

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Hur en förändrad nätägarroll kan bidra till en resurseffektiv och systemvänlig utbyggnad av solel	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska How a changed role for DSOs could contribute to a resource efficient expansion of solar power	
Universitet/högskola/företag KTH	Avdelning/institution ITM Industriell ekonomi och organisation
Adress Brinellvägen 8, 100 44 STOCKHOLM	
Namn på projektledare Martin Vendel	
Namn på ev övriga projektdeltagare Petter Johansson, Cali Nuur	
Nyckelord: 5-7 st Nätägare, elsystem, solceller, elbilar, distribuerade energiresurser, innovation, strukturförändringar.	

Förord

I denna slutrapport redovisar vi projektet *Hur en förändrad nätägarroll kan bidra till en resurseffektiv och systemvänlig utbyggnad av solel*. Projektet är ett fristående projekt som helfinansierats av Energimyndigheten. Projektet har genomförts av doktor Martin Vendel (projektledare), doktor Petter Johansson och professor Cali Nuur.

Ett stort tack till deltagarna som ingått i vår referensgrupp som gett oss värdefulla insikter och varit till stor hjälp i detta forskningsprojekts framgång: Jörgen Andersson-Strand (Pite Energi) och deltagarna i gruppen Vår Energi med Anders Rindfors (Skövde Energi), Magnus Jacobsson (Skara Energi), Rolf Åkesson (VänerEnergi), Mars Mattsson (Götene Elförening), Mattias Andersson (Tidaholms Energi) och Marcus Gustafsson (Billinge Energi).

Vi riktar ett tack för gott samarbete till Claes Sandels och Angelica Afzelius vid RISE som – inom sitt arbete med EU:s Horizon2020 projekt UNITED-GRIDS – samarbetade med oss i arbetet att ta utforma och distribuera en enkätundersökning till svenska nätägare. Ett tack även till Martin Warneryd vid RISE som med sin kunskap om mikronät och internationell utveckling gett oss viktig input, samt till alla andra forskare vid MDH, RISE, UU, LTU, med flera, som intresserat diskuterat vårt forskningsprojekt med oss under dessa tre år.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	2
Summary	2
Inledning/Bakgrund	3
Genomförande	4
Resultat	5
Diskussion.....	7
Publikationslista.....	9

Sammanfattning

Allt större utmaningar väntar svenska nätägare med en ökad andel solceller, elbilar och andra distribuerade energiresurser (DER) anslutna till Sveriges lokalnät. En kraftig ökning av DER skapar utmaningar med elkvalitet och kräver ökad hantering av flaskhalsar och lokala överbelastningar. Detta påverkar i sin tur den nuvarande svenska nätägarrollen. Den marknadsmodell och den policyinriktning som Sverige har just nu ger dock inte i tillräckligt hög grad det handlingsutrymme som krävs för att bibehålla ett robust, pålitligt och tillgängligt elnät i fall av ett scenario med kraftig ökning av DER och distribuerade energiproduktion. Den stöttar heller inte en innovativ och industriell utveckling i lika hög grad som den skulle kunna göra.

Den svenska nätägarpopulationen är en heterogen grupp med stor variation i tillgång till resurser och kompetenser. Förutsättningar att hantera teknikdrivna förändringar i elnäten skiljer sig stort bland olika nätägare.

Svensk regelutveckling har historiskt präglats av en lager-på-lager modell där komplexiteten ökar över tid med en inlåsning till dagens marknadsmodell som följd. Denna inlåsning hindrar den potential till innovation som finns i bland annat mikronät. För att realisera denna potential behöver regelverket anpassas på så sätt att nätbolag, svenska sol- och mikronätföretag och mikronätägare (husägare, fastighetsägare, företag, etc.) kan samarbeta i en gemensam arena, testa nya lösningar och skala upp kommersiellt gångbara modeller. Vi ger i denna rapport flera förslag på hur nuvarande regelramverk bör förändras.

