



MAJ 2024

# Utmaningar och möjligheter för framtidens distributionsnät

En syntesrapport om forskningsläget och framtida  
forskningsbehov

En rapport av  
**Power Circle**  
på uppdrag av Energimyndigheten

# Innehållsförteckning

<b>Sammanfattning</b>	<b>3</b>
<b>1 Bakgrund</b>	<b>5</b>
1.1 Syfte och frågeställningar	6
1.2 Avgränsningar	6
<b>2 Genomförande</b>	<b>7</b>
2.1 Pilotintervjuer och inledande kartläggning	7
2.2 Intervjustudie	7
2.3 Skrivbordsstudie	8
2.4 Rundabordsamtal och workshop	8
2.5 Analys av inhämtad information	8
<b>3 Utmaningar och möjligheter för framtidens distributionsnät</b>	<b>9</b>
<b>4 Forskning och utveckling idag</b>	<b>13</b>
4.1 Tematiska områden och frågeställningar	13
4.2 Vilka bedriver forskningen?	16
4.3 Finansiärer	24
4.4 Särskilda satsningar	25
<b>5 Tillämpning av forskningen</b>	<b>29</b>
<b>6 Identifierade behovsområden för framtida forskning</b>	<b>31</b>
6.1 Digitalisering och dataanalys	31
6.2 Testning och integration av framtidens teknik	32
6.3 Ledarskap och styrning i energiomställningen	32
6.4 Resiliens och kostnadseffektivitet	33
6.5 Framtida riskmodeller och beslutsstöd	33
6.6 Kraftelektronik och elkvalitet	33
6.7 Övriga identifierade behov	34
<b>7 Internationell utblick</b>	<b>35</b>
7.1 Internationella samarbeten och organisationer	36
7.2 Internationella forskningsexempel	39
7.3 Distributionsnät på agendan under internationella konferenser	42
<b>Bilaga A: Medverkande respondenter</b>	<b>43</b>

# Sammanfattning

**Den pågående elektrifieringen** av flera sektorer, tillsammans med det faktum att en stor del av dagens distributionsnät kommer behöva bytas ut inom en snar framtid, gör att Sveriges elnät står inför ett betydande investeringsbehov de kommande åren. Elsystemet befinner sig dessutom mitt i en omfattande omställning, med snabb teknikutveckling och nya EU-krav. Detta ändrar förutsättningarna för många aktörer i systemet, och behovet av forskning och utveckling inom området, för att modernisera och effektivisera dagens distributionsnät, är stort.

**För att ge en översiktlig bild av det rådande forskningsläget**, exempel på hur forskningen som tas fram tillämpas i praktiken, samt forskningsbehov kopplade till framtidens distributionsnät – med fokus på lokalnät – har Power Circle fått i uppdrag av Energimyndigheten att ta fram denna syntesrapport. Rapporten ska användas i Energimyndighetens strategiska arbete, och syntesen baseras till stor del på intervjuer med forskare och behovsägare inom distributionsnät.

**Distributionsnäten står inför ett antal utmaningar under de kommande åren.** Exempel på utmaningar som elnäten står inför i dag och i framtiden är ökade behov av styrbarhet, prognostisering och optimering; utmaningar kopplade till energigemenskaper, likströmsnät och kapacitetsbrist i lågspänningsnäten; ökat kunskapsbehov och utmaningar med kompetensförsörjning; samt utmaningar kopplade till affärsmodeller, prissignaler och marknadsmodeller. En övergripande utmaning som identifieras i denna rapport är också den ökade komplexiteten i systemet i kombination med omställningens hastighet – vilket medför svårigheter för många aktörer.

**Forskning kring distributionsnät i Sverige i dag** täcker en bredd av frågor som spänner över flera olika områden: allt ifrån frågor om ledarskap och beteendeförändringar till teknisk utveckling av enskilda komponenter. Tematiska områden som identifierats inom dagens forskning är:

- Integration av variabel och decentraliserad produktion
- Integration av elbilsladdning
- Elkvalitet i kraftelektronikbaserade system
- Datadrivna analysverktyg
- Energigemenskaper
- Mikronät
- Flexibla resurser i distributionsnäten.

**På grund av intäcksregleringens utformning** saknar nätägarna idag ofta resurser och incitament för att på egen hand bedriva forskning och utveckling, men även för att implementera ny teknik och nya innovationer. Detta är en förutsättning som skiljer Sverige från exempelvis Storbritannien, där elnätsbolagen arbetar mer aktivt med innovation och forskning. Elnätsbolagens förutsättningar att samarbeta med universitet och högskolor kring forskning och utveckling varierar också kraftigt beroende på företagets ägarform och storlek, samt personliga egenskaper hos de enskilda aktörerna. Det saknas idag också samordning av forskningen som tas fram inom området. Sammantaget leder detta till att flertalet aktörer som intervjuats i studien lyfter beho-

vet av någon form av kompetenscentrum för elnätsrelaterad forskning. Dessutom har ett behov av att se över regleringsmodellen identifierats.

**Behovsområden för framtida forskning** täcker allt från detaljerade teknikfrågor till frågor inriktade mot beteendevetenskap och ledarskap i energiomställningen, och reflekterar de komplexa och sammanlänkade utmaningar som energisystemet står inför idag. Som resultat av kartläggningen som genomförts i samband med framtagandet av denna rapport har totalt sex större behovsområden identifierats:

- Digitalisering och dataanalys
- Testning och integration av framtidens teknik
- Resiliens och kostnadseffektivitet
- Ledarskap och styrning i energiomställningen
- Framtida riskmodeller och beslutsstöd
- Kraftelektronik och elkvalitet.

**Även nyfikenhetsbaserad forskning**, ibland kallad blue sky-forskning, har framförts som ett behov från kartläggningens intervjuade aktörer – detta som komplement till dagens ofta ganska smala och tekniks specifika utlysningar på området. Genom de intervjuer som genomförts har också ett behov av mer tvärvetenskaplig forskning, samt forskning som tittar på elnäten som en del av samhällsplanering och utveckling, uttryckts.

**Insatser för kompetenshöjning, kunskapsdelning och spridning av resultat** utanför den akademiska sfären nämns också återkommande som ett stort behov, med bakgrund till att dessa insatser ofta blir lågt prioriterade i befintliga projekt. Relaterat till detta behov framkommer också behovet av incitament för att dra lärdomar från internationell forskning och exempel från utlandet, då den svenska elnätsbranschen ofta är väldigt Sverigefokuserad.

**Sverige ligger i framkant inom forskningsområden såsom elkvalitet**, och även genom utrustning av smarta mätare som ger elnätsbolagen unika förutsättningar att få tillgång till kunddata. Dock har flertalet elnätsbolag varit sämre på att utnyttja denna data, och även här finns ett behov av ytterligare forskning och utveckling för att identifiera hur data skulle kunna användas till bättre prognostisering och optimering av elnäten.

**Överlag finns det flera andra länder som kommit en längre bit på vägen med att implementera innovationer i elnäten.** Att Sverige inte ligger i ledning på detta område kan bero på den rådande svenska regleringsmodellen, kombinerad med landets relativt stora antal elnätsbolag – alla med varierande drivkrafter och förutsättningar för innovation. I Sverige saknas idag även större kompetenscentrum och/eller testbäddar för elnätskomponenter och marknadsmodeller, något som man har satsat på i exempelvis Storbritannien och Danmark. Jordning är ett ytterligare ämne som identifierats som en svaghet inom svensk forskning på distributionsnätsområdet.

# 1 Bakgrund

Sveriges elnät omfattar både transmissions- och distributionsnät, samt förbindelser till utlandet<sup>1</sup>. Transmissionsnätet, stamnätet, sträcker sig genom hela landet och knyter samman Sveriges elsystem med andra länder. Detta nät är statligt ägt och förvaltas genom Svenska kraftnät. Transmissionsnätet levererar stora mängder el från de främsta elproducenterna till de regionala distributionsnäten. Stora elproduktionsanläggningar och elanvändare är oftast direkt anslutna till transmissionsnätet, som använder höga spänningsnivåer mellan 400 och 220 kilovolt (kV).

Distributionsnätet består i sin tur av region- och lokalnät. Regionnäten är anslutna till transmissionsnätet och transporterar elen vidare ut till lokalnäten. Stora elförbrukare och en del mellanstora elproducenter är ofta anslutna direkt till regionnätet. Driften av de regionala näten sköts av större elnätsföretag, vanligtvis vid en spänning på 130 kV. De huvudsakliga ägarna av dessa nät inkluderar E.ON Energidistribution Sverige AB, Vattenfall Eldistribution AB, Ellevio AB, Skellefteå kraft och Jämtkraft<sup>2</sup>. Lokalnäten tar sedan hand om den sista etappen av eldistributionen till de flesta elförbrukarna, såsom hushåll och företag. Dessa nät ägs av cirka 155 olika elnätsföretag och använder lägre spänningsnivåer, vanligtvis omkring 40 kV eller lägre.

Enligt elnätsföretagen kan det till och med år 2045 komma att krävas elnätsinvesteringar upp emot 945 miljarder kronor – varav drygt 600 miljarder i distributionsnäten – för att tillgodose samhällets växande elbehov och ersätta åldrande infrastruktur<sup>3</sup>. Parallellt med investeringsbehovet pågår en snabb teknikutveckling, och forskningen kring nya tekniker och möjligheter – såsom likström, energidelning, växelriktare och digitalisering – fortsätter att utvecklas kontinuerligt. Därtill sker en snabb installering och anslutning av nya komponenter – såsom elbilar, solceller och batterilager – till distributionsnäten. En central utmaning är att effektivt utveckla distributionsnäten med hänsyn till det ökande behovet av eldistribution, i takt med samhällets ständigt ökande elektrifiering. Med den snabba omställningen blir det avgörande att snabbt implementera ny forskning och innovation, samt kommunicera detta till branschaktörer och beslutsfattare.

<sup>1</sup> Svenska kraftnät (2024), [Sveriges elnät](#).

<sup>2</sup> Boverket (2023), [Elnätets uppbyggnad](#).

<sup>3</sup> Sweco på uppdrag av Ellevio (2023), [Elnätsrapporten 2023 - Investeringsbehovet i det svenska kraftsystemet till 2045](#).

## 1.1 Syfte och frågeställningar

Denna syntesrapport är framtagen av Power Circle inom ramen för stödprojektet *Främja Framtidens elsystem*, och ska bidra till att ge Energimyndigheten en översiktlig sammanställning av pågående forskning, finansiärer av forskningen och behovsområden för framtida forskning kring nya tekniker i distributionsnäten – med huvudsakligt fokus på lokalnäten. Dessutom ska syntesrapporten återge en överblick av hur forskningen som tas fram tillämpas i praktiken idag. Syftet med studien är att ge underlag för Energimyndighetens strategiska arbete med forskningsfinansiering, samt att bidra med kunskapsstöd till bransch och beslutsfattare som är intresserade av området. Studien avser besvara följande frågeställningar:

- Vilka lärosäten/aktörer/organisationer bedriver vilken forskning på området i Sverige idag?
- Vilka aktörer finansierar vilka forskningsområden av den forskning som bedrivs, och har det skett några särskilda satsningar på området?
- Inom vilka discipliner är forskarna aktiva?
- Vad är behovet av forskning/resurser inom området?
- Hur tillämpas den forskning som tas fram?

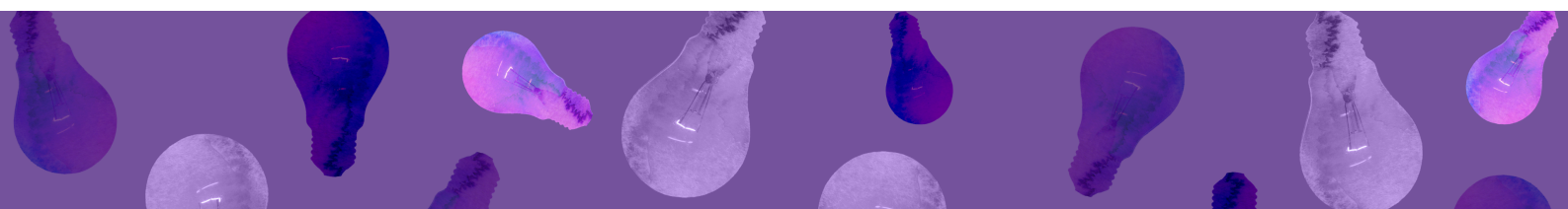
Syntesrapporten gör även en kort internationell utblick, med avsikt att svara på frågor om goda exempel på forskning i utlandet och i vilken mån det förekommer forskningssamarbeten mellan svenska och internationella aktörer, samt inom vilka områden Sverige ligger i framkant och inte.

## 1.2 Avgränsningar

Forskningsområdet som syntesrapporten har kartlagt är brett och analysen ger en översiktlig, men inte komplett, bild av området och dess forskningsfront. Forskningsområden såsom energilager, Vehicle-to-Grid (V2G) och elmarknadsfrågor, som redan kartlagts av Power Circle i tidigare syntesrapporter<sup>4</sup> framtagna inom det tidigare stödprojektet Sprida Samspel, kommer endast att beröras översiktligt och då med fokus på påverkan på distributionsnäten. Rapportens frågeställningar omfattar hela distributionsnätet, men det huvudsakliga fokuset är på lokalnätsrelaterade frågor. Skillnaden mellan regionnät, lokalnät och i viss mån även transmissionsnät har dock inte alltid varit självklar för alla deltagare i studien. Dessutom finns ett överlapp i forskningen där mycket av den teknik och de metoder som tas fram för en spänningsnivå kan utnyttjas även på övriga spänningsnivåer. Detta medför att respondenter och deltagare som medverkat i de rundabordsamtal och workshops som genomförts i samband med kartläggningen ibland kan antas referera även till högre spänningsnivåer i sina svar, även om frågorna som ställts fokuserats på distributionsnäten. Rapporten avgränsas även till att huvudsakligen vara teknikfokuserad, och ingen djupare analys av marknadsfrågor eller beteendevetenskapliga frågor har gjorts.

---

<sup>4</sup> Framtidens elsystem (2024). [Syntesrapporter](#).





# 2 Genomförande

Arbetet med denna kartläggning har pågått under våren 2024 och har omfattat intervjuer, en skrivbordsstudie, workshops och rundabordsamtal för att samla in information som sedan analyserats och sammanställts i denna syntesrapport.

## 2.1 Pilotintervjuer och inledande kartläggning

Inför arbetet med syntesrapporten genomfördes två pilotintervjuer, samt intervjuer med områdesexperter inom Power Circle. Utifrån de inspel som uppkom under pilotintervjuerna bildades en första översikt av forskningsområdet, och relevanta ämnesområden för syntesrapportens kartläggning identifierades. Vid intervjuerna gavs också rekommendationer på relevanta personer att kontakta för vidare intervjuer.

En workshop genomfördes under konferensen Framtidens Elsystem, som arrangerades i Stockholm den 6 februari 2024. Under workshopen fick deltagare från bransch, myndigheter och akademi möjligheten att digitalt och fysiskt svara på ett antal frågeställningar om den utveckling som distributionsnäten står inför.

## 2.2 Intervjustudie

För att besvara rapportens frågeställningar har 15 semistrukturerade intervjuer genomförts under tidsperioden februari–april 2024 (se specifikation i Bilaga A). Respondentgruppen består av forskare, finansiärer av forskningen, samt aktörer från näringslivet och offentlig sektor som arbetar med frågor kopplade till området. Utöver detta har ett antal respondenter via mejl gett svar på utvalda frågor, då forskningen kring distributionsnät ofta är spridd över flera institutioner och avdelningar inom samma universitet eller högskola. Intervjufrågorna har utformats med avsikt att kunna använda respondenternas svar som underlag för kartläggning av pågående forskning inom området, nuvarande finansiärer, särskilda satsningar som har genomförts, och identifiering av framtida forskningsbehov.

Respondenterna till intervjustudien har inledningsvis valts utifrån de förslag som uppkom i den initiala kartläggningen och utifrån Power Circles interna kännedom om aktörer inom området. Ytterligare respondenter har tillkommit under studiens gång på rekommendation av intervjuade aktörer. Respondenterna från näringslivet representerar olika aktörsperspektiv kring distributionsnätens utveckling; bland de svarande finns representation från både akademi, forskningsinstitut, elnätsbolag, konsulter samt teknik- och tjänsteleverantörer. I respondentgruppen finns också representanter från de organisationer som de intervjuade forskarna har identifierat som centrala finansiärer av forskning på området. Vissa kompletterande data har inhämtats per mejl i

efterhand, då tilltänkta respondenter inte varit tillgängliga eller då respondenter behövt ta hjälp internt i sina organisationer för att få en komplett bild av området.

## 2.3 Skrivbordsstudie

En skrivbordsstudie har genomförts för att studera pågående forskning och kompletterande skriftliga referenser som uppgivits av intervjustudiens respondenter. Referenserna har inkluderat interna underlagsrapporter, hemsidor samt annan publicerad skriftlig information om pågående forskning inom det kartlagda området.

## 2.4 Rundabordssamtal och workshop

För att samla in ytterligare aspekter anordnades ett rundabordssamtal på temat för kartläggningen. Till samtalet bjöds aktörer från Power Circles nätverk in för att komma med inspel på preliminära resultat från kartläggningen. På mötet deltog ca 20 aktörer med bred representation från elnätsbolag, akademi, finansiärer av forskning och utveckling samt teknik och tjänsteleverantörer. Diskussioner fördes i grupper där deltagarna fick svara på frågor om hinder och möjligheter för distributionsnätens utveckling, upplevt behov av forskning och utveckling liksom upplevd mognadsgrad för olika tekniker. Utöver rundabordssamtalet arrangerades en workshop i samband med konferensen Framtidens Elsystem som gick av stapeln i februari 2024.

