprojekt. Joachim Lindborg och Jan Kristoffersson från Sustainable Innovation återkommer ofta som projektledare i intressanta projekt med stor potential att accelerera utvecklingen av ett effektivt och hållbart elsystem. De involverar i regel breda konsortier av utvecklingsbolag, el- och nätbolag, andra industriföretag och akademiska aktörer.

Ett av projekten fokuserar på batterilager för offentliga och kommersiella lokaler, med målsättning att etablera en pilotinstallation som kombinerar elenergilagring med lokal solelproduktion, laddning av elbilar och styrning av energianvändningen. Ambitionen är att skapa ett attraktivt och repeterbart koncept som kan få spridning på marknaden samt bidra med viktiga erfarenheter om lämplig teknisk uppbyggnad och driftstrategier. I ett annat projekt undersöks möjligheten att utveckla systemlösningar som använder värmepotentialen i eluppvärmda golv för flexibel effektstyrning i villor och miljonprogramsfastigheter. Syftet är att förbereda för ett större innovationsprojekt med tekniska installationer som kan verifiera kostnader och potential, testa beteendeeacceptansen och praktiskt integrera värmegolv med andra flexibilitetslösningar.

Andra projekt som drivs av Sustainable Innovation behandlar framtidens roller på energimarknaden ur ett företags- och konsumentperspektiv, vilket pekats ut som särskilt viktigt under intervjustudien. I ett av dem utvecklas och testas nya affärsmodeller i elnätet som gynnar integrationen av lokalt producerad förnybar el i distributionsnätet. Projektet sker mot bakgrund av de hinder som skapas av el- och nätbolagens traditionella affärsmodeller i kombination med befintliga regelverk och nättariffer. Det utgår också från breda scenarier som innefattar både centraliserade och decentraliserade systemkonfigurationer. Ett annat projekt undersöker hur intressenter kan använda efterfrågefleksibilitet på ett affärsmässigt sätt. Målsättningen är att skapa en plattform för samarbete kring och test av olika energitjänster samt identifiera andra svårigheter än de rent tekniska. Slutligen drivs också ett projekt som fokuserar på nya samverkansmodeller på energimarknaden. I projektet ges 500 villakunder i ett lokalt elnät en kostnadsfri energitjänst för styrning av värmepumpar mot att de i gengäld ger nätbolaget tillgång till tjänsten. Syftet är att undersöka villkor och konsekvenser av denna typ av samverkansformer samt analysera om designade tjänster kan påverka kundernas intresse för andra energitjänster. Projektet utvärderar även miljökonsekvenser och kostnader för nätägare och elhandlare.

Uppsala universitet

Ångströmlaboratoriet på Uppsala universitet samlar flera institutioner och omfattande forskningsaktiviteter med koppling till bl a smarta elnät. Det är framförallt den tekniska

grundforskningen som är huvudinriktningen men det finns även exempel på samhällsorienterade projekt om energisystem samt affärsmodeller och IT-tjänster för prosumenter. I ett projekt undersöker t ex forskaren Magnus Åberg regional och lokal integration av el- och värmesystem via energilagring. Projektet syftar till att förstå hur förnybar elproduktion, förändrade behov av el och värme i byggnader, elfordon samt batterilager kan samverka genom fjärrvärmeproduktion och termiska energilager. I ett annat mycket relevant projekt lett av forskaren Cajsia Bartusch studeras elkonsumenters behov av information och återkoppling när de blir prosumenter. Inom projektet utvecklas affärsmodeller och IT-tjänster som gör det lättare för dem att vara aktiva i det smarta elnätet. Ambitionen är att öka andelen mikroproduktion med solceller i energisystemet genom att utveckla ett holistiskt koncept med affärsmodeller, informationspaket, adekvata elnätstariiffer och elhandelsavtal samt ändamålsenliga IT-tjänster. Forskningen innefattar även projekt som fokuserar på prosumenteras roller i elnätet och miljörelaterade konsekvenser av lokala energisystem med solelproduktion och energilagring.