Vi efterfrågar mer forskning på hur gränssnitt mellan nätägare och energigemenskaper samt hur en ny standard för elnätstariffer kan designas för att skapa incitament som leder till innovation och effektivt nätutnyttjande.

Summary

Increasing challenges await Swedish distribution system operators (DSOs) with increasing levels of solar photovoltaics (PV) systems, electric cars and other distributed energy resources (DER) connected to Sweden's local, low-voltage electricity grids. A rapid increase in DERs creates challenges with electricity quality and requires increased management of bottlenecks and local congestion. This in turn affects the current role of Swedish DSOs. However, the current market model and policy orientation in Sweden do not provide sufficient room of

manoeuvre required to maintain a robust, reliable and accessible electricity grid in the event of a rapid increase in DER and distributed energy production. Nor does it support innovative and industrial development as much as it could.

The Swedish DSO population is a heterogeneous group with great variation in access to resources and competences. Conditions to manage technology-driven changes differ greatly among different types of Swedish DSOs.

Swedish regulatory development has historically been characterized by a layering model where complexity increases over time. This has created a lock-in to the current market model which hinders the potential for innovation that exists in microgrids. To realize this potential, the current regulatory framework needs to be adapted in such a way that DSOs, Swedish solar system & microgrid suppliers, and customers can collaborate in a common arena, test new solutions and scale up commercially viable models. In this report, we make several suggestions on how to change the current regulatory framework.

We suggest more research be made on how the interface between DSOs and microgrids/energy communities should be designed and how a new standard for electricity grid tariffs can create incentives that leads to innovation and long-term efficient network utilization.

Inledning/Bakgrund

Pågående teknikdrivna utveckling som sker inom de europeiska elsystemen kommer att få en genomgripande effekt på svenska nätägare. En kraftig ökning av distribuerad energiproduktion i form av solcellsanläggningar hos slutkunder kan komma att skapa omvända flöden i många lokalnät. Lokalnät som har utformats för att distribuera el från stora, centralt styrda produktionsanläggningar, från stamnät via regionnät till lokalnäten och sen ut till slutkund. En kraftig ökning i koncentration av elbilsladdning kan också skapa nya kraftiga överbelastningar lokalt i elnäten. En annan teknikutvecklingstrend som pågår rör digitalisering. När det kommer till digitalisering av svenska elnät har svenska lokalnätägare kommit olika långt, till exempel avseende att med sensorer och nya system skapa en ökad övervakning i realtid över elkvaliteten i sina lågspänningsnät. Men när det kommer till störningar från nya distribuerade energiresurser (DER) såsom solceller och elbilar så saknas idag det handlingsutrymme som krävs för att nätbolag ska kunna integrera och ackommodera en kraftig ökning av DER i sina lokalnät. Samtidigt innebär DER-tekniken stor potential till utveckling inom elsystemet med ökad självbestämmande och egen rådighet över sin energisituation bland slutkunder och minskat beroende av fossila bränslen.

Utvecklingen på EU nivå påverkar svenska nätägare allt mer. På EU nivå har bland annat behovet av nya lagar och regler fångats upp i de direktiv som introducerar medborgarenergigemenskaper (se EU 2019/944) och energigemenskaper för förnybar energi (se EU 2018/2001) som nya typer av aktörer i EU:s medlemsstater. I en sådan energigemenskap ska flera hushåll kunna gå samman och både dela på investeringar i energitekniker och dela energi mellan hushållen.

Nätägare har en central roll i utbyggnad av solex och hur nätägarrollen utvecklas kan ha stor betydelse för utvecklingen av solex i Sverige. Det finns dock motstridiga signaler om riktningen av denna utveckling, om den går mot ökat systemansvar eller om den går mot en än mer renodlad verksamhet för svenska nätägare. Svenska nätägare är ingen heterogen grupp företag och de svenska förutsättningarna – med en stor andel kommunägda nätbolag, en del ekonomiska föreningar och några få storföretag med ungefär hälften av kunderna – skiljer sig från många andra europeiska länder. Därför finns det skäl att undersöka situationen i Sverige.