## 2.5 Analys av inhämtad information

Utifrån respondenternas svar i intervjustudien, resultaten från workshopen och rundabordssamtalet samt skrivbordsstudiens referensunderlag, har en analys gjorts för att besvara syntesrapportens frågeställningar. Informationen som presenteras i syntesrapporten reflekterar därmed till viss del de intervjuade individernas, respektive de representerade organisationernas, svar på frågor som ställts vid intervjuerna eller rundabordssamtalet. Analysen syftar till att skapa en översiktlig bild över nuläget och framtida forsknings- och finansieringsbehov.





# 3 Utmaningar och möjligheter för framtidens distributionsnät

Den pågående elektrifieringen och energiomställningen, tillsammans med det faktum att en stor del av dagens distributionsnät kommer behöva bytas ut inom en snar framtid, gör att Sveriges elnät står inför ett betydande investeringsbehov under de kommande åren<sup>5</sup>. Det är svårt att fastslå var den faktiska elförbrukningen landar i framtiden, men det vi med säkerhet vet är att elektrifieringen medför en markant ökning av konsumtionsbehovet – samtidigt som nya tekniker och resurser, såsom solceller, elbilar och batterilager, ska integreras i systemet. Nya nätkoder och ökade krav på självförsörjandegrad och resiliens ställer också nya krav på våra elnät. Samtidigt ökar intresset för flexibilitet, och den framtida potentialen för att använda efterfrågefleksibilitet och lagring för att kapa effekttoppar och stötta elnäten med andra stöd-tjänster är stor<sup>6,7</sup>. Digitalisering, artificiell intelligens (AI) och maskininlärning (ML) skapar också nya möjligheter för ökad övervakning, automatisering och prognostisering. Tidigare studier om digitalisering av elnäten visar dock att elnätsbolagen har olika förutsättningar beroende på storlek och ägandeform, och de har därför kommit olika långt på sina digitaliseringsresor<sup>8</sup>.

Inom ramen för denna kartläggning har ett antal utmaningar som distributionsnäten står inför identifierats. Dessa utmaningar innefattar delvis aspekter av ny teknik och komponenter i elnätet, såsom implementering av digitalisering och AI, elbilsladdning, distribuerad småskalig elproduktion, annan kraftelektronik samt ett ökat behov av batterier och lagring. Vissa respondenter som medverkat i kartläggningen har också lyft utmaningar med att integrera ny elproduktion i större skala – såsom större solkraftsparker, små vindkraftsparker eller småskalig kärnkraft – på regionnätetsnivå. Behov av bättre verktyg för prognostisering av både framtida elbehov, produktion och flexibilitet har också lyfts. Även utmaningar kopplade till nya sorters energianvändning, såsom ödrift och ökad andel prosumenter i elnätet, har lyfts fram. Resilient elförsörjning och cybersäkerhet har också nämnts som tekniska utmaningar för framtidens distributionsnät. Några av de utmaningar som identifierats kan sammanfattas i nedanstående tematiska områden:

<sup>5</sup> Sweco på uppdrag av Ellevio (2023). [Elnätsrapporten 2023 - Investeringsbehovet i det svenska kraftsystemet till 2045](#).

<sup>6</sup> Power Circle (2022). [Flexibilitet för ett mer stabilt och driftsäkert elsystem – en kartläggning av flexibilitetsresurser](#).

<sup>7</sup> Energimarknadsinspektionen (2023). [Främjande av ett mer flexibelt elsystem](#) (Ei R2023:06).

<sup>8</sup> Power Circle (2022). [DigiGrid – Digitaliserade och resurseffektiva elnät](#) (Energiforsk rapport 2022:895).

## Observerbarhet och styrbarhet i lågspänningsnät

Möjligheterna att styra och observera komponenter i lågspänningsnätet är idag små, och det är svårt att implementera digitalisering och ny teknik på grund av den stora mängden nätstationer och bristen på kompetens. Samtidigt finns mycket kunskap på högre spänningsnivåer, och nya tekniska lösningar skapar möjligheter. Kraven från kunderna på att kunna leverera användbar information från lokalnäten ökar också.

## Prognostisering och optimering

För att öka utnyttjandegraden i ett elnät med hög andel distribuerad förnybar elproduktion, genom att kapa effekttoppar med hjälp av flexibla resurser såsom elbilar och batterier, behöver möjligheterna för att kunna prognostisera både produktion, tillgänglig flexibilitet och användning öka. Nya möjligheter behöver därför skapas med hjälp av digitalisering och AI för att öka resurseffektiviteten i elnäten.

## Hantering av ökade mängder distribuerad elproduktion

Med en ökande andel distribuerad förnybar elproduktion, särskilt från solceller, uppstår utmaningar relaterade till bland annat spänningsreglering och lastbalansering, eftersom distributionsnät historiskt sett inte har varit designade för hög andel decentraliserad elproduktion. Här behöver ny teknik och nya metoder utvecklas och befintlig teknik behöver implementeras.

## Elkvalitet i ett kraftelektronikbaserat system

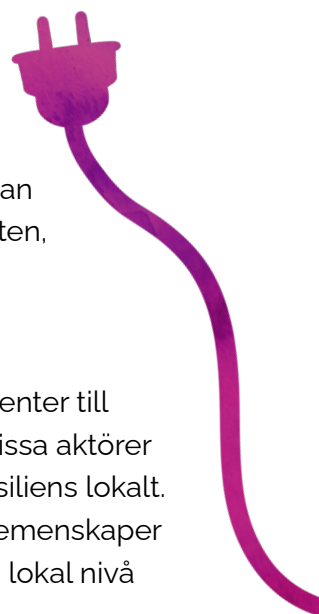
Elnätsbolagen är enligt vissa respondenter inte förberedda på alla utmaningar som kommer att uppstå med stora mängder kraftelektronik i systemet. Exempelvis kan trasiga eller dåliga filter ge övertoner, supratoner och spänningsproblem, och impedansen kommer förändras och ge ökad känslighet för spänningsdippar och transienter.

## Resiliens, oberoende och självförsörjning

Kraven på resiliens och möjligheter till lokal systemdrift, med ökad autonomi och eventuellt även ödrift för vissa samhällsviktiga funktioner, kan komma att öka i framtiden. Behoven av samhällsplanering där elnäten blir en mer integrerad del av ett större system kommer att öka. Här behöver kunskapsutbyte och samverkansformer bli bättre. Samtidigt kan elnätsföretagen behöva bli en form av lokal systemoperatör. Några deltagare i intervjustudien har lyft en möjlig målkonflikt mellan att utnyttja elnäten mer effektivt för att öka resurseffektiviteten och omställningstakten, och att ha större marginaler för ökad resiliens.

## Energigemenskaper och likströmsnät

När det kommer till energigemenskaper och likströmsnät på lokal nivå kan respondenter till kartläggningen nämna flera framtida utmaningar och möjligheter; bland annat ser vissa aktörer möjligheten att koppla samman lokala system som en viktig pusselbit i att skapa resiliens lokalt. Med många nya komponenter – såsom batterier, solceller och elbilar – kan energigemenskaper bidra till att styra och kontrollera lokala system. Samtidigt ökar behovet av skydd på lokal nivå



om kunder kopplar sig till varandra. Hur likströmsnäten påverkar de lokala elnäten är ett frågetecken, och kommer bland annat bero på komplexiteten i systemet och hur de kopplar till nätstationerna. Det anses dock av flera aktörer som viktigt att energigemenskaper utvecklas i samverkan med elnätsbolagen, så att de inte får en negativ inverkan på elnäten.

## Ökad komplexitet i systemet

I framtidens elsystem ökar komplexiteten, vilket påverkar elnätsbolagen. Detta gäller både ökad teknisk komplexitet, men även mer komplexa marknadsmodeller och ett större antal aktörer som ska samverka.

## Kunskapsbehov och kompetensförsörjning

Kunskapshöjning, kunskapsdelning och kompetensförsörjning har lyfts som viktiga frågor av flera deltagare i studien. Utmaningar med kompetensförsörjning och svårigheten att attrahera rätt kompetens till branschen har varit ett omdiskuterat problem länge. För elnätsbolagen har särskilt behovet av ingenjörer som kan IT och digitalisering samtidigt som de förstår elnätets funktion och utmaningar identifierats.

## Kapacitetsbrist i lågspänningsnäten

Kapacitetsbrist beskrivs fortsatt vara en av de stora utmaningarna att hantera här och nu. Tidigare har utmaningar med flaskhalsar främst funnits på regionnätetsnivå och transmissionsnätetsnivå, men nu börjar även vissa lågspänningsnät nå sin belastningsgräns.

## Affärsmodeller, prissignaler och marknadsmodeller

Elmarknadens funktion är viktigt för elnäten, då en alltför stor volatilitet i elpriser och priser på andra marknader kan påverka driften av elnäten genom påverkad efterfrågan på el, vilket kan skapa nya toppar eller förändra kundernas förväntade beteende. Även tillståndsfrågor, kösystem och behov av nya affärsmodeller för exempelvis V2G och batterier har lyfts som utmaningar.

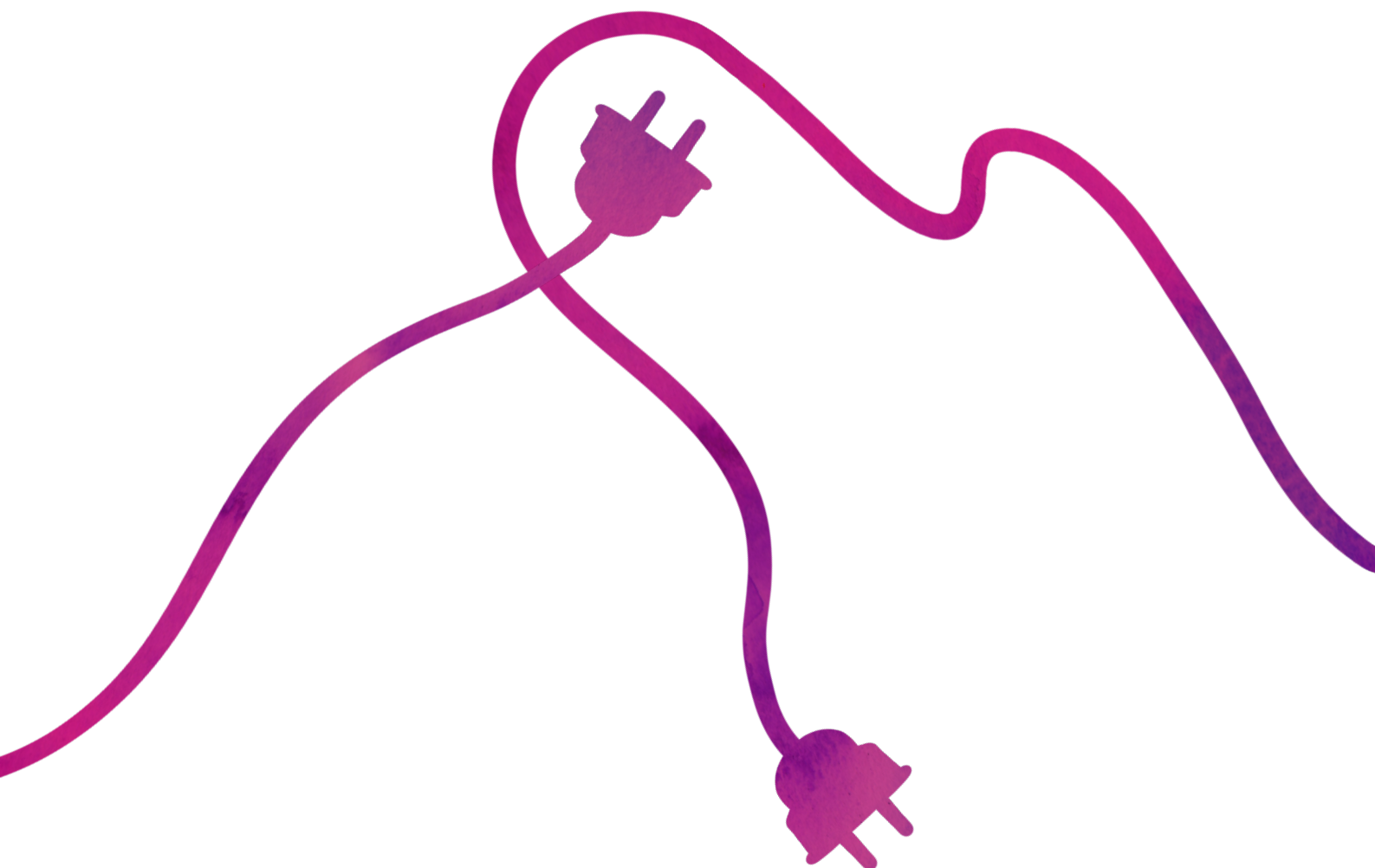
## Övriga utmaningar

En övergripande utmaning som nämnts av flera respondenter är den snabba omställningen och den parallella tekniska utvecklingen. En respondent poängterar exempelvis att det inte hade varit något problem att klara integrationen av ny teknik och att samtidigt bygga ut elnätet om tempot hade varit som på 1980-talet. Nu står elnätsbolagen i stället inför en situation där de både ska klara en snabb utbyggnad, samtidigt som de ska anpassa sig till nya laster och ny teknik som kommer in på såväl produktionssidan som konsumtionssidan. Dessutom ställs nätägarna själva inför nya krav, med nätutvecklingsplaner och ökade krav om resiliens och lokalt systemansvar, samtidigt som de ska förhålla sig till och implementera AI, digitalisering, ny teknik och nya affärsmodeller i det egna elnätet.

Ytterligare en utmaning relaterad till detta, som nämnts av flera branschpersoner, är att osäkerheten är stor – både kring vilka förplanerade industriprojekt som faktiskt blir av och var de hamnar, samt vilka tekniker som kommer att få genomslag och därmed påverka elnätets drift. Exempel

på faktorer där oenighet råder kring hur stort genomslag de får och vad påverkan blir på elnäten är exempelvis V2G, energigemenskaper och lokal ödrift. En annan fråga som kvarstår är hur digitalisering och AI kommer att påverka elnätsbolagens verksamheter. Här är de flesta av kartläggningens deltagare eniga om att påverkan kommer bli stor, men hur den kommer ske och hur teknik och användningsområden kommer utvecklas är fortfarande osäkert.

En utmaning som understryks av ett flertal deltagare i studien är att elnätsbolagens förutsättningar och motivation för att implementera ny teknik och digitalisering samt satsa på egen forskning och utveckling varierar stort. Här finns skillnader – både i storlek, ägandeform och vilket stöd elnätsbolagen kan få från en eventuell moderkoncern – som påverkar förutsättningar och incitament att arbeta proaktivt med ny teknik. På de mindre företagen är det ofta personberoende om det alls finns resurser att delta, och på de största kan det istället vara svårt att få till stånd samarbeten med andra företag eller med akademien, på grund av att det blir för komplext.



# 4 Forskning och utveckling idag

Dagens svenska forskning och utveckling av framtidens distributionsnät innefattar en variation av tematiska forskningsområden och frågeställningar. Forskningen bedrivs på flertalet universitet och forskningsinstitut, och finansieras av olika aktörer från akademi, industri och offentlig sektor. I detta kapitel ges en närmare presentation av den kartläggning som gjorts av forskningsområdet och dess aktörer idag.

## 4.1 Tematiska områden och frågeställningar

Vid flertalet svenska universitet och högskolor, samt i näringsliv och offentlig sektor, pågår idag forskning och utveckling inom många områden som går att knyta till utvecklingen av framtidens distributionsnät. I kartläggningen som gjorts inför framtagandet av denna syntesrapport har främst forskare som arbetar på avdelningar för elkraftteknik, energivetenskap, nätverk- och systemteknik, energisystem samt realtidssystem intervjuats. I kartläggningen har även respondenter som representerar näringslivet, såsom anställda på energi- och elnätsföretag samt teknikleverantörer, medverkat.

För att bilda en uppfattning om vilka frågeställningar som de intervjuade aktörerna arbetar med i dagsläget har respondenterna fått berätta om pågående projekt. Intervjuunderlaget, tillsammans med en genomgång av pågående och avslutade projekt inom bl.a. Energimyndighetens forsknings- och innovationsprogram *Framtidens elsystem* och *SamspeL*, samt underlag från databasen Swecris<sup>9</sup>, har resulterat i kategoriseringen av nio tematiska FoU-områden som knyter an till framtidens distributionsnät. Inom de tematiska områdena kan frågeställningar röra både leveranssäkerhet under normala driftsförhållanden, samt beredskap vid kriser och angrepp.

### Integration av variabel och decentraliserad elproduktion

Forskning kring integration av variabel och decentraliserad elproduktion har historiskt ofta berört systemstudier kring hur mycket vind- och solceller som kan integreras i systemet, samt hur variabiliteten ska hanteras. Inom ämnet variationshantering görs mycket forskning redan idag. Exempelvis har en modell över det svenska lågspänningsnätet vid ett helt förnybart elsystem tagits fram. Inom området integration av vind- och solkraft pågår nu även projekt som undersöker hur variabel produktion kan styras för att bättre integreras i elnätet, samt hur den kan bidra med stöd-tjänster såsom frekvensreglering, spänningsreglering, flexibilitet, dödnätsstart samt ödrift till elsystemet. Dessutom har hybridparker och sektorsintegration mellan exempelvis sol, vind, lagring, värme, samt produktion av vätgas eller elektrobränslen börjat studeras.