Utvecklingsbolag

Det finns ett stort antal mindre svenska företag som bedriver forskning och utveckling med fokus på att kommersialisera nya lösningar inom smarta elnätsområdet. Följande nämns ofta som särskilt intressanta och återkommer som projektledare och deltagare i offentligt finansierade innovationsprojekt:

- Watty utvecklar avancerade analysprogramvaror för energieffektivisering i byggnader. Företagets patentsökta teknik har potential att generera stora besparingar både i energiförbrukning och kostnader. Det är därtill en skalbar lågkostnadslösning för att spara energi i byggnader. Läs mer på www.watty.io
- Ngenic utvecklar en molnbaserad tjänst och anpassad hårdvara för smart styrning av värmesystem. Tekniken gör det möjligt för konsumenter att minska energiförbrukning och kostnader. Läs mer på www.ngenic.se
- Greenely utvecklar en konsumentanpassad mobilapplikation för styrning av energiförbrukning i hemmet. Tjänsten gör så att hushåll kan minska sin energiförbrukning, ta bättre beslut och jämföra sig med andra. Läs mer på www.greenely.com
- Ferroamp utvecklar kraftelektronik för smarta nätapplikationer som integrerar solenergi, energilagring, laddning av elfordon samt visualisering av energiflöden. Läs mer på www.ferroamp.com
- Expektra tillhandahåller produkter och tjänster för elhandelsverksamhet. Tekniken gör det möjligt att minimera fel i planeringen samt tillgängliggöra ny kapacitet vid behov, vilket gör det möjligt att integrera större mängder variabel förnybar energi. Läs mer på www.expektra.se
- Eliq arbetar med analys och visualisering av energidata. De har bland annat tagit fram ett koncept som integrerar energirådgivning, -övervakning och -automation i hemmet. Läs mer på www.eliq.io
- Sensenode tillhandahåller hård- och mjukvara för styrning och övervakning av företags energiförbrukning. Tekniken bygger på trådlös kommunikation och uppkopplade enheter i en produktionsanläggning. Läs mer på www.sensenode.com

- Chargestorm erbjuder en skalbar helhetslösning för laddinfrastruktur. Den sträcker sig från det enklaste fallet av en hemmaladdare utan uppkoppling till komplexa installationer med många laddstationer som kräver lastbalansering samt portal för övervakning och betallösningar. Läs mer på www.chargestorm.se
- Cloud Socket utvecklar en teknisk plattform för ett elnät baserad på USB-C anslutna enheter och batterier samt molnbaserad övervakning och styrning. Tekniken gör det möjligt för hemelektronik, elproducerande enheter och batterier att både plocka ut och ge tillbaka el inom ett lokalt mikronät. Läs mer på www.cloudsocket.com
- FreeThem Generation driver flera produktutvecklingsprojekt inom energiområdet. Ett av dem syftar till att utveckla, demonstrera och utvärdera ett integrerat och optimerat fastighetsenergisystem som genom energilagring möjliggör effektstyrning och snabbladdning av fordon. Läs mer på www.freethem.com
- Solelia Greentech utvecklar en lösning för solelsladdning av elfordon, riktad mot fastighetsbolag, kommuner, köpcentrum och företag. Tekniken bygger på ett virtuellt mikronät som ger kunden möjlighet att utnyttja sin egenproducerade solel i företagets laddstationer. Läs mer på www.solelia.se

7. SLUTSATSER OCH REFLEKTIONER

I denna rapport har begreppet ”smarta elnät” använts som ett samlingsbegrepp för de nya tekniker och samverkansformer som kan möjliggöra ett kostnadseffektivt och ekologiskt hållbart elsystem vilket kan bidra till att ge den växande globala befolkningen långsiktigt välbefinnande. Den kartläggning som gjorts visar att det finns omfattande internationell aktivitet inom området och detta reflekteras även i Sverige. Strategiska satsningar på politisk nivå samlar olika aktörer i samrådsprocesser som syftar till att skapa och sprida kunskap, ge samsyn och informera den viktiga utvecklingen av framtidens regelverk. Stora offentliga forskningsmedel satsas på forskning och utveckling. Det sker också omfattande och i många fall ledande utvecklingsaktiviteter inom näringslivet.

Även om begreppet ”smarta elnät” för många leder tanken till tekniskt inriktad forskning och utveckling, så visar den intervjustudie som gjorts att de tekniska lösningarna som krävs för att skapa ett kostnadseffektivt och hållbart elsystem till stor del redan finns tillgängliga. Det som krävs är istället kunskap som kan bidra till att befintlig teknik kan användas på ett bra sätt. Därför krävs framåtriktade och vidsynta studier som fokuserar på att förstå framtidens möjliga elsystem, och vägen dit i termer av förändrade tekniska lösningar, affärsmodeller, beteenden och regelverk. I rapporten konstateras också att intervjustudien visar att utvecklingen kan ta flera vägar men att ett mer decentraliserat elsystem kan bli resultatet. Det skulle kunna ge ett minskat beroende av de få mäktiga företag som nu dominerar elmarknaden och ge ekonomiska fördelar för stora grupper. Miljövinster, i synnerhet kopplade till det överhängande hotet från snabba klimatförändringar, kan realiserars då utbyggnaden av lokalt producerad förnybar el och elektrifiering av allt fler sektorer möjliggörs. Dessutom kan samhällets sårbarhet minska när hushåll och industrier blir mindre beroende av ett centraliserat elnät.