Inom detta forskningsprojekt har vi ställt följande frågor: 1) vad är nätägarnas nuvarande möjligheter och hinder att integrera en ökad andel solex i respektive elnät, 2) vad är nätägarnas förutsättningar och förmågor att utveckla nya affärsmodeller för energitjänster tillsammans med prosumenter och svensk solindustri och 3) hur förändras nätägarrollen i andra jämförbara länder?

Forskningsprojektet har byggt vidare på resultaten från tidigare forskning som kartlagt och analyserat svensk värmepumpsutveckling. Det finns lärdomar från värmepumpsområdet som går att överföra till sol- och mikronätsområdet i Sverige idag, dels i den industriella organisationsutvecklingen och dels på vilket sätt lokala energibolag kan spela en central roll för svenskbaserade energiföretags industriella framgångar.

Detta projekt har helfinansierats av Energimyndigheten och bedrivits vid KTH och IMIT aktivt sedan oktober 2017 till oktober 2020, med uppehåll i sju månader från januari till juli 2020.

Genomförande

I projektet har vi gjort en strukturerad litteraturstudie, en kvantitativ studie och kartläggning av den svenska nätägarpopulation, en skrivbordsstudie av pågående förändringar för nätägare i Europa, en kartläggning av svensk solindustri baserat på sekundära data, intervjuat 19 chefer och medarbetare vid tio svenska nätbolag och ett energibolag samt gjort enkätutskick till svenska nätägare med 25 svarande parter.

I den första delen av projektet (oktober 2017 – juni 2018) fokuserade vi på strukturerad litteraturstudie för att kartlägga nuläget av forskningen inom eldistribution, en kvantitativ datainsamling av svenska nätägare och intervjuer med representanter i referensgruppen. Intervjuerna bestod av öppna frågor angående affärsmodeller, verksamhetsfokus och pågående och förväntade utmaningar och möjligheter med pågående förändringar inom elsystemet. Intervjuerna varierade i längd, från 45 till 150 minuter. Av de totalt 19 intervjuade respondenterna (inklusive de från referensgruppen) så var tio stycken chefer för nätbolagen de representerade och nio stycken var medarbetare. Vidare gjordes en första kartläggning av rådande lagar och regler på nationell och EU nivå.

I nästa del av projektet (juli 2018 – oktober 2020) gjorde vi en övergripande kartläggning av svensk solrelaterad industri baserad på sekundär data, en

enkätundersökning bland svenska nätägare och uppföljande intervjuer med nätbolagen med fördjupande frågor. Vi har också återkopplat till tidigare arbete om förändringar i affärsmodeller och värdenätverk när värmepumpar slog igenom i Sverige.

Projektet har bedrivits med säte på KTH med projektledare Martin Vendel och Cali Nuur på ITM Industriell ekonomi och organisation, KTH och med Petter Johansson på IMIT – the Institute for Management of Innovation and Technology.

Resultat

Resultaten från den strukturerade litteraturstudien indikerade att 100% förnybara elsystem är tekniskt möjliga utan krav på en kraftig utbyggnad av elnätskapacitet, under förutsättning att de förnybara energikällorna kan styras i placering, kan begränsas i sin utmatning på elnätet och kan användas med andra distribuerade energiresurser för lokal balansering.