<sup>9</sup> Vetenskapsrådet (u.d.), [Swecris – sök bland svenska forskningsprojekt](#).

### Integration av elbilsladdning

Forskningen kring integration av elbilsladdning har tidigare i stor utsträckning handlat om tillräcklighetsstudier, det vill säga studier över hur många elbilar ett elnät kan hantera och vilka åtgärder som kan komma att behövas för att klara av en storskalig integration av elbilar i befintligt elnät. Detta område är relativt välbeforskat och nyare projekt rör snarare vilka tjänster elbilsflottan kan bidra med till elnätet. Inom området elbilsladdning pågår forskning kring smart laddning och hur V2G påverkar elnätet; ett antal av dessa forskningsprojekt har lyfts i tidigare syntesrapport<sup>10</sup> samt faktablad<sup>11</sup> från Power Circle. Ett flertal påbörjade projekt, både inom akademi och industri, utvärderar hur batterier kan stötta laddstationer där elnätskapaciteten inte räcker till. Det pågår även forskning relaterad till affärsmodeller för bättre integration av elbilar och vindkraft i elnätet. Forskningen kring integration av elbilar i elnätet har tidigare främst rört personbilsflottan, men det finns idag även forskning relaterad till tunga transporter.

### Digitalisering av elnätets komponenter

Digitalisering av komponenter såsom uppkopplade nätstationer, sensorer och mätning är ett område där utvecklingsarbete och implementering främst pågår inom industrin. Sverige ligger långt fram när det kommer till exempelvis smarta mätare hos slutkunder, men nivån på digitaliseringen av nätstationer varierar kraftigt mellan olika elnätsbolag<sup>12</sup>.

### Cybersäkerhet

Cybersäkerhet är ett område som blir allt mer integrerat i andra forskningsområden, i syfte att säkra driftsäkerheten i allt mer digitaliserade elsystem och verksamheter. Bland annat pågår arbete med fokus på hur hot mot IT-system ska bemötas och upptäckas, samt hur systemen görs motståndskraftiga. Dessutom studeras utveckling och förbättring av metoder och modeller för att mäta och utvärdera säkerheten i system, för att identifiera svagheter och för att bygga upp en ökad säkerhet i elsystemet.

### Datadrivna analysverktyg

Detta område omfattar bland annat användningen av verktyg – såsom digitala tvillingar, AI-drivna elnätsprognoser och maskininlärning – för elnätsmodellering, prognostisering och nätplanering. Olika verktyg för prognostisering och nätplanering används för att angripa frågor om var det riskerar att uppstå kapacitetsbrist i elnätet, samt för att fastställa optimal placering av nya laster, produktion och flexibilitet för att minska påverkan på nätet. Digitala tvillingar som uppdateras med insamlade mätvärden från elsystemet kan användas för att bland annat analysera förluster, avbrott, spänningskvalitet samt prognoser av last och produktion, för att hitta problem med kapacitet eller spänning. Digitala tvillingar kan också användas för att göra beräkningar vid nyanlutningar eller andra förändringar.

---

<sup>10</sup> Power Circle (2023), [Forskning och utveckling av V2X i Sverige](#).

<sup>11</sup> Power Circle (2024), [Vad är V2G – Vehicle to Grid?](#)

<sup>12</sup> Power Circle (2022), [DigiGrid – Digitaliserade och resurseffektiva elnät](#) (Energiforsk rapport 2022:895).



## Energigemenskaper

I Sverige bedrivs forskning och utveckling av energigemenskaper både inom akademien, men även i form av flera pilotprojekt såsom Tamarinden i Örebro<sup>13</sup> och Hammarby Sjöstad i Stockholm. Forskningen fokuserar framförallt på sociala frågor såsom främjande och organisation av energigemenskaper, vilka regelverk som behöver förändras för att öppna upp för virtuell eller fysisk delning av energi<sup>14</sup>, samt hur cybersäkerhet och resiliens ska hanteras inom energigemenskaperna<sup>15</sup>. Få projekt fokuserar på påverkan på det omkringliggande energisystemet.

## Mikronät

Forskningen kring mikronät i Sverige idag fokuserar mycket på tekniska frågor såsom styrning och kontroll, men även på ödrift, resiliens och dödnätsstart. Fokus är ofta på mikronät som lösning för tillförlitlig elförsörjning för kritiska samhällssektorer. Relativt få projekt tycks fokusera på påverkan på överliggande lokala elnät, eller hur mikronäten ska integreras i elsystemen. Det finns bland annat projekt som fokuserar på att utveckla digitala tvillingar för mikronät<sup>16</sup> samt cybersäkerhet och datahantering i mikronät<sup>17</sup>.

## Elkvalitet i kraftelektronikbaserade system

Forskning kring elkvalitet i distributionsnät och hur ny kraftelektronik påverkar systemets driftsäkerhet och effektivitet blir allt viktigare. Ökad användning av kraftelektronik ökar mängden störningar i distributionsnäten. Att förutse framtida problem och utveckla metoder för att hantera utmaningar såsom övertoner, spänningsdippar och filter som går sönder är därför viktiga forskningsområden. Sverige anges av flera respondenter ligga i framkant inom elkvalitetsforskning.

Forskning som pågår studerar bland annat hur ny kraftelektronik kan bidra till att upprätthålla elnätets förmågor. Med kraftelektronik som ansluts via nya tekniker skapas inte bara utmaningar, utan även resurser för exempelvis effektlödesstyrning och spänningsreglering. Här studeras områden såsom aktiv och reaktiv effekt, spänningshållning och hur man kan använda kraftelektronik för att styra detta genom exempelvis nätformande växelriktare. Det pågår även projekt kring ökad resiliens i elsystem med hög andel kraftelektronik, samt kring hur innovativ kraftelektronik kan bidra till att hantera en storskalig integration av havsbaserad vindkraft.

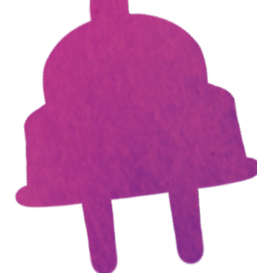
<sup>13</sup> Örebro kommun (2024), [Tamarinden](#).

<sup>14</sup> Becquerel Sweden (2023), [Energiledning i virtuella nät. Vilka förändringar krävs för att det ska bli verklighet?](#)

<sup>15</sup> Vetenskapsrådet (n.d.), [Cybersäkerhet för framtidens resistent energigemenskaper](#).

<sup>16</sup> Vetenskapsrådet (n.d.), [Hög-upplösta modellering och robust optimering av mikronät](#).

<sup>17</sup> Vetenskapsrådet (n.d.), [Toward safe energy communities: Protected data collection and data sharing for demand flexibility at Dansmästaren](#).



### Flexibla resurser i distributionsnäten

Flexibilitet i elsystemet är ett brett område som omfattar både produktionsflexibilitet, efterfrågeflexibilitet samt lagring, och som dessutom medför flera olika användningsområden. Några av dessa inkluderar flexibilitet för frekvensreglering och andra stödtjänster, flexibilitet för variationshantering samt utjämning av elpriser. Flexibilitet kan även utnyttjas i lokala och regionala elnät, och ett flertal pilotprojekt med lokala flexibilitetsmarknader har pågått eller pågår i Sverige idag<sup>18</sup>. Majoriteten av forskningen kring flexibilitet omfattar potentialstudier samt marknadsmodeller och andra hinder och incitament för att frigöra flexibilitet. Endast ett fåtal studier fokuserar på flexibilitetens påverkan på, och nytta för, de lokala och regionala elnäten. Bland de studier som finns noteras projekt om hur lokala flexibilitetsresurser kan utnyttjas för resiliens i elnätet, forskning och pilotprojekt kring batterilager i elnätet, samt vilka affärsmodeller som är intressanta för att möjliggöra för elnätsbolag att utnyttja lokal flexibilitet.

## 4.2 Vilka bedriver forskningen?

Forskning och utveckling på området framtidens distributionsnät bedrivs idag i flera olika kontexter, med olika inriktning och koppling till distributionsnäten i sig. Medan vissa projekt och studier undersöker utvecklingen av elnät och komponenter, studerar andra projekt elsystemtjänster som på något sätt förhåller sig till, eller påverkar användningen av, distributionsnät. I detta avsnitt ges en närmare presentation av de lärosäten, forskningsinstitut och näringslivsaktörer som framträtt genom syntesrapportens kartläggning.

### Akademi och forskningsinstitut

De flesta svenska tekniska högskolor, universitet och forskningsinstitut bedriver idag forskning som på olika sätt knyter an till nya tekniker och komponenter i distributionsnäten. Forskning på området kan ofta bedrivas på flera avdelningar på ett och samma lärosäte eller institut. Nedan beskrivs några exempel på den forskning som idag bedrivs vid de organisationer som finns representerade bland respondenterna till syntesrapportens kartläggning.



#### Chalmers

På Chalmers bedrivs distributionsnätsforskningen bland annat på avdelningen för elkraftteknik, som även står som värd för de nationella forskningscentrumen The Swedish Electromobility Centre, Svenskt centrum för el-energilagring och balansering samt Svenskt vindkraftcentrum, som alla beskrivs närmare i avsnitt 4.4. På avdelningen för elkraftteknik bedrivs forskningen enligt tvärvetenskaplig princip, och forskningen på området är uppdelad i två forskningsenheter:

- *Elnät och komponenter* – som bedriver forskning inom drift och styrning av elkraftsystem, kraftelektronik i kraftsystem och högspänningssystem
- *Elmaskiner och kraftelektronik* – som bedriver forskning kring elektriska maskiner, kraftelektronik, drivsystem och batteriteknik.

<sup>18</sup> Power Circle (2022). [Lokala flexibilitetsmarknader](#).

Nyckelkompetenser inom Elnät och komponenter är tekniska och marknadsbaserade lösningar för integrerade energisystem, med multienergiomvandling och lagring, förnybara energikällor och energilagringssystem samt deras integration i elnätet, lösningar för att förbättra tillförlitlighet, effektivitet och flexibilitet för framtida hållbara energisystem, samt avancerade material för högspänningskomponenter och metoder för deras diagnostik. Bland annat bedrivs projekt kring mikronät, integration av förnybara generatorer i elnätet<sup>19</sup> och nätformande växelriktare<sup>20</sup>.

Även vid institutionen för rymd- geo- och miljövetenskap bedrivs forskning med relevans för framtidens distributionsnät, om än på en högre systemnivå. Här finns avdelningarna Energiteknik och Fysisk resursteori, där bland annat modellbaserad energisystemanalys för utbud, distribution och efterfrågan av nätbaserade energibärare studeras, liksom variationshantering i system med mycket förnybar elproduktion. Vid Chalmers bedrivs även ett forskningsprojekt som ska utveckla en nätmodell över hela Sveriges låg-, mellan- och högspänningsnät. Modellen ska kunna besvara var det riskerar att uppstå kapacitetsbrist i elnätet, och kunna användas för optimal placering av nya laster, produktion och flexibilitet för att minska påverkan på nätet<sup>21</sup>.

### Kungliga tekniska högskolan

På KTH bedrivs forskning på distributionsnätsområdet främst vid avdelningen för Elkraftteknik. Där förekommer frågeställningar som fokuserar på kraftsystemdynamik, drift och styrning, kraftelektronik och tillämpning i nätet. Forskningen inom kraftelektronik handlar om högeffektiv och kontrollerbar omvandling av elkraft, vilket också förekommer i produktion från förnybara källor, elöverföring, elektriska transporter samt strömförsörjning. Även styrning av mikronät är ett område som KTH bedriver forskning kring. Frågeställningar som berör bredare systemfrågor, som rör drift och kontroll av elsystemet, förekommer också i avdelningens forskning genom utveckling av modeller, metoder, verktyg och styrstrategier för upprätthållandet av en säker och tillförlitlig drift av kraftsystem på ett kostnadseffektivt sätt.

På KTH finns exempel på pågående projekt där likströmsnät och deras potential för att integrera förnybar energi på ett effektivare sätt undersöks. Ett projekt granskar effektelektroniska lösningar för att förbättra likströmsnätets prestanda, med målet att stödja ett elnät som helt baseras på förnybara källor<sup>22</sup>. Ett annat projekt fokuserar på hur skyddsreläer samverkar med växelriktare, som är viktiga för integrationen av förnybar energi i elnätet. Forskarna studerar hur befintliga skyddsalgoritmer fungerar med olika växelriktarstyrningar och utvecklar nya lösningar för att förbättra detta samspel<sup>23</sup>. Ytterligare ett projekt vid KTH har som syfte att införliva AI för att skapa intelligenta och flexibla styrningssystem för effektomvandlare<sup>24</sup>.

---

<sup>19</sup> Chalmers (2023), [Multiportsomriktare att förstärka lokalnäts försörjningstrygghet och nätstyrka](#).

<sup>20</sup> Chalmers (2022), [Feltålighet av vindkraftverket med nätformande kontroll](#).

<sup>21</sup> Chalmers (2023), [Utvärdering av kapacitetsbegränsningar i det svenska låg- och mellanspänningsnätet vid ett helt förnyelsebart elsystem](#).

<sup>22</sup> Framtidens elsystem (n.d.), [Lösningar för styrning och hårdvara för likströmsnät som möjliggör hållbar expansion av förnybar el](#).

<sup>23</sup> Framtidens elsystem (n.d.), [Samspelet mellan Skyddsreläer och Nätbildande och Nästföljande Omvandlare](#).

<sup>24</sup> Framtidens elsystem (n.d.), [Intelligent och multifunktionell styrning i framtida effektomvandlardominerade nät](#).

### Luleå tekniska universitet

Vid Luleå tekniska universitet bedrivs forskningen på området inom forskningsämnet elkraftteknik, som omfattar studier av systemet för generering, transport och användning av elektrisk energi, samt studier av växelverkan mellan elnätet, generering och användning. Forskningen berör tre huvudsakliga områden:

- *Kraftsystem*, med systemstudier på både distributions- och transmissionsnättnivå – ofta med fokus på acceptansgränsstudier för olika tekniker.
- *Elmarknad*, där marknadsmodeller och smarta elnätslösningar studeras.
- *Elkvalitet*, som är det största området.

Forskningen bedrivs huvudsakligen genom enskilda doktorandprojekt och i samverkan med elnäts- och energibolag, som i projekten fungerar som både finansiärer och samarbetspartners som möjliggör datainsamling. Bland de pågående forskningsprojekten på lärosätet förekommer teman såsom spänningsdippar och andra elkvalitetsstörningar i framtida elnät<sup>25 26</sup>, studier för bedömning av acceptansgräns för flexibilitet, elbilsladdning och variabel elproduktion i distributionsnät<sup>27 28 29</sup>, samt studier av elmarknadens påverkan på elnäten och vice versa<sup>30</sup>.

### Lunds tekniska högskola

Vid Lunds tekniska högskola bedrivs forskning relaterad till framtidens distributionsnät på avdelningen Industriell elektroteknik och automation, som innefattar i huvudsak tillämpningsorienterad forskning som inspireras av industriella problem. Projekten utförs ofta i samarbete med svensk industri och utnyttjar ofta nätdata från elnätsföretagen. Bland forskningsprojekt med relevans för utvecklingen av – och förståelsen för – framtidens distributionsnät finns frågeställningar som framför allt kretsar kring nätkapacitet. Bland annat undersöker ett projekt systemvärn för ökad överföringskapacitet<sup>31</sup>, och bland tidigare projekt finns studier av vindkraft som metod för nätåteruppbyggnad<sup>32</sup>.

Lunds universitet medverkar också som samarbetspartner till kompetenscentrumet Svenskt centrum för el-energilagring och balansering, som beskrivs närmare i avsnitt 4.4. Som en del av arbetet i kompetenscentrumet har Lunds tekniska högskola två doktorander involverade i projekt som bedrivs genom centrumet: en doktorand inom balansering, som undersöker nätkapacitet, energilager och virtuella ledningar, och en doktorand som studerar hur kapacitet kan/bör fördelas mellan elnät och batterilager i förhållande till expansionen av variabel förnybar elproduktion och elektrolys. I Swedish Electromobility Centre arbetar en doktorand inom elektromo-

<sup>25</sup> Luleå tekniska universitet (2024). [Trender i spänningsdippar och kopplingstransienter i framtida elnät](#).

<sup>26</sup> Luleå tekniska universitet (2023). [PMU mätningar för spänningsdippdetektering och lokalisering](#).

<sup>27</sup> Luleå tekniska universitet (2024). [Flexibilitet och acceptansgräns](#).

<sup>28</sup> Luleå tekniska universitet (2023). [Metoder för att uppskatta acceptansgränsen](#).

<sup>29</sup> Luleå tekniska universitet (2023). [Acceptansgräns för distributionsnät](#).

<sup>30</sup> Luleå tekniska universitet (2023). [Ett riskbaserat tillvägagångssätt för marknadsbegränsningar på grund av elnätet](#).

<sup>31</sup> Lund university (n.d.). [Systemvärn för ökad överföringskapacitet](#).