Rapporten pekar emellertid på att den största delen av svenska forskningsprojekt inte möter det i intervjustudien identifierade kunskapsbehovet, som bland annat inriktar sig på samhällsvetenskapliga studier t ex av affärsmodeller och regelverk. Framtida satsningar på forskning stödd av Familjen Kamprads stiftelse kan därför spela en viktig roll i att möta behovet av samhälls-orienterade studier som fokuserar på hur ny teknik kan användas för att möjliggöra ett uppgraderat elsystem, eller helt nya där vår typ av infrastruktur saknas, t ex i delar av utvecklingsländer. Det finns även ett antal svenska kunskapsmiljöer som har potential att utföra denna typ av studier i nära samverkan med andra viktiga aktörer inom området.

Avslutningsvis är det viktigt att understryka att ”smarta elnät” är ett mångfacetterat begrepp som används av aktörer på vitt skilda sätt. Det fylls ofta med innehåll som starkt präglas av betraktarens föreställningar, värderingar och perspektiv, vilket gör att aktörer uppfattar olika möjligheter, hot och utvecklingsvägar. Hur dessa aktörer väljer att agera och organisera sig inom ramen för marknadens spelregler, vilka både påverkar aktörerna och uppstår som konsekvens av deras agerande, är helt avgörande för vilket elsystem som växer fram. Det bestämmer i sin tur i vilken utsträckning samhället förmår realisera de nyttor som teknikutvecklingen erbjuder.

Alla större samhällsomvandlingar skapar både vinnare och förlorare. Utvecklingen inom energiområdet är inget undantag, även om det stora flertalet troligen kommer att dra stor nytta av den nya tekniken. För att kunna utforma regelverk som främjar affärsmodeller och beteenden som leder till största möjliga nytta är det därför avgörande att förstå hur olika aktörer påverkas av teknikutvecklingen och vilka roller de kan tänkas spela i framtidens elsystem. På motsvarande sätt är medvetna eller omedvetna val av perspektiv och frågeställningar avgörande för vad som uppfattas som relevant forskning inom området och i förlängningen för vilka forskningsmiljöer och -projekt en finansiär väljer att satsa på. Det är därför viktigt att förhålla sig till begrepp som skala, systemnivå, centralisering och makt, samt fördelning av nyttor, kostnader och risker, när möjliga inriktningar på framtida satsningar utvärderas. Vår förhoppning är att denna rapport ska utgöra en god startpunkt för ett sådant arbete.

APPENDIX 1: INTERVJUPERSONER OCH -METODIK

Syftet med intervjustudien har varit att förstå vilken typ av forsknings- och utvecklingsinsatser som krävs för att accelerera utvecklingen av ett effektivt och hållbart energisystem samt att få en generell överblick av smarta elnätsområdet. Intervjuerna varade 1-2 timmar och baserades på öppna frågor med stort utrymme för resonemang och reflektion. Totalt genomfördes 15 intervjuer, se tabell nedan. Respondenterna identifierades genom författarnas egna bakgrundskunskap samt rekommendationer under de tidiga intervjuerna.

Namn	Datum	Roll/ befattning
Anders Kjellström	2017-06-12	Privatperson som byggt ett avancerat system med smarta elnätslösningar i sin egen villa utanför Göteborg
Bo Normark	2017-05-17	Ledare för smarta elnätsområdet inom KIC InnoEnergy; Rådgivare för batteri-industrisatsningen Northvolt; Medlem av Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien
Fredrik Fernlund	2017-06-14	Grundare och teknisk chef på företaget Ngenic
Fredrik Lundström	2017-06-29	Programchef på Energimyndigheten med ansvar för forsknings- och innovationsprogrammet SamsPEL inom elsystemområdet
Håkan Nordqvist	2017-06-15	Chef för hållbar innovation på IKEA; Stygruppledamot i Forum för smarta elnät
Karin Widegren	2017-05-23	Ordförande i ISGAN; Tidigare ansvarig för Samordningsrådet för smarta elnät; Tidigare internationellt ansvarig på Energimarknadsinspektionen
Lars Nordström	2017-05-19	Forskare inom elkraftsteknik- och system på KTH
Magnus Olofsson	2017-05-10	Chef för Svenska Energiinstitutet; Rådgivare inom Nordic Energy Research; Tidigare VD för Elforsk
Malin Strand	2017-06-16	Projektledare inom regeringsinitiativet Fossilfritt Sverige; Tidigare projektledare på Power Circle
Maria Sandqvist	2017-06-12	Kanslichef för Forum för smarta elnät
Mats Nilsson	2017-06-12	Adjungerad professor i nationalekonomi med fokus på elmarknadsfrågor på Luleå tekniska högskola
Partik Hillber	2017-05-18	Forskare inom elkraftsteknik på KTH
Peter Anderberg	2017-06-13	Grundare av industriplattformen Nordic Heat och flera andra initiativ inom fjärrvärmebranschen
Senja Nordström	2017-05-18	Ansvarig för Energimyndighetens digitaliseringsstrategi; Sveriges delegat i ISGAN
Sofia Andersson	2017-06-13	Programchef på Energimyndigheten med ansvar för satsningar inom fjärrvärme- och kyla