Policyutvecklingen på EU nivå pekar ut en riktning mot ökad integration av elsystem på internationell nivå samt en ökad autonomitet och egenrådighet över medborgarnas energisituation. I länder där det skett en kraftigare och tidigare expansion av solel än i Sverige ser vi en trend mot ökad lokal balansering, både med exempel där nätbolag aktivt är med i den lokala balansering och där nätbolagen tar en mer passiv roll. Utvecklingen återspeglas också i EU direktiv om medborgarenergigemenskaper och energigemenskaper för förnybar energi där möjligheter öppnas upp för ökad lokal energianvändning och lokal balansering. I vissa länder, exempelvis Storbritannien, ser vi ändring i nätägarregleringen för att stötta innovation där man ändrar från en input-baserad modell (där omkostnader för innovationsprojekt täcks genom externa medel eller genom ökade nätavgifter) till en output-baserad modell där resultaten från innovationsprojekt är det som bedöms utifrån fördefinierade mål. Nätägarna blir belönade eller bestraffade beroende på om de överträffar eller underpresterar på att nå upp till målet. Det finns för- och nackdelar med båda modeller. En nackdel med den output-baserade modellen är att den ställer höga krav på att den reglerande myndigheten har kompetens att ställa upp fördefinierade mål som skapar incitament till innovation och som är möjliga att nå.

I vår kartläggning av den svenska nätägarpopulationen har vi funnit en heterogen grupp med stor variation i tillgång till resurser och kompetenser. Det finns ett stort spann i den svenska populationen av nätägare med tydliga skillnader mellan exempelvis kommunala nätägare, elföreningar och större nätägare avseende organisation, finansiella mål och ägardirektiv. Förutsättningar och förmågor att hantera teknikdrivna förändringar i elnäten under rådande affärs- och marknadsmodeller skiljer sig stort bland dessa olika nätägare. Detsamma gäller förutsättningar och förmågor att agera proaktivt för att utveckla nya tjänster och affärsmodeller för en ökad integration av solel i sina respektive elnät. Den marknadsmodell och regelutformning som svenska nätägare arbetar under är av en sådan typ att den inte uppmuntrar till proaktiva åtgärder från nätägare utan tvärtom styr mot reaktiva åtgärder. Vi finner att flera av de större nätbolagen

förvisso har en proaktiv inställning till pågående teknikförändringar men utan att vi har kunnat finna att deras utvecklingsprojekt gjort avtryck i den dagliga verksamheten annat än inkrementell verksamhetsutveckling och ökad användning av möjligheter med digitalisering. Många mindre nätbolag (omsättning under 100 miljoner SEK per år) saknar möjlighet att delta i experimentella aktiviteter och tester av nya modeller. I deras fall har de efterfrågat standardiserade lösningar och stöd från centralt håll för att de ska kunna utveckla sin verksamhet.

Våra intervjuer med nätägare indikerade att många kommunala nätbolag är präglade av en starkt lokal (geografisk) förankring. De flesta nätägare vi intervjuat har uttryckt att de vill ha en nära och direkt dialog med sina lokala kunder. Flera av de kommunala nätbolag vi intervjuat har också signalerat att det är eftersträvansvärt att vara bland de företag som ligger så långt bort från intäktsramens tak som möjligt.

Vi har funnit att det finns tekniska utmaningar med pågående teknikförändringar, men att de inte utgör radikala problem för nätägarna idag. Däremot förbereder sig många nätägare för en förväntad ökning av problem skapade av solsystem och elbilar. Många nätägare signalerar att de har svårt att rekrytera den kompetens som de tror är relevant för att möta framtida behov.

Under rådande regelverk arbetar en stor del nätägare – dock inte alla – med digitalisering och en ökad realtidsövervakning av sina elnät. Detta kräver delvis ny kompetens men inga regelförändringar. En ökad övervakning ger möjlighet till mer resurseffektivt underhåll (baserat på faktiska behov istället för förväntade behov) samt bättre planeringsförmåga för framtida investeringsbehov.

Det finns tekniska lösningar som nätägare har kompetens att hantera och som tidigare fanns att tillgå för nätägare innan marknadsregleringen, såsom rundstyrning och användning av egna generatorer, men som inte är tillgängliga för nätägare under dagens regelramverk.