<sup>32</sup> Lund university (n.d.). [VINST – Vindkraft i nätåteruppbyggnad för större tillförlitlighet](#).

bilitet, och undersöker i projektet ACTUAL frågeställningar kring nätkapacitet och laddning vid 100 procent elektrifiering av fordon i Sverige. Samtliga tre doktorander är på avdelningen för industriell elektroteknik och automation.

### Mälardalens universitet

Vid Mälardalens universitet pågår elnätsrelaterad forskning inom området Förnybar energi, där ett fokusområde är att undersöka förbättringen av flexibilitet i energisystemet, för att möta det växande behovet av utökad kapacitet kring variabel elproduktion. Ett pågående projekt inom forskningsområdet undersöker ökad grad av flexibilitet i energisystem med hjälp av big data, ny teknik och marknadsdesign<sup>33</sup>.

Även under forskningsområdet *Digitalisering av framtidens energi* bedrivs forskning som kan relateras till elsystem. Inom detta forskningsområde arbetar forskarna bland annat med avancerade metoder för modellering och mättekniker för metoder som innefattar modellbaserad diagnostik, beslutsstöd, optimering och kontroll för energieffektiva processer och system med miljöhänsyn. Ett exempel på projekt som nu drivs på Mälardalens universitet handlar om integrering av e-mobilitet i elnätet och hur AI och digitalisering kan nyttjas för att dra nytta av flexibilitet och mildra effekter av begränsad nätkapacitet<sup>34</sup>.

### RISE Research Institutes of Sweden

RISE bedriver forskning och utveckling inom flera olika discipliner och områden som berör elnät. Inom området *Kraftsystemanalys* utvecklas simuleringsmodeller av kraftsystemet och dess komponenter, i syfte att utveckla nya lösningar för att öka systemets kapacitet och driftsäkerhet. Organisationens experter som är knutna till området arbetar också med frågor som spännings- och frekvensstabilitet, samt innovativa lösningar för utökad övervakning och kontroll med hjälp av PMU:er och WAMS<sup>35</sup> samt systemvärn/nätvärn. Bland RISEs projekt på området framtidens distributionsnät noteras bland annat ett projekt som undersökt lösningar för ökad integration av förnybar produktion i distributionsnäten<sup>36</sup>.

Även under det tematiska forskningsområdet *Energisystemanalys ur ett samhällsnyttoperspektiv* bedrivs projekt kring flexibilitet och driftoptimering. Utöver detta medverkar RISE i två pilotprojekt för energigemenskaper i Tamarinden respektive Hammarby Sjöstad<sup>37</sup>. Dessutom bedrivs forskning kring cybersäkerhet i elnätet i ett samverkansprojekt med Samarkand2015<sup>38</sup>.

<sup>33</sup> Mälardalens universitet (n.d.), [FLEXERGY – Energiflexibilitet genom synergier mellan stora datamängder, teknik & system och innovativa marknadslösningar](#).

<sup>34</sup> Framtidens elsystem (n.d.), [iEVsFLEX: Integrering av e-mobility i elnätet för hög flexibilitet genom AI och digitalisering](#).

<sup>35</sup> *Phasor Measurement Unit (PMU)*, mäter fasvinklar och magnitud på spänningar i elnätet. *Wide Area Monitoring System (WAMS)*, analyserar data från PMU:er.

<sup>36</sup> RISE (n.d.), [ANM4L – sol och vind för alla](#).

<sup>37</sup> RISE (n.d.), [Systemförändring med lokalt delad energi – Piloter](#).

<sup>38</sup> RISE (2023), [Krafttank används i forskningsprojekt för cybersäkerhet i elnätet](#).

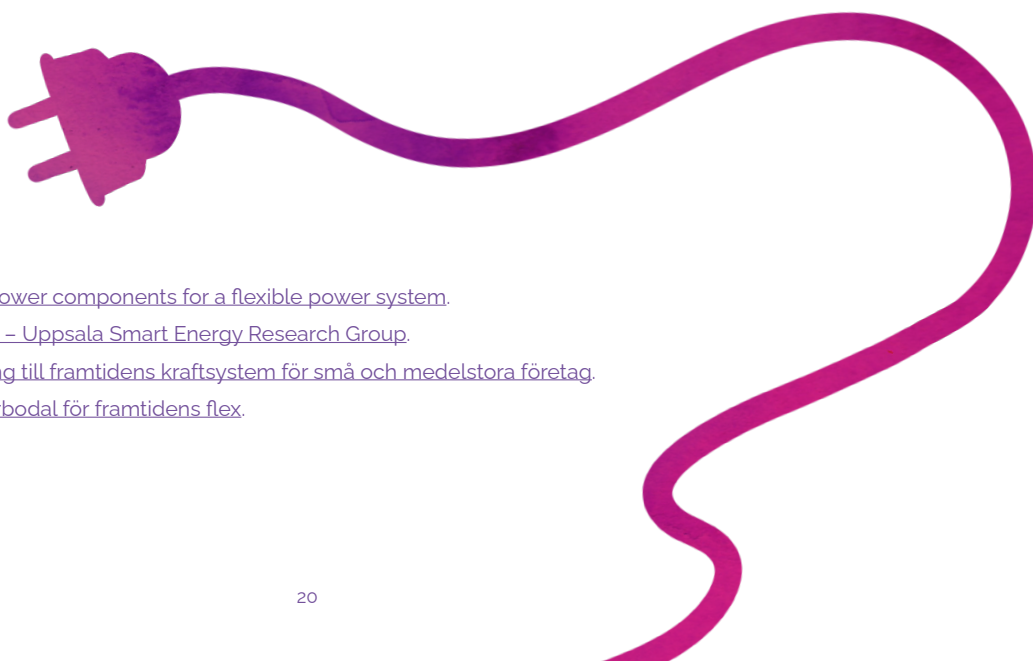
### Uppsala universitet

Vid Uppsala universitet bedrivs forskningen som kan relateras till distributionsnätens utveckling dels från institutionen för elektroteknik, under avdelningen för elektricitetslära. Där studeras bland annat aspekter av eldistribution, elnätsstudier samt komponenter i elnätet. Exempel på frågeställningar inom projekten är växelriktarens roll i elsystemet och hur elnätsstabiliteten påverkas med ett större införande av kraftelektronik<sup>39</sup>, samt installation av energilager för att säkerställa driftstabilitet i framtidens distributionssystem. Avdelningen för elektricitetslära jobbar med en rad olika forskningsprojekt som i många fall sker i nära samarbete med industri, samhälle och andra aktörer. Vid avdelningen bedriver man även forskningsprojekt inom elektriska framdrivningssystem som undersöker frågor som fokuserar på elmotorer och den elektriska drivlinan, samt elektrifiering av flyg och flygplatser. Den sistnämnda områdets relevans för distributionsnäten förväntas öka ytterligare, då elektrifiering av flyg och flygplatser – samt elektromobilitet och laddning med fokus på tunga fordon – berör distributionsnäten.

På Uppsala universitet verkar också forskargruppen USER<sup>40</sup>, som tillhör institutionen för samhällsbyggnad och industriell teknik och bedriver energisystemforskning ur ett tvärvetenskapligt perspektiv. Forskningen fokuserar främst på smarta nät samt användarbeteenden och sociotekniska perspektiv på efterfrågefleksibilitet, men även decentraliserad produktion, energilager och elfordon – samt relaterade produkter och tjänster – undersöks. USER finansieras till störst del av medel från programmet STandUP for Energy, som beskrivs närmare i avsnitt 4.4.

### Högskolan väst

På Högskolan väst bedrivs forskning relaterad till distributionsnät på avdelningen för elektroteknik. Bland annat undersöker ett pågående projekt förutsättningarna för att små och medelstora företag i ökad utsträckning ska kunna bidra med efterfrågefleksibilitet på marknaderna för olika former av flexibilitet och stödtjänster<sup>41</sup>. På lärosätet bedrivs också ett pågående projekt vars huvudsakliga syfte är att ta fram förenklade principer för utformning, dimensionering och verifiering av jordningssystem i resonansjordade mellanspänningsnät för att säkerställa att oacceptabla beröringsspänningar inte uppstår. Högskolan väst medverkar även som delaktig part i projektet Fyrbodals för framtidens flex<sup>42</sup>. Utöver pågående forskningsprojekt planerar lärosätet idag för tillsättning av industridoktorander som ska undersöka frågeställningar gällande drift av distributionsnät, hållbara komponenter samt elfordonens roll i näten.



<sup>39</sup> SweGRIDS (2024), [Controllable power components for a flexible power system](#).

<sup>40</sup> Uppsala universitet (2023), [USER – Uppsala Smart Energy Research Group](#).

<sup>41</sup> Högskolan väst (2024), [Anpassning till framtidens kraftsystem för små och medelstora företag](#).

<sup>42</sup> Innovatum science part (n.d.), [Fyrbodals för framtidens flex](#).



## Näringsliv

Inom ramen för näringslivets satsningar på forskning och utveckling (FoU) ägnar sig företagen inte bara åt egen industriell forskning, utan etablerar också betydelsefulla samarbeten med akademiska forskare. Utöver FoU genom egna initiativ bidrar näringslivet även indirekt till forskningen genom deltagande i styr- och referensgrupper, samt genom att erbjuda både finansiellt stöd och expertkunskap till olika forskningsprogram. Genom intervjustudien har det också lyfts att universiteten ofta har en god samverkan med lokala energi- och elnätsbolag, och i viss mån med teknikleverantörer; både genom finansiering samt genom bidragande med data, och mer sällan även genom rena samverkansprojekt. Flera respondenter i syntesrapportens kartläggning lyfter även industridoktorander som ett bra sätt för näringslivet att samverka närmare akademien.

Genom intervjustudien samt den kompletterande skrivbordsstudien har ett antal pågående projekt som bedrivs inom näringslivet identifierats. Det är svårt att ge en heltäckande bild av näringslivets forskning, då många projekt inte är publika. För att ge en inblick i vilka forskningsområden som är av intresse för näringslivet, utan att göra en heltäckande kartläggning, presenteras nedan några exempel på FoU-satsningar.

### Energigemenskaper och likströmsnät

Ett exempel på projekt som berör energigemenskaper och likströmsnät är Tamarinden i Örebro, där målet är att skapa förutsättningar för att området ska kunna reducera, producera, lagra och dela energi i ett lokalt energisystem<sup>43</sup>. Syftet med detta är att bidra till mer lokalt producerad förnybar energi, kapa effekttoppar och avlasta stamnätet, öka flexibiliteten samt spara stora mängder energi. Även i Uppsala Science park finns exempel på hur byggnader med solceller delar el mellan varandra via ett likströmsnät<sup>44</sup>. I Lund pågår också projektet Energisamhället, med visionen att el ska bli en billig resurs som finns i överflöd och därmed kan tillgängliggöras till ett lågt fast pris. Tanken med projektet Energisamhället är att bygga små elnät där man har lokal elproduktion, lagring och delning av energi mellan fastigheter inom och mellan nät. I dagsläget är projektets första prototyper under uppbyggnad i Lund<sup>45</sup>.

### Lokala energisystem och ödrift

På ön Arholma bedriver Vattenfall ett forsknings- och utvecklingsprojekt där ett lokalt småskaligt energisystem skapas genom ett mikronät med smart styrning av lokal elproduktion, via solceller och energilager med batterier, för att kunna lagra energi. Mikronätet fungerar som ett eget lokalt energisystem och tryggar elförsörjningen på ön<sup>46</sup>.

### Energilager

Flera forskningsprojekt med batterilager i elnätet har på senare år initierats av elnätsbolag och energibolag. I Uppsala finns ett exempel på ett forsknings- och innovationsprojekt där ett stort batterilager finns anslutet till elnätet som en lösning på kapacitetsbrist i området. Batteriet hjäl-

<sup>43</sup> Örebro kommun (2024), [Tamarinden](#).

<sup>44</sup> Fastighetsnätverket (2022), [Vasakronan delar el mellan fastigheterna](#).

<sup>45</sup> Warp News (2024), [På väg mod energisamhället – del 1](#).

<sup>46</sup> Vattenfall Eldistribution (n.d.), [Mikronät tryggar elförsörjningen på Arholma](#).

per till att anpassa tillgången till el genom att laddas upp vid låg elanvändning, och laddas ur när behovet är högt<sup>47</sup>.

Under december 2023 tecknade ABB och Gravitricity en överenskommelse för att utveckla energilagringssystem med hjälp av uttjänta gruvschakt och gruvspelsteknik. Genom detta partnerskap undersöker parterna hur ABB:s expertis inom gruvspel kan användas för att påskynda utvecklingen och implementeringen av tyngdkraftsbaserade energilagringssystem i övergivna gruvor. Detta projekt är av betydelse för det svenska distributionsnätet då det erbjuder en innovativ lösning för energilagring som kan förbättra nätets stabilitet och effektivitet. Genom att återanvända nedlagda gruvschakt som energilager, och effektivt utnyttja befintlig infrastruktur, syftar projektet till att möta det ökande behovet av energilagring i Sverige<sup>48</sup>.

### Smart laddning och V2G

Ett flertal projekt pågår kring V2G. Exempel på sådana projekt lyfts i en tidigare syntesrapport framtagen av Power Circle<sup>49</sup>. Även projekt med smart laddning pågår bland olika näringslivsaktörer. Vid Riksgränsen bedrivs projektet FlexConnect, där flexibla anslutningar för snabbbladdning testas. När elnätet i området inte har tillräcklig kapacitet ska tillgänglig effekt för laddningen nedprioriteras för att säkerställa god elkvalitet för elnätscustomer i området<sup>50</sup>. Det finns även ett antal lösningar där laddning kombineras med batterilager. Det gör att en laddstation kan komma på plats snabbare i områden med kapacitetsbrist och möjliggör också att laddningen kan anpassas utefter situationen i nätet<sup>51 52</sup>.

### Scenarier, prognoser och modeller

Utvecklingsprojekt kring prognoser, modeller och planering av elnätskapacitet bedrivs inom flera elnätsbolag. Till exempel har Vattenfall tagit fram en open source-kod där tillgänglig kapacitet i nätet kan beräknas, och Ellevio har arbetat med att utveckla en kapacitetskarta som ska användas internt av nätplanerare och anläggningsägare för att få en överblick och kunna identifiera vilka nätstationer som är i behov av förstärkningar när kommande elbehov ska tillgodoses. Samtidigt har flera näringslivsaktörer bidragit till att ta fram en prototyp på en behovskarta, där en uppskattning av kommande elbehov ska kunna underlätta nätplaneringen<sup>53 54</sup>.

ABB och Fraunhofer IWES samarbetar för att utveckla världens största mobila nätsimulator inom Mobil-Grid-CoP-projektet, understött av det tyska federala ministeriet för ekonomi och klimatåtgärder. Målet är att testa utrustning för förnybar energi med fokus på nätprestanda, stabilitet och efterlevnad av regler. Genom ABB:s Power Electronics Grid Simulator (PEGS) skapas ett artifici-

<sup>47</sup> Vattenfall Eldistribution (n.d.), [Batterilager Uppsala](#).

<sup>48</sup> Nordiska projekt (2023), [ABB och Gravitricity samarbetar om energilagringssystem med uttjänta gruvschakt och gruvspelsteknik](#).

<sup>49</sup> Power Circle (2023), [Forskning och utveckling av V2X i Sverige](#).

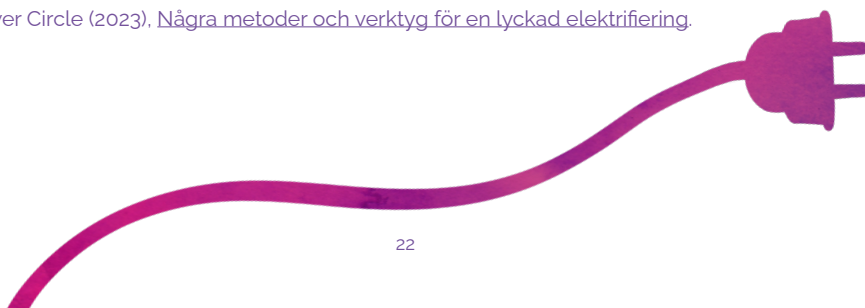
<sup>50</sup> Vattenfall Eldistribution (n.d.), [FlexConnect](#).

<sup>51</sup> Tidningen Energi (2023), [Laddstationen som kan stabilisera elnätet](#).

<sup>52</sup> Elbilen (2023), [Mobil laddstation från Scania i Åre under sportlovet](#).

<sup>53</sup> Energikontor Norr, Power Circle (2023), [Några metoder och verktyg för en lyckad elektrifiering](#).

<sup>54</sup> [behovskartan.se](#).



ellt elnät på plats, vilket möjliggör simulering av olika driftsätt och verifiering av överensstämmelse mot standarder. Simulatorens erbjuder en plattform för att utforska olika metoder för att integrera stora mängder variabla energikällor såsom vind- och solkraft i elnäten. Med omfattande testmöjligheter bidrar den mobila nätsimulatorens till distributionsnäten i deras anpassning till – och hantering av – den ökande mängden förnybar energi i systemet<sup>55</sup>.

### Nya tekniker i elnätet

Ellevio har genomfört ett pilotprojekt med Gomeross kontrollutrustning SIPP Hub för att få snabb och säker tillgång till data från utrustning på transformatorstationer. Projektet ska modernisera och förbättra övervakningen av transformatorstationer, vilket är värdefullt för det svenska distributionsnätet eftersom det möjliggör övergången till prediktivt underhåll och därmed ökad driftsäkerhet och effektivitet. Genom att ansluta sensorer till SIPP Hub kan Ellevio samla in realtidsdata för att förutse underhållsbehov och fatta mer välgrundade beslut. Detta konstaterar parterna som ett viktigt steg mot att öka graden av prediktivt underhåll och modernisering av nätet<sup>56</sup>.