APPENDIX 2: GENOMFÖRANDEMETODIK FÖR PROJEKTKARTLÄGGNING

Syftet med projektkartläggningen har varit att förstå vilken typ av forskning som bedrivs inom smarta elnätsområdet samt identifiera de kunskapsmiljöer som driver särskilt intressanta projekt givet det kunskapsbehov som framträtt inom ramen för intervjustudien. Att genomföra en kartläggning som täcker samtliga relevanta projekt är emellertid utmanande eftersom forskningen inom smarta elnätsområdet spänner över flera traditionella kunskapsdiscipliner och finansieras av ett flertal organisationer, vars stöd överlappar varandra. Dessutom är det ofta svårt att på ett effektivt sätt hitta och extrahera information från forskningsfinansiärernas databaser. Detta är särskilt problematiskt för finansiering som kommer från lokala, regionala och europeiska aktörer eftersom information ofta är otillgänglig.

För att göra kartläggningen praktiskt genomförbar inom ramen för denna studie valde vi därför att avgränsa det systematiska sökarbetet till projekt som finansieras av svenska myndigheter på nationell nivå, vilka vanligtvis tillhandahåller webbaserade och sökbara databaser. De nationella myndigheterna pekades ofta ut som de viktigaste finansiärerna och det är mycket troligt att de mest aktiva och intressanta kunskapsmiljöerna är engagerade i denna typ av projekt. Det är därför högst sannolikt att den bild som framträder är representativ och att kartläggningen på ett tillfredsställande sätt fångar de mest intressanta projekten och initiativen. Dessutom har vi lagt till en del pågående projekt med annan finansiering som vi fått kännedom genom litteratursökningar och intervjuer.

De svenska forskningsfinansiärer som täcktes in av den systematiska kartläggningen var Energimyndigheten, Vinnova, Formas, Stiftelsen för strategisk forskning, Vetenskapsrådet och Tillväxtverket. Sökarbetet utgick från tolv söktermer⁴⁶ med relevans för smarta elnätsområdet och kompletterades med manuell genomgång av projektlister inom särskilt relevanta forskningsprogram. Kartläggningen avgränsades vidare till projekt som startades efter 2008 eftersom Energimyndighetens databas inte sträcker sig längre tillbaka i tiden än så.

De identifierade projekten sammanställdes i en projektdatabas (se Bilaga 1) med 291 projekt. Av dessa är 120 projekt pågående och därmed aktuella för dagens situation. Efter vidare analys av de projekt som har finansiering från svenska forskningsfinansiärer kunde 75 stycken anses vara relevanta i den meningen att de behandlar det övergripande elsystemet eller fokuserar på någon enskild komponent men med direkt koppling till elsystemets helhet. De relevanta och pågående projekten sammanställdes i en mer detaljerad projektdatas (se Bilaga 2) med bland annat en övergripande beskrivning av varje projekt.

⁴⁶ Söktermerna som användes var "elnät", "elsystem", "mikronät", "smarta nät", "energilagring", "energilagring", "smart grid", "prosumenter", "smarta städer", "smart cities", "smart city" och "smarta hem". Sökningarna skedde i de sammanfattande projektbeskrivningar som ligger till grund för myndighetens beslut om stöd.

Slutligen bedömdes de relevanta och pågående projekten med finansiering från svenska myndigheter utifrån hur väl de möter det kunskapsbehov om framgång av intervjustudien. Analysen resulterade i att 33 projekt ansågs vara särskilt intressanta. Det är denna analys som ligger till grund för identifieringen av intressanta kunskapsmiljöer och Figur 1 i Kapitel 6.