Andra tekniska lösningar som är komplementära till solceller och elbilar, så som distribuerad energilagring och efterfrågestyrning, ligger utanför eller i gråzonen för vad regelverket tillåter nätägare att göra i sin verksamhet. Det saknas även kompetens och förmågor att hantera dessa typer av lösningar bland många svenska nätägare idag. Det saknas också ett utbud idag från tredje part för dessa lösningar i större delen av landet. Även framöver är det att förvänta att marknadslikviditeten kommer vara otillräcklig i många nätområden vilket gör upprättandet av lokala marknader onödigt. En bristande marknadslikviditet kan hanteras genom att bilaterala avtal ges möjlighet att upprättas mellan nätägare och tredje part istället för att gå via en lokal marknad.

Både mindre och mellanstora nätägare som vi intervjuat har också påpekat att svenska myndigheter inte är samstämmiga utan skickar motsägelsefulla signaler. Ett exempel är den elhandlarcentriska modellen (vars arbete nyligen blivit förlagt på is) som förskjuter kontakten med slutkund från nätägaren till elhandelsbolaget samtidigt som nätägarna förväntas ta ett större systemansvar än idag. Att ta större systemansvar står också i konflikt med policyutvecklingen mot en mer renodlad

nätägarroll med lägre möjlighet för nätägare att utnyttja och integrera ny teknik i sina respektive elnät.

Vi har också funnit att det finns en utmaning i att många nätägare vill ha direkt kontroll över komponenterna i sina system. Att lämna över kontroll av tekniska komponenter till en upphandlad eller kontrakterad tredje part skapar en beroendesituation till denna part som flera nätägare uttryckt sig tveksam till. Exempelvis i fallet av ett stationärt batteri ser de hellre att de är ägare och i direkt kontroll av denna nätkomponent, men att det ges möjlighet för tredje part att använda batteriet kommersiellt när det inte finns behov av det i elnätet, än alternativet att tredje part äger och styr över batteriet.

I vår analys kring affärsutveckling så har vi funnit att det finns en relativt stark industri kring komplementära produkter runt solceller, såsom växelriktare, energilager av olika typ och leverantörer av hela mikronätsystem. Svenska nätägare, med sin kompetens inom drift av lågspänningsnät, är dock i stor utsträckning inte delaktig i den tekniska utvecklingen av mikronät som de skulle kunna vara.

Diskussion

Ökad spridning av solcellssystem och DER kan komma att skapa långsiktiga strukturförändringar i nuvarande elsystem. Regelramverket måste anpassas för att följa denna utveckling, så att utvecklingen sker utan att riskera att störa dagens höga leveranssäkerhet och tillgänglighet eller öka kostnaderna för gemene svenska kunder.

De över 170 svenska nätägarna har en central roll i att se till att elsystemets leveranssäkerhet och tillgänglighet behålls utan en ökad kostnad för nätkunderna vid en fortsatt ökning av distribuerade energiresurser (DER) såsom solceller och elbilar i de lokala elnäten. Både myndigheter och politiker behöver se till den kontext och de varierade förutsättningar som finns för svenska nätägare. En hastig ökning av solceller och elbilar kan innebära en problematisk situation för många svenska nätägare.

Den ökning av solceller och elbilar som skett hittills har dock ännu inte blivit till ett radikalt problem för svenska nätägare. Men det finns redan idag flera fall där solcellsanläggningar på ”fel plats i nätet” tvingar fram dyra investeringar i ökad kapacitet. Kostnader för nätägaren som i nästa steg socialiseras på alla kunder i det specifika elnätet. Flera nätägare har också flaggat för att plötsliga lokala koncentrationsökningar av elbilar inom vissa områden kan skapa belastningsproblem lokalt.

Att nätägare i dagens marknadsmodell upplever hinder för att använda och applicera ny teknik på kommersiell basis, såsom stationära batterier, riskerar att hindra utvecklingen av kompetens inom nya områden. Att tredjeparts-aktörer ska förse med tjänster istället för att nätägarna själva ska kunna äga tekniken innebär att kompetensområden delas upp mellan olika aktörer som hålls isär av krav på

verksamhetsåtskillnad, vilket försvårar utvecklingen av nya tjänster inom dessa områden.