ABB har genom ett partnerskap med SEV på Färöarna implementerat innovativ synkronkompensatorteknik (SC) för att stabilisera elnätet under övergången till förnybar energi. Under mars 2024 annonserade samarbetsparterna att en tredje SC-enhet, på 8 MVA, kommer att driftsättas på ön Boröy för att stabilisera elförsörjningen för cirka 5 000 invånare. Denna enhet kommer att integreras med regionnätet och bidra till att möjliggöra Färöarnas mål om att generera 100 procent grön el från förnybara källor. ABB:s SC-teknik hjälper till att hantera utmaningar med en ökad andel förnybar energi genom att erbjuda systemtjänster som stärker elnätet och håller det stabilt, innefattande masströghet, kortslutningsbidrag och reaktiv kraft för spänningsreglering. Samarbetet möjliggör pålitlig elförsörjning och utveckling av Färöarnas lokala energisystem<sup>57</sup>.

### Flexibilitet i elnäten

Sedan 2019 har flera olika lokala flexibilitetsmarknader testats på olika håll i landet<sup>58</sup>. Idag finns marknadsplatser för handel med flexibilitet i distributionsnät i Stockholm, Uppsala, Skåne, Göteborg och sedan 2024 även i Jämtland. Samtliga av dagens verkamma marknadsplatser bedrivs som FoU-projekt i pilotstadium, där elnätsbolagen som handlar på marknaderna har tagit en aktiv roll. De lokala flexibilitetsmarknader som testats i Sverige har uppkommit ur verkliga utmaningar med nuvarande eller förväntade överföringsbegränsningar<sup>59</sup>. Flera elnätsbolag – bland annat Vattenfall Eldistribution, E.ON Energidistribution, Ellevio, Göteborg Energi nät, Mölndal Energi nät, Jämtkraft Elnät och Svenska kraftnät – är eller har varit involverade i pilotprojekten.

Vid Glava Energy Center pågår ett Energiforskningsfinansierat projekt som ska skapa en tillämpbar metod för att underlätta nätägarnas implementering av flexibilitet i nätutvecklingsplaner<sup>60</sup>.

<sup>55</sup> ABB (2022), [Världens största mobila nätsimulator bidrar till att driva på övergången till förnybar energi](#).

<sup>56</sup> Gomeross (2023), [Ellevio utökar sin beställning efter pilotprojekt med Gomeross SIPP Hub](#).

<sup>57</sup> ABB (2024), [ABB levererar den tredje synkronkompensatorn till Färöarna för en fortsatt omställning till grön energi](#).

<sup>58</sup> Power Circle (2022), [Lokala flexibilitetsmarknader](#).

<sup>59</sup> Energimarknadsinspektionen (2023), [Flexibilitet i distributionsnäten. Förutsättningar för ett effektivt nätutnyttjande](#). (Ei R2023:05)

<sup>60</sup> Glava Energy Center (2024), [Metodik för flexibilitet i elnäten](#).

## 4.3 Finansiärer

Baserat på svaren i intervjustudien finns det i dagsläget ett antal olika aktörer som finansierar forskning relaterad till distributionsnät. För forskningen som bedrivs av kartläggningens tillfrågade respondenter är svenska finansiärer vanligast. Bland de forskare som intervjuats till denna syntesrapport har aktörerna Energimyndigheten, Energiforsk, Vinnova, Svenska kraftnät och Trafikverket (det sistnämnda genom programmet FFI) nämnts som finansiärer. Dessutom förekommer direkt finansiering från industripartners. I ett fåtal fall kommer finansiering också från enskilda stiftelser, samt från Vetenskapsrådet. Nordic Energy Research är en ytterligare organisation som tidigare finansierat forskning med koppling till distributionsnät, och som kan antas kunna göra det igen. Energimyndigheten samt näringslivsaktörer genom Energiforsk är de finansiärer som genom intervjustudien framstått som den vanligaste källan till finansiering av forsknings- och utvecklingsprojekt på området.

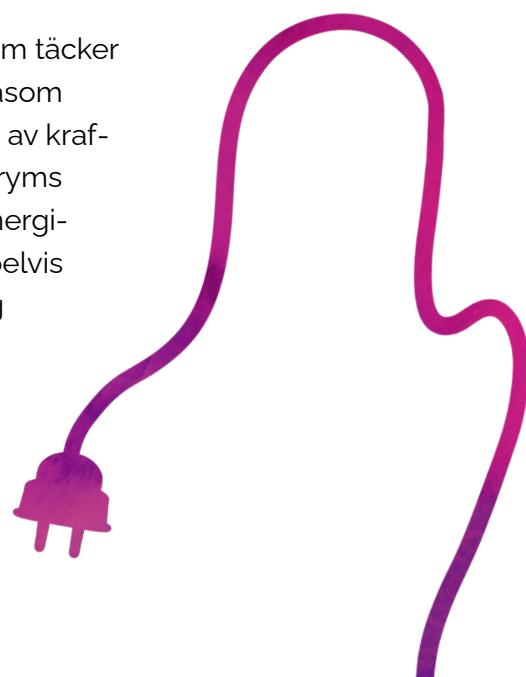
### Energimyndigheten

Forsknings- och innovationsprogrammet Framtidens elsystem är en av Energimyndighetens största satsningar på forskning och utveckling relaterad till elsystemet. Genom programmet finansieras forskningsprojekt som belyser utmaningar och kunskapsluckor kopplade till framtidens elnät.

I dagsläget finansierar programmet ett 50-tal aktiva forskningsprojekt, varav ca 13 av dessa fokuserar på utmaningar och lösningar relaterade till distributionsnät genom att utforska olika områden inom de regionala och lokala elnäten för att förbättra nätens prestanda, pålitlighet och effektivitet. Den rådande forskningen inom dessa projekt täcker ämnen såsom:

- Integration av förnybara och distribuerade energiresurser i befintligt elsystem.
- Effektiva spänningsregleringsstrategier för att hantera dynamiken i det distribuerade elnätet.
- Användning av energilagringssystem för att hantera belastningsvariationer och öka resiliens vid nätstörningar.
- Optimering av elfordonsteknologi för att bidra till nätstabilitet och flexibilitet genom koncept som V2G.
- Utveckling av affärsmodeller och stödtjänster för att främja effektiv användning av elbilar och andra distribuerade energikällor.

De nuvarande projekten inom programmet Framtidens elsystem täcker också in specifika aspekter som påverkar distributionsnäten, såsom energigemenskaper, resiliens, spänningsreglering, användning av kraftelektronik och integration av elfordon. Utöver de ämnen som ryms inom den forskning som bedrivs inom programmet idag har Energimyndigheten även finansierat projekt kring ämnen som exempelvis prognoser och elnätplanering, kapacitetsutmaningen, verktyg för att hantera cyberrisker i elnäten och flexibilitet.



## Vinnova

Vinnova finansierar ett flertal pågående forskningsprojekt med koppling till elnät, genom bland annat forsknings- och innovationsprogrammen FFI och Avancerad Digitalisering, som båda beskrivs i avsnitt 4.4. Exempel på projekt och ämnesområden som omfattas av Vinnovas finansiering är elektrifierade hamnar<sup>61</sup>, V2G<sup>62</sup>, integration av vindkraft i elnätet<sup>63</sup>, flexibilitet och effektopptimering i fastighetssektorn<sup>64</sup>, IoT och smarta nät<sup>65</sup>, integrering av elektrifierade persontransporter<sup>66</sup>, AI-baserade mjukvarulösningar för styrning och koordinering av smarta omvandlare för att säkra spänningsstabilitet<sup>67</sup>, AI för elnätsplanering<sup>68</sup>, cybersäkerhet för energigemenskaper<sup>69</sup>, samt ökat kunskapsutbyte mellan industri och akademi<sup>70</sup>.

## Svenska kraftnät

Forskning och utveckling som utförs och finansieras av Svenska kraftnät är i regel fokuserad på högspänning och transmission, men en del projekt genererar resultat som även kan appliceras på lägre spänningsnivåer. Forskning och utveckling på Svenska kraftnät bedrivs inom de fyra strategiska FoU-områdena Ny teknik, Systemutmaningar, Digitalisering och Kompetensförsörjning. Ett exempel på pågående forskningsprojekt med relevans för hela elnätet är projektet Vindkraft i nätåteruppbyggnad för större tillförlitlighet<sup>71</sup>.

## EU-finansiering

Genom intervjustudien har det framkommit att EU-finansiering i begränsad utsträckning förekommer vid finansiering av svenska forskningsprojekt, däremot saknar denna kartläggning insikt i vilka svenska projekt på området som omfattats av EU-bidrag. Olika exempel på EU-finansierade satsningar, samverkansforum och forskningsprogram beskrivs närmare i avsnitt 7.1.

## 4.4 Särskilda satsningar

Nedan presenteras större satsningar som har identifierats under syntesarbetet. Satsningarna består av både större pilotprojekt och forskningscentrum där kompetens och långsiktiga forskningsmiljöer kan byggas upp. Majoriteten av de identifierade centrumen har en teknisk inriktning, men det finns även tvärvetenskapliga satsningar. Av de satsningar som beskrivs nedan är alla pågående, med undantag för SweGRIDS som avslutades 2022. Efter SweGRIDS avveckling saknas idag ett kompetenscentrum eller en testbädd med huvudfokus på distributionsnätsfrågor, även om de ingår som delmängder av de satsningar som nämns nedan.

---

<sup>61</sup> Vinnova (2024), [Helsingborgs Hållbara Hamn – utveckling av klimatneutral elektrifierad hamnverksamhet](#).

<sup>62</sup> Vinnova (2023), [Implementering av Fordon-till-Nät-tjänster i Sverige](#).

<sup>63</sup> Vinnova (2024), [El2442. EARS4Wind Energy. Aq System Stockholm AB](#).

<sup>64</sup> Vinnova (2024), [OdenLife – Strukturerade energirenovationer och effektåtgärder för allmännyttan](#).

<sup>65</sup> Vinnova (2023), [EUREKA CELTIC CISSAN Collective intelligence supported by security aware nodes \(Sweden\)](#).

<sup>66</sup> Vinnova (2023), [Elektrifierade persontransporter – en del av den smarta staden](#).

<sup>67</sup> Vinnova (2023), [Smarta omvandlare för klimatneutralt samhälle: Artificiell intelligensbaserad kontroll och samordning](#).

<sup>68</sup> Vinnova (2023), [AI mjukvara för planering och rapportering av elnätsutbyggnad](#).

<sup>69</sup> Vinnova (2023), [Cybersäkerhet för framtidens resilienta energigemenskaper](#).

<sup>70</sup> Vinnova (2024), [Kunskapsutbyte för den pågående energiomställningen](#).

<sup>71</sup> Svenska kraftnät (2023), [Vindkraft i nätåteruppbyggnad för större tillförlitlighet](#).

### Svenskt centrum för el-energilagring och balansering

Svenskt centrum för el-energilagring och balansering (SESBC)<sup>72</sup> är ett av Energimyndighetens kompetenscentrum och koordineras från Chalmers. Centret består av drygt 30 partners från akademi och näringsliv, och har stöd från Svenska kraftnät, Energimyndigheten och Västra Götalandsregionen. SESBC har varit verksamt i drygt ett år, och ämnar bli ett nav för kompetensutveckling inom systemflexibilitet med intressenter som täcker hela flexibilitetskedjan; från el-produktionsresurser och lagring till slutanvändning – vilket avser säkra nödvändig tvärvetenskaplig kompetens. Forskning kommer att genomföras med fokus på tre forsknings- och innovationsområden: System, Material och enheter för energilagring samt Intelligent energihantering. Hur mycket av forskningen som kommer att ha direkt relevans för distributionsnäten är i nuläget svårt att bedöma.

### RESILIENT

RESILIENT<sup>73</sup> är ett kompetenscentrum som finansieras av Energimyndigheten och koordineras av Mälardalens universitet. Ytterligare fyra forskningsorganisationer – Uppsala universitet, Högskolan i Gävle, Umeå universitet och RISE Research Institutes of Sweden – samt drygt 30 företag och offentliga aktörer ingår i centret<sup>74</sup>. Syftet med RESILIENT är att tillhandahålla ny forskningsbaserad kunskap, verktyg och praxis som antar ett systemperspektiv för säker och optimal energiförsörjning i hållbara, fossilfria energisystem med låg klimatpåverkan, och i enlighet med målen för hållbar utveckling i Agenda 2030. Fokus i detta projekt ligger på interaktion mellan de olika systemelementen, inklusive integration av ny teknik och nya processer samt de organisationer och människor som ingår i systemet.

### Avancerad Digitalisering

Avancerad Digitalisering<sup>75</sup> är ett forsknings och innovationsprogram där Vinnova tillsammans med industrin medfinansierar projekt som fokuserar på högteknologiska framsteg inom exempelvis områdena Säkra digitala plattformar, cybersäkerhet, AI end-to-end, edge, cloud, 5G-/6G-nät, autonoma system, datadriven utveckling, modell- och simuleringsdriven utveckling samt mjukvaruutveckling. Inom Avancerad Digitalisering finns flera projekt av relevans för distributionsnäten; bland annat med fokus på AI-utveckling av mjukvara för elnätsplanering, cybersäkerhet för energigemenskaper, och digitala tvillingar för elnät. Från och med år 2024 har även ett särskilt programråd med fokus på industris elektrifiering bildats. En tydlig avgränsning inom programmet är dock att projekten förväntas ha direkt industrirelevans; därmed utelämnas projekt som enbart handlar om distribution eller produktion, samt ren akademisk forskning.

<sup>72</sup> Swedish Electricity Storage and Balancing Centre (2024). [Svenskt centrum för el-energilagring och balansering](#).

<sup>73</sup> Mälardalens universitet (n.d.). [RESILIENT – Kompetenscentret för resilienta energisystem](#).

<sup>74</sup> Energimyndigheten (2023). [Kompetenscentrum](#).

<sup>75</sup> Avancerad Digitalisering (n.d.). [avanceraddigitalisering.se](#).



## FFI

FFI<sup>76</sup>, Fordonsstrategisk Forskning och Innovation, är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings-, innovations- och utvecklingsaktiviteter. Ingående parter i programmet som representerar staten är Vinnova, Trafikverket och Energimyndigheten. Fordonsindustrin är representerad av AB Volvo, Fordonskomponentgruppen (FKG), Scania CV AB, Volvo Car Group, och Mobility Sweden. Inom FFI finansieras ett antal projekt med koppling till elnätet, varav flera satsningar tas upp i den tidigare syntesrapporten Forskning och utveckling av V2X i Sverige<sup>77</sup>.

## STandUP for Energy

STandUP for Energy<sup>78</sup> startade som ett regeringsfinansierat strategiskt forskningsområde (SFO) och är ett samarbete mellan Uppsala University, KTH, SLU och Luleå tekniska universitet. Inom ramen för initiativet finns fyra forskningsområden, där anslutning till elnätet är ett. StandUP for Energy söker lösningar på utmaningarna för framtidens elnät, och avser bland annat besvara frågor kring integration av förnybar energi i elnätet, flexibla överföringsnät och smart automation och skydd av elnätet.

## Resistans och effekt

Resistans och effekt – om smarta elnät för de många människorna<sup>79</sup> är ett tvärvetenskapligt forskningsprogram med samverkan mellan forskare vid Linköpings universitet, Lunds universitet, Uppsala universitet, Kungliga tekniska högskolan och Chalmers tekniska högskola. Forskningsprogrammet finansieras av Familjen Kamprads stiftelse och pågår under fem års tid med start 2018, och Linköpings universitet är projektägare. Forskargruppen som utgör programmet ska utveckla kunskap med målet att öka medvetenhet om – och därmed bana väg för – smarta elnät hos olika samhällsaktörer, samt öka samhällsnyttan genom att inkludera flera perspektiv i den fortsatta växande förståelsen av smarta elnät. Programmet lägger stort fokus på hushållens och människornas roll i smarta elnät, men har även temaområden som studerar historisk utveckling av smarta elnät och nya aktörer i landskapet.

## Svenskt Vindkraftscentrum, SWC

Forskningscentret Swedish Wind Centre, SWC<sup>80</sup>, samlar och tar fram forskningsbaserad kunskap om vindkraft. Bakom SWC står ett 20-tal organisationer, där universitet, forskningsinstitut, forskningsföretag, energiföretag och offentlig sektor är representerade. Medlemmarna finansierar SWC genom medlemsavgifter och egen tid, och bidrar till beslut om vilken typ av forskning SWC ska stödja och sprida. Centret är relativt nytt, men SWC har lång erfarenhet från två tidigare center, StandUp for Wind och SWPTC, som bägge hade mer än tio års verksamhet inom området. Forskningen är till största del fokuserad på vindkraft, men integration i elsystemet är ett

---

<sup>76</sup> FFI (2024), [ffisweden.se](https://ffisweden.se).

<sup>77</sup> Power Circle (2023), [Forskning och utveckling av V2X i Sverige](#).

<sup>78</sup> STandUP for Energy (2024), [About us and our organisation](#).

<sup>79</sup> SMART grids – for the many people (n.d.), [Resistans och effekt – om smarta elnät för de många människorna](#).

<sup>80</sup> Swedish Wind Centre, SWC (n.d.), [Om SWC](#).

område som är av betydelse för distributionsnäten. Forskning inom centret studerar bland annat vindkraft i mikronät, integration i elnätet och stödtjänster från elnät.

### Swedish Electromobility Centre

Swedish Electromobility Centre<sup>81</sup> är ett nationellt forskningscentrum för e-mobilitet som samlar kompetensen i Sverige och skapar en plattform där akademi, industri och samhälle samverkar. Målet är att utveckla och optimera nuvarande och kommande e-mobilitetslösningar ur både miljö- och energisynpunkt. Inom SEC undersöks alla typer av elfordon, såsom personbilar och tunga lastbilar, men även farkoster för luft- och sjöfart. Centret finansieras av Energimyndigheten tillsammans med fordonsindustrin och akademien, och fokuserar på fem olika temaområden: Systemstudier och metoder; elektriska maskiner, drivsystem och laddning; energilagring (inklusive bränsleceller); elektromobilitet i samhället; samt samverkan mellan fordon och elnätet.

### Dansmästaren

Dansmästaren<sup>82</sup> är en multifunktionell byggnad som representerar nytänkande på flera sätt – framförallt på det energitekniska området. I nära samarbete mellan Uppsala parkering, STUNS Energi och Uppsala universitet fungerar Dansmästaren som en test-och forskningsstation för praktisk tillämpning av smart energiteknik. På taket finns en stor solcellspark, och med hjälp av en avancerad batterianläggning kan den egenproducerade energin användas för att avlasta stamnätet när många bilar laddas samtidigt. Dansmästaren förväntas utgöra en del av lösningen på kapacitetsbristen i Uppsala. Den tekniska flexibilitetspotentialen i fastigheten omfattar en solcellsanläggning, ett batterilager och hundra stationer för elbilsladdning med V2G-teknik. Inom projektet finns även en forskningstvilling i en av Akademiska hus fastigheter vid Ångströmlaboratoriet i Uppsala. Projektet startade 2018, och är idag en levande testbädd för forskning och utveckling på smarta elnät. Dansmästaren finansieras av Energimyndigheten och Vinnova.

### SweGRIDS - Swedish Centre for Smart Grids and Energy Storage.

SweGRIDS<sup>83</sup> var under perioden 2011–2022 ett svenskt centrum för forskning inom framtidens elnät och energilagring, finansierat av Energimyndigheten tillsammans med industri och akademi. Syftet med centret var att bedriva forskning inom flexibla kraftsystem, digitalisering av kraftsystemet, styrbara kraftkomponenter och ny materialteknik för elnät och energilagring. Forskningen bedrevs antingen via postdoktorala projekt eller via doktorandprojekt vid KTH eller Uppsala universitet. Centret var ett samarbete mellan akademi, industri och myndigheter, där respektive aktör stod för en tredjedel av finansieringen. Inom SweGRIDS fanns det exempelvis två projekt inom IT-säkerhet som studerade penetrationer och säkerhetstestning, det vill säga hur svårt det är att ta sig in i och manipulera eller förstöra systemkomponenter.

---

<sup>81</sup> Swedish Electromobility Centre (n.d.), [emobilitycentre.se](http://emobilitycentre.se).

<sup>82</sup> STUNS Energi (n.d.), [Dansmästaren](http://Dansmaestaren.se).

<sup>83</sup> KTH (2024), [Swedish Centre for Smart Grids and Energy Storage](http://SweGRIDS.se).



# 5 Tillämpning av forskningen

De främsta behovsägarna för forskningen inom området anges av kartläggningens respondenter vara elnätsbolag – men även teknikleverantörer, myndigheter och standardiseringsorgan förekommer som avnämare av forskningen. Forskare inom akademi drivs av akademisk nytta och att forska på det som ligger en bit fram i tiden. Organisationer som RISE och Energiforsk beskrivs driva mer industrinära forskning, och drivs av att skapa samhällsnytta. Organisationer som Energiforsk, branschorganisationer och Power Circle kan enligt respondenterna till denna studie också spela en viktig roll i att skapa en brygga för kompetensbyggnad, kunskap och innovation mellan akademi och behovsägare/näringsliv. Inkubatorer såsom Chalmers Ventures, InnoEnergy och KTH Innovations kan bidra till att forskning kommer ut i näringslivet genom nya start-ups. Ett exempel på sådan start-up är Endre Tech, som förutser elbehovet i framtiden hjälp av smarta algoritmer, AI och innovativ användning av tredjepartsdata med elnätsbolag som målgrupp<sup>84</sup>.

En utmaning som nämns av deltagarna i denna studie, och som även uppmärksammats i tidigare studier<sup>85</sup>, är att ta innovationer från pilotprojekt och demonstrationer till den ordinarie verksamheten. Flera stora flaggskeppsprojekt inom exempelvis smarta elnät och flexibilitetsmarknader, som elnätsbolagen varit involverade i historiskt, har avvecklats när projekttiden tagit slut, och det är oklart vilka lärdomar och vilka tekniker som elnätsbolagen tagit med sig in i sin ordinarie verksamhet. Exempel på projekt där lärdomar tagits vidare är E.ON:s projekt Lokalt Energisystem i Simris, där resultaten nu används i ett miljonprogramsområde i Malmö<sup>86</sup>, samt Flexibilitetsmarknaden CoordiNet i Uppsala, som nu fortsatt som Uppsala flexibilitetsmarknad.

Mycket inom forskningen om exempelvis elkvalitet och integration av kraftelektronik i elnätet är inte fokuserad på att utveckla produkter i första hand. Nyttiggörandet sker därför primärt genom undervisning, genom doktorander som kommer ut i industrin samt genom att kunskap byggs och sprids till elnätsägare, myndigheter och standardiseringsorgan.

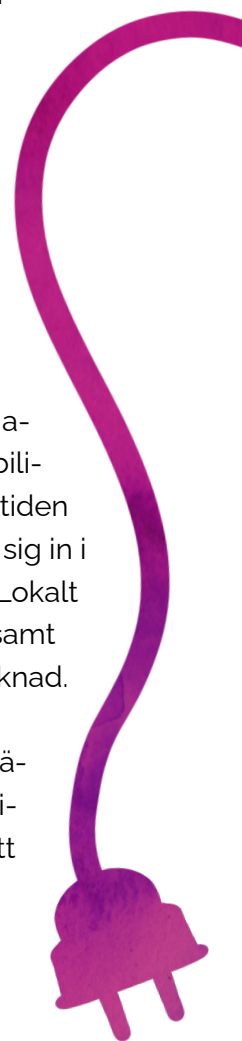
## Samverkan mellan behovsägare och akademi

Samverkan mellan behovsägare och akademi inom området upplevs fungera delvis tillfredsställande, där behovsägare som elnätsbolag har god kontakt med varandra och även med forskarna inom området. Branschen upplevs ganska väl uppkopplad med den forskning som pågår; det sker ofta samarbeten mellan elnätsbolag och akademi, med frågor definierade

<sup>84</sup> Chalmers Ventures (2023), [Endre Tech förutser framtidens elbehov](#).

<sup>85</sup> Power Circle (2018), [Lokal energilagring eller traditionella nätförstärkningar? Slutrapport till Energimyndigheten](#).

<sup>86</sup> Energi & Miljö (2023), [Projektet Simris testas i Malmös miljonprogram](#).



tillsammans med forskningsväsendet. Inom vissa områden beskrivs dock en klyfta mellan bransch och forskning; exempelvis gällande växelriktare och annan kraftelektronik, där man som elnätsägare kanske ofta köper in en färdig lösning snarare än att vara med och beställa vad som behöver utvecklas för morgondagens behov.

En utmaning är att forskning tar tid, och när den blir för behovscentrerad är det svårt att vara förutseende. Om en utlysning kommer först efter att elnätsbolagen redan ser problem med exempelvis integration av solceller kan det ta fem-sex år innan forskningen har lösningarna; särskilt gäller detta doktorandprojekt och andra långa satsningar. Respondenterna till kartläggningen upplever att utlysningar ofta träffar rätt kring enskilda tekniker (som exempelvis elbilsladdning, solceller och batterier), men att det även skulle behövas mer finansiering till så kallad "blue sky"-forskning/nyfikenhetsbaserad forskning för att kunna hitta och utvärdera nya fenomen och utmaningar som kan komma i framtiden, men där behoven ännu inte har uppstått hos nätägarna.

### Samverkan mellan behovsägare och reglerande myndighet

Som monopolföretag styrs elnätsbolagens verksamheter till stor del av elnätsregleringen och Energimarknadsinspektionen (Ei) som ansvarig tillsynsmyndighet. Många respondenter upplever dock att det är svårt att engagera Ei i referensgrupper och liknande, vilket är en utmaning både för att sprida och implementera befintlig forskning och innovation, men även för att säkerställa relevans och inriktning för nya projekt.

En utmaning för att säkerställa implementering av forskning och nya innovationer i distributionsnätet, som nämnts av flera intervjupersoner, är hur regleringsmodellen är utformad och hur forskningsfinansieringen är upplagd. I nuläget täcker inte företagets intäktsramar kostnader för forskning och utveckling, utan Ei hänvisar till Energimyndigheten för möjligheten att söka bidrag i konkurrensutsatta utlysningar. Detta är en utmaning för många elnätsbolag, eftersom det kräver resurser, kompetens och tid som inte finns. Avsaknaden av forskningsfinansiering i regleringsmodellen ger inte heller någon tydlig signal till elnätsbolagen att satsa på innovation och att anamma ny teknik.

Elnätsbolagen saknar även möjligheter att få finansiering för forskning och utveckling genom intäktsramen, och kan ha svårt att söka pengar i öppna utlysningar på grund av kompetensbrist, resursbrist samt de långa ledtider som forskningsutlysningar och projekt ofta innebär. En lösning på detta kan vara att etablera kompetenscentra eller liknande där fler akademiska institutioner och flera behovsägare kan ingå.



# 6 Identifierade behovsområden för framtida forskning

I en tid av snabba förändringar av energisystemet, där traditionella gränser mellan olika branscher och sektorer allt mer suddas ut och integreras, är behovet av forskning och innovation avgörande. Denna rapport utforskar de centrala behovsområden som identifierats för framtida forskning; var och ett avgörande för att forma ett pålitligt, kostnadseffektivt och hållbart elsystem. Dessa behovsområden täcker allt från detaljerade teknikfrågor till frågor inriktade mer mot beteendevetenskap och ledarskap i energiomställningen, och reflekterar de komplexa och sammanlänkade utmaningar som energisystemet står inför idag. Totalt har sex större behovsområden identifierats:

- Digitalisering och dataanalys
- Testning och integration av framtidens teknik
- Ledarskap och styrning i energiomställningen
- Resiliens och kostnadseffektivitet
- Framtida riskmodeller och beslutsstöd
- Kraftelektronik och elkvalitet.

## 6.1 Digitalisering och dataanalys

Digitaliseringens framfart och den ständigt växande mängden insamlade data inom energisektorn skapar nya möjligheter till optimering och innovation. Trots detta är branschens förmåga att nyttja denna data för beslutsstöd ännu inte i paritet med potentialen. En nyckelfaktor för att arbeta mer proaktivt med digitalisering bedöms vara bättre delning av information och data, men även lagring och analys av data. Bättre in-data skulle även medföra bättre underlag till de modeller som används för scenarioframtagning hos elnätsbolagen.

Framtidens forskning behöver fokusera på utveckling av avancerade analytiska verktyg och algoritmer för att bearbeta, lagra och omvandla stora datamängder till konkreta och användaranpassade insikter som möjliggör stöd vid beslutsfattande. Detta kommer att kräva en kombination av tvärvetenskaplig expertis, från IT-säkerhet till energisystemanalys, för att säkerställa att insamlade data leder till förbättrad driftseffektivitet, större kundnöjdhet och stärkt nätresiliens. Styrning och optimering för ökad nyttjandegrad av näten kan i sin tur leda till frågeställningar kring hur näten påverkas av slitage och förluster.



Elnätens digitaliseringsgrad behöver också öka, framförallt i lågspänningsnäten som idag har begränsade möjligheter för övervakning och styrning. För att realisera datoriseringen och digitaliseringen av elnäten finns flera pådrivande regelverk och standarder; bland annat de nya funktionskraven för elmätare, NIS-direktiven och ett antal standarder för kommunikation och informationsöverföring. Transparens, öppen och delad tillgång till data, samt cybersäkerhet är andra viktiga faktorer som driver digitaliseringen och här finns ett behov av vissa forskningsinsatser, men även av bättre samverkan, kunskapsspridning och plattformar för testning och utvärdering – exempelvis i form av en nationell testbädd för elnätskomponenter, ett kompetenscentrum eller en kraftsamling kring elnätens digitalisering.

Samtidigt har elnätsbolagen redan idag tillgång till mycket data via sina kunder och den breda uttrullningen av smarta mätare som gjorts i Sverige. Forskning och utveckling som fokuserar på hur kunddata kan användas för att bygga modeller och förbättra planering och drift av elnäten är därför av intresse framåt.

## 6.2 Testning och integration av framtidens teknik

Utmaningarna med att integrera nya teknologier kopplade till exempelvis likström, digitala verktyg, mikronät och V2G i det befintliga energisystemet är av stor vikt för att skapa ett flexibelt och framtidssäkert nät. Forskning inom detta område måste rikta in sig på systemtestning och verifiering av teknologiska lösningar för att säkerställa deras driftskompatibilitet och effektivitet. Flera respondenter till denna kartläggning lyfter behovet av att utvärdera och testa teknik, marknader, affärsmodeller och tariffer genom testbäddar och demonstrationsprojekt som kan simulera verkliga förhållanden och utvärdera potentialen för dessa tekniker. En sådan satsning behöver vara tvärvetenskaplig och inkludera allt från mjukvaruutvecklare till energiingenjörer och policyexperter, för att täcka alla aspekter av implementeringen och för att kunna hantera oväntade konsekvenser av integrationen. Flera respondenter ser detta som en kritisk del i att lösa de utmaningar som man ser komma, medan vissa anser att det inte finns ett behov eftersom det går att testa i befintliga nät. Detta kan dock kräva att elnätsbolagen får bättre möjligheter till riskavlyft eller andra incitament att pröva nya tekniker, då risken för oväntade fel och störningar i befintliga nät kan vara ett hinder för implementering och testning av ny teknik.

## 6.3 Ledarskap och styrning i energiomställningen

Ledarskapet i energisektorns omvandling spelar en avgörande roll för att navigera och styra den komplexa övergången till ett mer hållbart energisystem. Framtida forskning bör utforska vilka ledarskapsmodeller som bäst främjar innovation och kundcentrering inom nätföretagen. Detta innebär att analysera hur reglerande myndigheter, t.ex. Ei med dess intäktsreglering, påverkar nätföretagens motivation och förmåga att leda förändringen. En insikt från intervjustudiens respondenter är exempelvis att Ei idag har ett begränsat intresse för att delta i forskningsprojekt och/eller referensgrupper, trots att regleringen är helt avgörande för elnätsbolagens möjligheter att implementera ny teknik och nya affärsmodeller. Forskningen måste även identifiera hur ledarskap kan omformas för att omfatta nya affärsmodeller och teknologiska framsteg, samtidigt som den balanserar risker och möjligheter associerade med investeringar i energisystemet.



## 6.4 Resiliens och kostnadseffektivitet

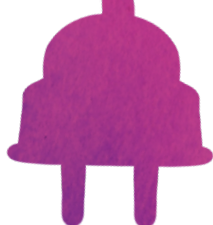
För att energisystemet ska vara robust mot störningar och samtidigt ekonomiskt hållbart krävs en balans mellan resiliens och kostnadseffektivitet. Forskning inom detta område bör fokusera på att utvärdera och utveckla nya metoder för att uppnå hög systemresiliens utan att orsaka oproportionerliga kostnader. En sådan utmaning skulle exempelvis kunna inkludera att undersöka alternativ till det traditionella n-1 säkerhetskriteriet, som är dyrt att upprätthålla. Genom att integrera avancerade prognosverktyg, riskbaserade beslutsmodeller, flexibla nätresurser och smart nätteknologi kan nya strategier för resiliens utvecklas – samtidigt som ekonomisk effektivitet främjas. Detta kräver en multidisciplinär ansats som sammanför experter inom energisystem, ekonomi och riskhantering.

## 6.5 Framtida riskmodeller och beslutsstöd

I takt med att energisystemet genomgår en omfattande transformation står det inför nya risker. Framtidens forskning bör inriktas på utvecklingen av riskmodeller som inte bara adresserar de nuvarande utmaningarna utan även kan anpassas till framtida osäkerheter. Dessa modeller bör kunna appliceras på olika nivåer inom energisystemet och integrera tvärvetenskaplig kunskap för att förutse och begränsa potentiella risker kopplade till teknologisk innovation, klimatförändringar och cybersäkerhetshot. Även frågeställningar kring resiliens och skydd kopplade till den fysiska infrastrukturen lyfts som viktiga.

## 6.6 Kraftelektronik och elkvalitet

Krafterlektronikens roll i framtidens energisystem är betydande, inte minst för dess potential att förbättra elkvalitet genom reglering och omvandling. Emellertid kan krafterlektroniska komponenter även skapa utmaningar med elkvalitetsproblem, exempelvis störningar och transienter som kan fortplanta sig i distributionsnätet och påverka andra användare och annan utrustning. Forskning inom detta område bör därför syfta till att förstå och minska sådana problem, genom att utveckla och förstå effekten av nya tekniker och regleringsstrategier. Särskilt viktigt blir detta i takt med att mikronät och likströmskomponenter blir allt vanligare, vilket medför ett behov av nya standarder och regelverk anpassade för dessa system. En fördjupning i effekten av jordningssystem och deras påverkan på både säkerhet och elkvalitet är också av stor vikt. Resultaten från intervjustudien indikerar att forskning och undervisning inom området kraftigt minskat, och att kompetensen riskerar att försvinna. Med en minskande mängd forskning och undervisning inom området i Sverige ökar risken för att kompetensen försvinner.