Alternativa lösningar för att hantera en ökning av DER i lokalnäten är dels implementering av prissignaler i realtid baserade på situationen i elnät i realtid för att skapa ekonomiska incitament för självreglering, dels möjlighet för nätägare att ställa ökade krav på ägare av DER kring maxbelastning av elnätet. Båda dessa förslag är riktade mot att öka den lokala balanseringen av DER. Sådana krav kan dock komma att minska lönsamheten för investeringar i solceller, såsom regelverket ser ut idag, och därmed hämma en fortsatt expansion av solcellsmarknaden. Därför ställer krav på ökad lokal balansering i sin tur krav på att policyutvecklingen skapar ekonomiska incitament som på olika sätt gör det attraktivt att investera i solceller *och* teknik för lokal balansering.

Mikronät har potential att ge ett mer robust och resilient elsystem samtidigt som det skulle möjliggöra – förutsatt att regelutformningen så tillåter – en arena för radikal, arkitektonisk innovation som inte är möjlig på lokalnätsnivå. Möjlighet till arkitektonisk innovation innebär möjlighet till att testa olika sammansättningar av komponenter och delsystem i mikronätet baserat på användarnas behov. I dagens elsystem hindras arkitektonisk innovation av krav på verksamhetsåtskillnad och de lager-på-lager av regler som skapar en komplex och svårmanövrerad marknad att agera på för de aktörer som ägnar sig åt entreprenöriell verksamhet inom området. Ur ett långsiktigt perspektiv så innebär hindrande av uppbyggnad av system för lokal balansering såsom mikronät ett potentiellt resursineffektivt sätt att integrera förnybar energi i elsystemet som dessutom gör elsystemen mer sårbara för yttre hot och störningar.

Samtidigt som mikronät utgör en potentiell arena för radikal innovation bör verksamhetsutveckling och inkrementell innovation fortsatt stötta på lokalnätsnivå. Exempelvis genom att fortsätta stötta nätägares arbete med ökad övervakning av sina lågspänningsnät och ökad förmåga till prognostisering. Utvecklingsstöd till lokalnätägare bör också utformas med hänsyn till landets olika typer av nätägare och olika nätägarkontexter. Exempelvis skulle många av de nuvarande svenska elnätföreningarna i princip kunna konvertera till energigemenskaper, beroende på hur regelutformningen av energigemenskaper kommer att se ut. Det finns också många kommunala nätbolag med tillgång till balanseresurser i form av fjärrvärmeanläggningar som kan användas för ökad lokal balansering på lokalnätsnivå, om regelverket skulle tillåta detta.

Baserat på resultaten från detta forskningsprojekt föreslår vi följande konkreta policyförändringar:

- Tillåt fysisk delning av energi mellan fastigheter inom ett mikronät
- Slopa krav på verksamhetsåtskillnad inom mikronät
- Utveckla gränssnittet mellan mikronät och lokala nätägare med syfte att skapa ekonomiska incitament för mikronät att stötta det lokala elnätet
- Implementera standard för kostnads-reflektiva nättariffer
- Skapa förutsättningar för nätägare att erbjuda elnätstjänster till mikronätägare utan att de är koncessionsägare

Vi anser också att generella krav på lokala marknader för upphandling av nätsystemtjänster inte bör upprättas i de lokala elnät där det saknas marknadslikviditet. Istället bör nätägare kunna upprätta bilaterala avtal för att få tillgång till tjänster från energiresurser som kan stötta deras elnät.

Vi efterfrågar mer forskning på hur gränssnitt mellan nätägare och energigemenskaper samt hur en ny standard för elnätstariffer på bästa sätt skapar incitament som leder till innovation och effektivt nätutnyttjande.

Det saknas kunskap idag vad förändringar i nättariffer med realtidsbaserade prissignaler kan få för effekt i olika lokalnät. Dynamiska nättariffer som är utformade för att få en viss effekt kan misslyckas i att få förändrat beteende hos kund om exempelvis elpriser skickar motsatta prissignaler till slutkund. Det är också osäkert i hur stor utsträckning kunderna kommer reagera på prissignaler. Här har myndigheter som Svenska Kraftnät, Energimarknadsinspektionen och Energimyndigheten en viktig roll i att ta fram relevant kunskap på området.