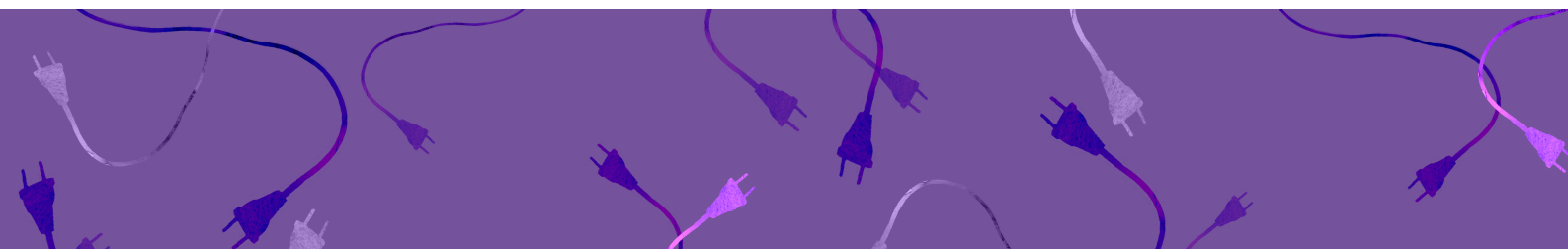
## 6.7 Övriga identifierade behov

Utöver de sammanställda behovsområdena har det även uttryckts ett behov av nyfikenhetsbaserad forskning/blue sky-forskning. Med dagens system av relativt smala, behovsstyrda utlysningar kring specifika tekniker och användningsområden av tekniker är det en utmaning för vissa forskargrupper att behålla kontinuitet och kompetens, samtidigt som forskningen får svårt att fånga utmaningar som ligger längre fram i tiden och som kanske inte förutsetts ännu.

Ett annat generellt behov som nämns av flera deltagare i intervjustudien är ett stort behov av insatser för kompetenshöjning, kunskapsdelning och spridning av resultat utanför den akademiska sfären, vilket ofta blir lågt prioriterat i befintliga projekt. Detta gäller även incitament att dra lärdomar av internationell forskning och exempel, då elnätsbranschen ofta är väldigt Sverigefokuserad. Då elnätsbolagen idag saknar resurser och incitament att själva bedriva forskning och utveckling, men även att implementera ny teknik och nya innovationer, är ökad kunskaps- och spridning av den forskning som tas fram av yttersta vikt.

Från intervjustudien framkommer också ett behov av mer tvärvetenskaplig forskning, och forskning som tittar på elnäten som en del av samhällsplanering och utveckling. En iakttagelse som gjorts under studiens gång är att många respondenter nämner utmaningar kring reglering, affärsmodeller, ledarskap och implementering även om frågeställningarna huvudsakligen kretsar kring teknisk utveckling. En annan utmaning som uppmärksammas är att elnätsbolagen ibland har svårt att delta i eller finansiera forskning på grund av intäktsregleringens utformning, samt att deras förutsättningar varierar kraftigt beroende på ägarform och storlek, men även med personliga egenskaper hos företrädare.

En ytterligare insikt från studien är att det saknas samordning av den forskning som bedrivs, vilket gör att det är svårt att få helhetsgrepp om forskningen. Flera aktörer, både från akademi och näringsliv, som anser att de bedriver elnätsforskning, visar sig vid närmare granskning snarare bedriva forskning fokuserad på produktion och/eller användarsidan, men där aktörerna anser att resultaten bör kunna komma elnäten till godo, vilket gör att gränserna suddas ut ytterligare. Det tycks också finnas en viss konflikt mellan långsiktighet och kortsiktighet i forskningsfinansieringen. Elnätsbolag upplevs ha svårt att delta i och dra nytta av projekt med för lång tidshorisont, och som saknar en tydlig direkt nytta. Samtidigt har vissa respondenter uttryckt att det bedrivs en del forskning inom akademien på frågor som redan hunnit lösas inom industrin och nätföretagen redan innan de akademiska resultaten har hunnit publiceras. Det finns därtill ett stort behov att utbilda doktorander och forskare, och det är en utmaning att behålla kompetens i forskargrupper om forskningsprojekt blir allt för smala och kortsiktiga. Ett önskemål som lyfts från flera respondenter som lösning på flera av dessa övergripande behov är att inrätta ett eller flera kompetenscentrum kring elnätsrelaterad forskning och utveckling. Ett sådant kompetenscentrum skulle både kunna bidra med samordning, kunskaps- och spridning och mer långsiktiga finansieringslösningar – och bli en plattform för utbyte mellan akademi och industri.



# 7 Internationell utblick

Detta kapitel presenterar en översiktlig internationell utblick av pågående forskning, framgångar och utmaningar relaterade till framtidens distributionsnät. Genom att granska och jämföra internationella samarbeten och olika länders satsningar på området, syftar detta avsnitt till att ge en överblick av det globala forskningsläget.

En central observation som framkommer är att inget enskilt land utmärker sig på samtliga aspekter av eldistribution. Utmaningen med att generalisera läget på internationell nivå förstärks av den breda variationen i strukturer och utformning av distributionsnät. Exempelvis, baserat på referenser från genomförda intervjuer, framkommer det att faktorer såsom användningen av smarta mätare, ägarskap av data, geografiska förutsättningar, samt tillhörande regelverk och lagar, är av stor variation och formar högst landspecifika distributionsnät. Det tycks samtidigt finnas stora drivkrafter vad gäller reglering, modernisering och mätning av elnäten i hela Europa. Generellt kan det konstateras att elnätsbolag tycks mindre intresserade av att ta till sig internationell forskning och exempel än andra branscher, då de ofta refererar till att både elnätens uppbyggnad samt reglering och marknad skiljer sig stort mellan länder. Samtidigt anser flera respondenter att det borde vara möjligt att dra lärdomar och hämta inspiration från internationella exempel, men utifrån detta perspektiv har den internationella utblicken fokuserat på länder som ligger nära Sverige geografiskt.

En insikt från den internationella överblicken är att Sverige har kommit långt med digitalisering och mätning i vissa delar av näten, främst genom en långtgående implementering av smarta mätare. Dock skulle mer kunna göras för att nyttiggöra informationen från smarta mätare, då många elnätsbolag idag endast använder datan för att fakturera kunder.

Inom andra områden har ett antal länder av intervjustudiens respondenter beskrivits ha en ledarposition jämfört med Sverige. Nederländerna erkänns för sitt arbete med flexibilitet och för sitt sätt att hantera informationsutbyte mellan DSO och TSO. Storbritannien har också blivit identifierat som ett land där krav på transparens har möjliggjort för en ökad mängd data- och informationsdelning. Australien anses vara avancerat i integreringen av mer variabel och decentraliserad produktion, såsom solenergi, i sina lågspänningsnät. Inom området jordning framhävs Norge, Australien och Brasilien som länder med ledande positioner.

Det finns begränsat med exempel på pågående samarbeten med svenska aktörer inom forskning och utveckling, både inom akademi och bransch. Ett exempel på ett större internationellt

projekt där svenska aktörer deltog var det tidigare EU-projektet United Grid, som var ett Horizon 2020-projekt som pågick mellan åren 2017–2021, med partners i Nederländerna, Frankrike och Sverige<sup>87</sup>. Ett exempel på ett pågående projekt är att Chalmers deltar i ett internationellt samarbetsprojekt kring kraftelektronisk styrning av vindkraft för ökad integration i elsystemet<sup>88</sup>. Inom industrin kan nämnas att Vattenfall Eldistribution deltar i det internationella samarbetet Linux Foundation Energy<sup>89</sup>, samt att flera svenska aktörer deltar i projektet CISSAN som ska utveckla säkrare nätverk för energisektorn.

Inom Norden har Sverige deltagit i flera samarbetsprojekt av systemstudiekaraktär, där elnätens utveckling ingått som en del i en större helhet. Bland dessa noteras NEPP, som har pågått sedan 2011 i olika etapper<sup>90</sup>, samt Nordisk Energiforskning, där satsningar kring bland annat transmission och energisystem utförts. Gemensamt för dessa studier är att få projekt direkt relaterade till distribution förekommer.

## 7.1 Internationella samarbeten och organisationer

I detta avsnitt görs en mindre internationell utblick där större organisationer, satsningar och samarbeten på forskningsområdet distributionsnät beskrivs.

### Europeiska kommissionen

EU-kommissionen arbetar mot EU:s gemensamma mål, bland annat genom att presentera olika strategier och färdplaner som ska främja den inre marknaden för energi och se till att vi har en trygg och hållbar energiförsörjning till rimligare kostnad<sup>91</sup>. Kommissionen identifierar flera tekniska utmaningar inom distributionsnäten både inom EU och globalt, inklusive i USA och Kina<sup>92</sup>. Inom EU konstateras det att distributionssystemen behöver moderniseras för att hantera den ökande mängden variabel energi från decentraliserade källor samt nya flexibla laster såsom värmepumpar och laddningsstationer för elfordon. Utmaningarna inkluderar behovet av att skapa smarta nätverk som är digitala, övervakas i realtid, är fjärrstyrda och säkra mot cyberattacker. Cirka 40 procent av Europas distributionsnät är över 40 år gamla och behöver moderniseras, och en investering på cirka 375–425 miljarder euro behövs fram till 2030.

För att möta dessa utmaningar antog EU-kommissionen en Grid Action Plan 2023, vilken syftar till att öka investeringarna i elnäten och modernisera dem för att möjliggöra övergången till förnybar energi. Åtgärder som föreslås inkluderar att öka synligheten för finansieringsmöjligheter genom EU-fondprogram för smarta elnät och modernisering av distributionsnät, samt att öka

---

<sup>87</sup> Chalmers (2021), [Integrated cyber-physical solutions for intelligent distribution grid with high penetration of renewables \(UNITED-GRID\)](#).

<sup>88</sup> Vetenskapsrådet (n.d.), [WIND-DIGIPOWER – Innovativ kraftelektronisk styrning för storskalig integration av vindkraft i framtidens digitala elsystem](#).

<sup>89</sup> LF Energy (2023), [Open Source Development, Collaboration to Help Grids Maximize Capacity](#).

<sup>90</sup> Energiforsk (n.d.), [Nordeuropeiska energiperspektiv, Nepp](#).

<sup>91</sup> Europeiska kommissionen (n.d.), [Energi. Vad gör kommissionen?](#)

<sup>92</sup> European Commission (2023), [Communication from the commission to the European Parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions](#).

samarbetet mellan medlemsländerna för att säkerställa tillräckliga investeringar. Kommissionen kommer också att erbjuda tekniskt stöd för att hjälpa företag att förbereda sina finansieringsansökningar och samarbeta med EU:s DSO-enhet för att öka medvetenheten om åtgärderna bland sina medlemmar. En ytterligare utmaning som kommissionen belyser är bristen på teknisk kompetens och fördröjningarna i expansionen av elnäten som följer.

Internationellt sett ser kommissionen att USA och Kina står inför liknande behov av att uppgradera sina elnät för att bemöta ett ökat energibehov. USA förutser en ökning av elöverföringssystemen med 60 procent fram till 2030, medan Kinas State Grid Corporation planerar att investera motsvarande 132 miljarder euro i elnätet mellan 2022 och 2023.

### Horizon EU

Horizon Europe är EU:s främsta finansieringsprogram för forskning och innovation. Programmet bidrar till att uppnå FN:s hållbara utvecklingsmål och stärker EU:s konkurrenskraft och tillväxt genom att främja samarbete och spridning av kunskap och teknologi. Europeiska kommissionen har tilldelat 172 miljoner euro för att stödja 13 forsknings- och innovationsprojekt inom ramen för Horizon Europe Cluster 5 (Klimat, Energi och Mobilitet). Dessa projekt, utvalda efter utlysningar under mars och april 2023, kommer att fokusera på att stödja målen för REPowerEU-planen, som strävar efter att göra Europa oberoende av importen av ryska fossila bränslen innan slutet av detta decennium<sup>93</sup>.

Bland de utvalda projekten finns Renewable Energy Valleys, som syftar till att öka energisäkerheten och påskynda övergången till förnybara och distribuerade energisystem i Europa. Dessa projekt kommer att utforska och demonstrera decentraliserade förnybara energisystem i Grekland och Nederländerna. Genom att optimera den lokala energiförsörjningen och anpassa den efter lokala behov är målet med dessa projekt att bidra till lägre och mer stabila energikostnader för medborgarna.

Ett annat projekt relaterat till distributionsnäten är utvecklingen av digitala tvillingar, det vill säga virtuella kopior eller simuleringar av elnäten. En digital tvilling möjliggör realtidsövervakning, analys och testning av olika scenarier utan att påverka det faktiska fysiska systemet. Tekniken uppskattas kunna förbättra hanteringen, driften och motståndskraften hos EU:s elsystem. Projektet har som mål att stödja nätoperatörer och marknadsaktörer i beslutsfattande. Tekniken ses vara en nyckellösning till att integrera en högre andel distribuerad energi, genom att ge insikter i produktionskällornas interaktioner med nätet.

### The Clean Energy Transition Partnership (CETPartnership)

CETPartnership är en satsning inom EU:s ramprogram Horizon EU, och publicerar projektutlysningar där företag, offentliga aktörer och organisationer kan ansöka om finansiering. Två av CETPartnerships utlysningar från år 2023 är kopplade till utmaningar inom framtidens region- och

---

<sup>93</sup> European Commission (2024), [Commission invests €172 million in research and innovation projects to support EU energy independence through Horizon Europe](#).



lokalnät. Kunskapsluckorna som CETPartnership ämnat rikta stöd åt är dels projekt med fokus på integrering av likströmsteknik i energinfrastruktur, särskilt vid en hög andel av förnybara energikällor. I utlysningarna från CETPartnership ses också ett behov av att skapa standardiserade testprocedurer och förbättrade övervakningsverktyg av distributionsnäten. Dessutom lyfter utlysningarna fram utmaningar som att integrera energilagring, hantera ojämna belastningar, skalbarhet och kompatibilitet inom lågspännings-likströmsnät, för att stärka deras roll i framtidens energisystem<sup>94</sup>.

### International Smart Grid Network (ISGAN)

ISGAN är en internationell plattform för utveckling och utbyte av kunskap om smartare, mer hållbara och flexibla elnät. Samarbetet inkluderar arbetsgrupper som släpper regelbundna publikationer, varav arbetsgrupp 7 har fokus på de smarta elnäten<sup>95</sup>. Ur ISGANS publikationer lyfts flera forskningsbehov kopplade till en ökad andel variabla energilagring tillsammans med en snabb utbyggnad av de lokala elnäten<sup>96</sup>. Organisationen lyfter flera tekniska utmaningar, som att hantera obalanser mellan produktion och konsumtion, samt spänningsvariationer av elnätens komponenter på lågspänningsnivå. För att mildra dessa utmaningar ser organisationen ett behov av att i större utsträckning använda sig av tekniker för efterfrågestyrning, spänningskontrollmekanismer, regleringstekniker och lokal lagring för att matcha konsumtion och produktion.

Ett demonstrationsprojekt som arbetsgruppen lyft som framgångsrikt för att hantera obalanser i elnätet är lokaliserat i Biel-Benken, Schweiz. I projektet har beslutsalgoritmer utnyttjats för att hantera effekten av solproduktion på nätets stabilitet<sup>97</sup>.

### CIGRE

CIGRE är en global organisation som har som mål att främja och utbyta kunskap inom kraftsystem. Organisationen domineras av företag inom eltransmission men arbetar sedan några år tillbaka med att inkludera eldistribution. På motsvarande sätt har fokus förskjutits från utbyte av erfarenheter till att samlas kring kommande utmaningar. Inom organisationen finns ett stort antal arbetsgrupper. Sedan år 2023 finns en arbetsgrupp för att undersöka och föreslå nya skyddsmetoder för distributionsnätet, samt att introducera nya skyddsreläer för att möta branschens utmaningar<sup>98</sup>. Utmaningar som har pekats ut av Cigre innefattar detektering och eliminering av högimpedansfel, snabb isolering av fel och återställning av tjänster, samt implementering av passande skyddsmetoder för mikronät och likströmsdistributionsnät. Arbetsgruppens åtaganden sträcker sig till en omfattande analys av befintliga skyddsreläers täckning av felimpedans, utforskning av jordfelsbrytare samt riktade överströmsbrytare för distribution med hög andel förnybara energikällor.

---

<sup>94</sup> CETPartnership (2024), [CETPartnership Joint Call 2023](#).

<sup>95</sup> ISGAN (n.d.), [Transitions](#).

<sup>96</sup> ISGAN (2024), [ReFlex Guidebook](#).

<sup>97</sup> ReFlex (n.d.), [ReFlex Guidebook for the replication of use-cases tackling the flexibility challenge in smart energy systems](#).

<sup>98</sup> Cigre (2023), [Protection for modern distribution networks](#).



## CIRED

CIRED samlar aktörer inom eldistribution från olika sektorer såsom energibolag, produktutvecklare, konsultfirmor och akademiska institutioner. Organisationen engagerar sig i frågor kring utveckling, byggnation och drift av distributionsnät och storskaliga anläggningar som använder elektricitet inom industri- och transportsektorn. Verksamhetsområdet inkluderar hela spektrumet av eldistributionssystem genom områden som decentraliserad elproduktion, tekniska frågor kring elförsörjning, kostnadsreduktion, miljöpåverkan, organisationsutveckling och kompetensbyggande. CIRED har även arbetsgrupper för att främja sina mål och samarbetar med andra internationella organisationer i dessa syften. För att uppnå målen arrangerar CIRED vartannat år en konferens – växelvis anordnad av finansörerna AIM i Belgien respektive The IET i Storbritannien – för att behandla frågor om nya rön och bästa praxis kring frågor som rör eldistribution. Konferensen är öppen för globala experter och inkluderar utställningar från företag.

## Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)

IEEE är en global teknisk yrkesorganisation som är dedikerad till att främja teknisk utveckling. Organisationen har över 460 000 medlemmar och publicerar uppskattningsvis en tredjedel av världens vetenskapliga litteratur kring elektroteknik, datateknik och elektronik. IEEE är även med och anordnar ett stort antal konferenser, tar fram teknikstandarder samt håller i utbildningsaktiviteter för såväl studenter som yrkesverksamma. Aktiviteter görs inom olika ämnesområden varav några av de mest relevanta med koppling till distributionsnät är sektionerna Smart Grid, Cybersecurity och Transportation Electrification.

## 7.2 Internationella forskningsexempel

I detta avsnitt ges en kortare beskrivning av forskning relaterad till distributionsnät i Danmark och Storbritannien – två länder som pekats ut som föregångare på forskningsområdet av deltagare i kartläggningen bakom denna rapport.

### Danmark

Mer än 70 procent av all elektricitet i systemet bearbetas genom kraftelektronik, och området får allt större uppmärksamhet med fler distribuerade energikällor, batterier och elbilar i elnätet. Danmark, och särskilt Aalborg, är internationellt erkänt för sin expertis inom kraftelektronik och elkvalitet<sup>100</sup>. Forskare som Frede Blaabjerg vid Aalborg Universitet<sup>101</sup> har varit tongivande inom detta område. Aalborg Universitet har flera forskargrupper och center kopplade till elsystemet, bland annat Center for Research On Microgrids (CROM). Forskningen som bedrivs vid universitetet spänner över flertalet områden, såsom integration av e-mobilitet, vindkraft och solceller, batterier, Power to X, elektromagnetiska fält, mikronät, med mera.

<sup>99</sup> CIRED (n.d.), [Objective](#).

<sup>100</sup> AAU Energy (n.d.), [Electrification, storage and integrated energy systems](#).

<sup>101</sup> Aalborg universitet (n.d.), [Frede Blaabjerg](#).



Ett Center Of Reliable Power Electronics (CORPE) har även grundats vid Aalborg Universitet, detta i nära samarbete med en rad företag och universitet både i Danmark och internationellt. CORPE finansieras delvis av Det Obelske Familiefond och Innovation Fund Denmark. CORPE syftar till att utveckla mer pålitliga och effektiva kraftelektroniksystem för kraftgenerering, distribution och konsumtion genom att förbättra förståelsen för hur dessa system påverkas av olika belastningsfaktorer, såsom temperatur, överspänning, överbelastning och miljöpåverkan. Målet är att de ska bli mer tillförlitliga, effektiva och prismässigt konkurrenskraftiga genom att minska underhålls- och driftkostnader. Fortsättningsvis kommer centret att utveckla enhets- och systemmodeller som möjliggör simulering och design av kraftelektroniksystem mycket nära gränserna för enheterna<sup>102</sup>.

Danmarks Tekniske Universitet (DTU) driver tillsammans med Bornholm Energi & Forsyning Power Lab DK, med flera testbäddar/testlabb för elkraftteknik. Här kan komponenter som växelriktare och annan kraftelektronik testas tillsammans med elbilar, olika digitaliseringsverktyg och kontrollsystem. Inom Power Lab DK finns både laboratoriemiljöer, storskaliga experimentmiljöer och ett fullskaligt distributionsnät. Här finns även Smart Community Bornholm, som fungerar som en testbädd för smarta elnätlösningar i ett system med hög andel variabel förnybar energi och möjlighet till ödrift<sup>103</sup>.

### Storbritannien

Ett land som av respondenter till denna studie omnämns flertalet gånger som särskilt långt fram gällande implementering av innovationer i elnäten är Storbritannien. Denna insikt ligger i linje med resultat från Power Circles tidigare syntesrapport om elmarknadsforskning<sup>104</sup>, som listar flera bakomliggande anledningar. Exempelvis sköts balanseringen av det brittiska kraftsystemet av en aktör som är skild från TSO:n, med resultatet att principerna för balanseringen i större grad har kunnat byggas upp utifrån marknadens behov.

Ett ytterligare, i sammanhanget viktigt, perspektiv är att Ofgem – i mångt och mycket den brittiska motsvarigheten till Ei – underlättar innovation och utveckling genom insatser såsom regulatoriska sandlådor och finansiering av innovativa projekt. Mellan 2010–2015 fanns en insats som kallades Low Carbon Networks Fund (LCN Fund) för att stimulera utveckling och innovation hos distributionsnätsbolag. Projekten som fick pengar genom fonden var tvungna att möta vissa kriterier. Mellan 2015 och 2023 fanns istället ett program för att finansiera innovation under den nya regleringen RIIO-ED1 price control.

Även inom ramen för denna reglering fanns en innovationsfond där distributionsnätsbolagen fick ansöka årligen om upp till 70 miljoner pund per projekt för att implementera innovativa lösningar. I den nya regleringen, som gäller från mars 2023, finns också en mekanism för att främja

<sup>102</sup> AAU Energy (n.d.), [CORPE – Center of reliable power electronics](#).

<sup>103</sup> Power Lab DK (n.d.), [Facilities](#).

<sup>104</sup> Power Circle (2021), [Elmarknadsforskning i Sverige idag. En syntesrapport om forskningsläget och framtida forskningsbehov](#).

innovation: den så kallade Strategic Innovation Fund, (SIF), som drivs i samarbete med Innovate UK. Genom SIF kan företagen söka pengar i faserna *discovery* (utforskande korta projekt för att identifiera områden), *alfa* (Proof of concept) och *beta* (storskalig demonstration), för att minska risk och styra pengarna rätt<sup>105 106 107</sup>.

Ett ytterligare exempel på förutsättningar som hjälpt Storbritannien att ligga i framkant inom innovation och forskning i elnäten är den testbädd för distributionsnät som finns i Strathclyde i Skottland. Strathclyde universitet är en ledande aktör inom forskning och kunskapsutbyte inom planering och drift av framtidens energisystem<sup>108</sup>. Forskare på universitetet fokuserar på att lösa utmaningar relaterade till minskad motståndskraft och en ökad andel variabla energikällor i kraftsystemet. Målet med forskningen som bedrivs i Strathclyde är att säkerställa stabilitet och pålitlighet i elnätet. Genom samarbeten med stora energibolag såsom SP Energy Networks, Scottish and Southern Electricity Networks och National Grid bedriver Strathclyde forskning och innovation inom områden som kraftsystemdesign, planering och drift.

Forskare på universitetet använder sig av avancerade forskningsanläggningar, vilket innefattar en testbädd av distributionsnät, där en bred variation av innovativa enheter och tekniker har testats. Arbetet som bedrivs i Strathclyde har även utmärkt sig när det kommer till att koppla ihop akademiska forskningsprojekt med industriella forskningscentrum. Detta har underlättat översättningen av forskningsresultat till verklig implementering för att skynda på omställningen.

Utöver dessa två exempel ligger Storbritannien långt fram med arbetet med kapacitetskartor, och har i svenska studier på ämnet ofta lyfts som exempel på ett föregångsland. Exempelvis har Western Energy Distribution, WED, tagit fram en kapacitetskarta för att kunna koordinera laddning av elbilar med variabla energikällor<sup>109 110</sup>.

---

<sup>105</sup> Ofgem (n.d.), [Electricity Network Innovation Competition \(RIIO-1\)](#).

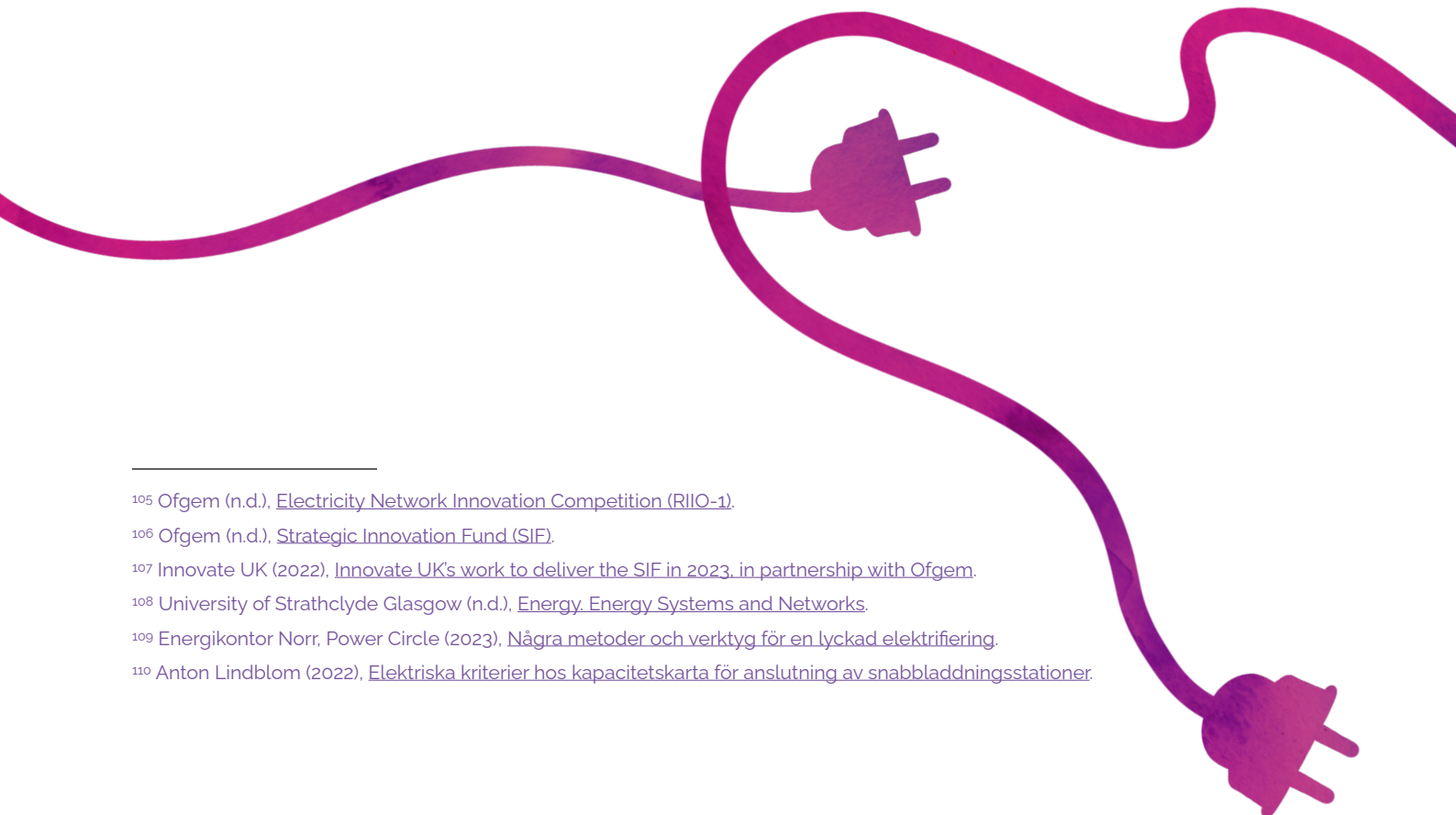
<sup>106</sup> Ofgem (n.d.), [Strategic Innovation Fund \(SIF\)](#).

<sup>107</sup> Innovate UK (2022), [Innovate UK's work to deliver the SIF in 2023, in partnership with Ofgem](#).

<sup>108</sup> University of Strathclyde Glasgow (n.d.), [Energy, Energy Systems and Networks](#).

<sup>109</sup> Energikontor Norr, Power Circle (2023), [Några metoder och verktyg för en lyckad elektrifiering](#).

<sup>110</sup> Anton Lindblom (2022), [Elektriska kriterier hos kapacitetskarta för anslutning av snabbladdningsstationer](#).



## 7.3 Distributionsnät på agendan under internationella konferenser

För att göra en snabb kartläggning kring vilka forskningsområden som är mest aktuella internationellt har ett antal stora forskningskonferenser studerats. Den årliga konferensen Grid Integration Week kommer äga rum i Finland mellan den 7-11 oktober 2024<sup>111</sup>. Några teman med koppling till distribution som kommer diskuteras på årets konferens är:

- Elkvalitet
- Nätföljande aspekter av växelriktare
- AI/ML
- Nätkoder
- Modeller av system med vätgas
- Integration av hybridparker
- Projekt fokuserade på integration av solceller, vindel, batterier och elbilar
- Regulatoriska frågor.

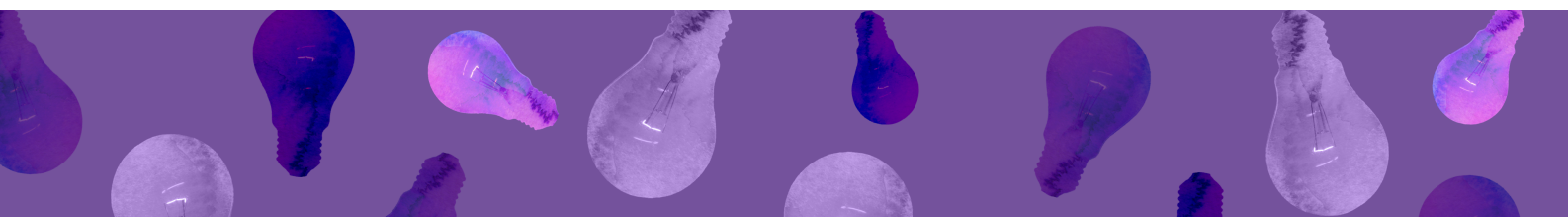
Ytterligare en årlig konferens och mässa är DISTRIBUTECH International, där frågor om transmission och distribution diskuteras<sup>112</sup>. Med över 600 utställare samlar konferensen tusentals besökare för att ta del av föredrag och lösningar som driver branschen framåt. Den senaste konferensen hölls i Orlando och fokuserade på flera olika teman, inklusive:

- *Avancerad drift och hantering*: Teknologier och strategier för att säkerställa smidig drift och effektiv hantering av elnätet, med fokus på felplacering, spänningsoptimering och tillgångshantering.
- *Kommunikation och datasystem*: Strategier för att säkerställa konstant kommunikation och optimal datahantering för att stödja smarta nät.
- *Distribuerade energiresurser (DER) och flexibilitet*: Användning av DER för att balansera förnybar energi, samt strategier för att lägga till flexibilitet i distributionsnätet.
- *Elfordon*: Hur elnätet anpassas för att stödja elfordon och deras energibehov.
- *Säkerhet och riskhantering*: Åtgärder för att skydda nätet och arbetare mot fysiska och cyberhot, samt bästa praxis för att hantera risker och förändringar i branschen.
- *Kundengagemang och smarta städer*: Verktyg och teknologier för att skapa gynnsamma kundrelationer och förbättra stadsmiljön genom samarbete mellan företag och städer.

---

<sup>111</sup> Energynautics (2024), [Welcome to the Renewable Energy Grid Integration Week](#).

<sup>112</sup> DISTRIBUTECH International (2024), [DISTRIBUTECH 2024 Track Descriptions](#).



# Bilaga A: Medverkande respondenter

## Pilotintervjuer

Johanna Barr, Jämtkraft  
Mats Karlström, konsult

## Semistrukturerade djupintervjuer

Cecilia Boström, Uppsala universitet  
Claes Sandels, RISE  
Daniel Holm, Vasakronan  
Filip Kjellgren, AI Sweden  
Johan Söderbom, EIT InnoEnergy  
Lars Nordström, Kungliga Tekniska högskolan  
Lars Olsson, konsult  
Linda-Maria Wadman, Plexigrid  
Mats Karlström, konsult  
Ola Carlsson, Chalmers  
Olof Samuelsson, Lunds universitet  
Peter Söderström, Vattenfall  
Sara Rönnerberg, Luleå tekniska universitet  
Stephan Stålered, Ellevio  
Åsa Elmqvist, Energiforsk

## Mejlsvar

Anna Karlsson, Vinnova  
Lena Max, Högskolan Väst

## Rundabordssamtal

Albert Petersson, Vattenfall  
Ambra Sannino, Vattenfall  
Angelo Tizzano, C4 Energi  
Anna Karlsson, Vinnova  
Bo Hallberg, Pratexo  
Claes Sandels, RISE  
Dan-Eric Archer, CheckWatt  
Göran Ericsson, Uppsala universitet  
Hannes Sonnsjö, Lunds universitet  
Kent Eneris, Luleå Energi  
Martin Lundberg, Lunds universitet  
Mikael Miglis, ABB  
Mohamed Ezzo, Holtab  
Per Ola Persson, Easyserv  
Robert Nyiredy, Infinigrid AS