Att utforma ett standardiserat gränssnitt mellan nätägare och mikronät/energigemenskap bör också vara ett prioriterat område. För en långsiktigt resurseffektiv tillväxt av DER så bör mikronät utnyttjas som kompletterande och stöttande system till angränsande lokalnät snarare än att de agerar konkurrerande till de befintliga elnäten. Ett standardiserat gränssnitt hjälper att tillgängliggöra energiresurser för de lokala nätägarna och bör vara utformat för att skapa ekonomiska incitament för mikronätägare att vara anslutna till lokalnätet och förse detta med systemtjänster.

Publikationslista

- 1: Johansson, P., Vendel, M., Nuur, C., 2018. The transition towards solar power ; business as usual or a new role for incumbent grid operators ? I: The International Sustainability Transitions Conference. Manchester, pp. 1–22.

I denna konferensartikel diskuteras utvecklingen för nätägare och det stigberoende som vi finner inom branschen. Stigberoendet finns både på organisationsnivå och på myndighetsnivå och bromsar upp utvecklingen av institutionell linjering utifrån den nya teknikens karakteristiska egenskaper.

- 2: Johansson P., 2019. What lessons does the Swedish socio-technical heat pump transition hold for solar PV in the Nordic countries' energy sectors? I: The 14th Nordic Environmental Social Science (NESS) Conference in Luleå, 10-12 June, 2019, Workshop #5.

I den värdenätverksanalys av svensk solindustri som presenteras i denna artikel så har vi funnit en stark bransch som påminner en hel del om hur svensk värmepumpsindustri såg ut under tidigt 1980-tal. Exempelvis är det så att det

saknas svenska företag som producerar själva solcellerna, på liknande sätt som det saknades svenska företag som producerade kompressorer i svensk värmepumpsindustri. En utveckling mot helhetslösningar kan också komma att krävas för att vinna kundernas förtroende och formera en större marknad kring solceller idag. Vi har också funnit att den kompetens som svenska nätägare besitter inte nyttiggörs inom industriutveckling i den grad den skulle kunna göra det.

- 3: Johansson, P., Vendel, M., Nuur, C., 2020. Integrating distributed energy resources in electricity distribution systems : An explorative study of challenges facing DSOs in Sweden. I: *Utilities Policy* 67, 101117.
<https://doi.org/10.1016/j.jup.2020.101117>

Denna artikel summerar en stor del av de resultat som vi nått inom forskningsprojektet. Artikeln handlar om nätägare och deras utmaningar med att integrera distribuerade energiresurser såsom solcellssystem och elbilar. Resultaten beskriver de mest pressande utmaningarna för svenska nätägare, olika svar från nätägare på utvecklingen och skillnaden mellan olika nätägare att svara på rådande utveckling. Både regelmässiga och organisatoriska barriärer för nätägare att integrera distribuerade energiresurser i dagens elnät identifieras och diskuteras i artikeln.

- 4: Johansson, P. (2020, forthcoming). The industrial transformation of the Swedish heat pump sector. Long, Vicky & Holmén, Magnus. (eds.) *Technological Change and Industrial Transformation*. Abingdon: Routledge

I detta bokkapitel presenteras utvecklingen och en analys av svenska värmepumpsindustriens utveckling sedan 1970-talet. Artikeln behandlar bland annat hur erfarenheter från svensk värmepumpsindustri kan överföras till svenska sol- och mikronätindustri.

- 5: Johansson, P., (forthcoming, 2020). 'Innovation i elsystemet – Fast i det gamla eller tid att tänka nytt?'. I: *Management of Innovation and Technology*

Denna artikel är en populärvetenskaplig artikel som sammanfattar flera lärdomar om innovation i elsystemet från detta forskningsprojekt.