

Kommunikationsteknik och elnät

Möjligheter med LoRa-teknik och smarta elnät

Rapport
Higher Ambition Internship 2019
Amanda Bränström

Inledning

Enligt Regeringens bredbandsstrategi "Sverige helt uppkopplat 2025" ska 95 % av alla hushåll och företag ha tillgång till höghastighetsbroadband år 2020 (Näringsdepartementet, 2016). Under lång tid har därför ServaNets fokus legat på att ansluta fler kunder till sitt fibernät. Sedan 2017 har ServaNet funderat på framtida affärsmöjligheter efter det att anslutningsmålet uppfyllts. Ett alternativ är att öka samarbetet mellan ServaNet och Sundsvall elnät, vilket även är anledningen till denna rapport. En utvecklingschef för båda bolagen, samt gemensamma strategier har tillsatts. En workshop för medarbetare har genomförts, med resultat i ett antal punkter med tänkta samarbetsområden. Av dessa pekades två områden ut som speciellt intressanta för detta projekt: fiberanslutna elnätstationer samt möjligheter till användning av LoRa-nätet.

Syftet med arbetet som genomförts under sommaren 2019 har varit att titta på potentiella gemensamma nyttor, tjänster och produkter mellan ServaNet och Sundsvall elnät med utgångspunkt i digitalisering och energiomställning, samt hur radiotekniken LoRa kan användas för detta. Fokus har varit kartläggning.

Projektet har, förutom ovan mer breda frågeställning, tre spår:

- Titta på data som samlas in i elnätet; hur den samlas in, vad den idag används till och vad den potentiellt sett kan användas till. På grund av att nätstationerna ska fiberanslutas undersöks även potentiella nyttor, tjänster och produkter som kan skapas när det är gjort. Detta korrelerar med tjänster, nyttor och produkter kopplade till smarta elnät.
- Hur LoRa-nätet kan användas för att skapa tjänster mellan ServaNet och Sundsvall elnät.
- Hur LoRa-teknik, baserat på pågående projekt och forskning, verkar passa för applikationer för smarta elnät.

Tolkning av begreppen har gjorts enligt följande: *Digitalisering* innebär att en uppfattning finns om att automatisering och hantering av ärenden digitalt kan minska kostnader och förbättra verksamheten och på så sätt göra systemen mer "smarta". *Energiomställning* handlar i grund och botten om bättre resurshantering för att nå uppsatta klimatmål. Detta innebär en förändrad hantering av elnätet då elproduktion ska bli mer förnybar och energi ska sparas. Även här handlar det alltså om mer "smarta" system. Summerat handlar projektet om digital kommunikation i elnätet för att gör det mer "smart".

Metoden har bestått av att undersöka given information i form av projektbeskrivning och interna dokument, intervjuer och presentationsmaterial med och från medarbetare på både ServaNet, Sundsvall elnät och externa parter. Förutom detta har litteratur, artiklar och branschinformation kopplade till LoRa och elnät studerats. Egen tolkning av bolagens utvecklingsstrategier och vad det kan innebära för bolagen har gjorts. Tack till alla som ställt upp med information och tid!

Rapportens första del ämnar till att ge en bakgrund till vilken datainsamling som sker i elnätet, smarta elnät, samt hur LoRa verkar passa för (smarta) elnätsapplikationer. Rapportens andra del presenterar mer konkreta gemensamma nyttor, tjänster och produkter som har potential att uppstå när fibernät, elnät och i vissa fall LoRa-nät, kombineras.

Innehåll

Inledning.....	2
Begrepp.....	4
Del 1	5
Mät och drift i Sundsvall elnät	5
Vad händer i elnätsbranschen?.....	8
Smarta elnät.....	9
LoRa och LoRaWAN.....	17
Edge computing.....	20
LoRa och smarta elnät.....	21
Radiotest Sundsvall elnät	25
Sammanfattning del 1.....	26
En kommentar om säkerhet och tillförlitlighet.....	28
Del 2.....	30
En kommentar om beteende kopplat till förbrukningsflexibilitet.....	30
Nyttor, tjänster och produkter där LoRa är komponent	32
Nyttor, tjänster och produkter där LoRa kan vara en komponent	38
Fler nyttor, tjänster och produkter	46
Slutsatser	51
Skriftliga referenser	53

Begrepp

ADA	Avancerad Distribuerad Automation
AES	Advanced Encryption Standard
AGGREGATOR	Aktör som samordnar små resurser till en stor resurs
AMI	Avancerad MätInfrastruktur
DA	Distribuerad Automation
DMS	Distribuerat ManagementSystem
DUTY CYCLE	Lagstadgad begränsning av hur ofta en nod får sända
EFFEKTKUND	Kund med säkring över 63 A
FAN	Field Area Network
LORA	Long Range
LORAWAN	Long Range Wide Area Network
LPWAN	Low Power Wide Area Network
ML	Machine Learning
M2M	Machine-to-Machine
NAN	Neighbourhood Area Network
NB-IOT	NarrowBand-Internet of Things
NIC	Network Interface Card
PER	Packet Error Rate
PLC	Power Line Communication
PROSUMENT	En aktör som är både producent och konsument
P2P	Peer-to-Peer
QOS	Quality of Service
RF	Radio Frequency
SAIDI	System Average Interruption Duration Index
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SCHABLONKUND	Kund som har säkring under 63 A
SVK	Svenska kraftnät
SLA	Service Level Agreement
THD	Total Harmonic Distortion
THROUGHPUT	Processad information per tidsenhet
IOT	Internet of Things
UPS	Uninterrupted Power Supply

Del 1

Mät och drift i Sundsvall elnät

Information i detta avsnitt kommer om inget annat nämns från intervjuer med Anders Söderberg, Victor Hansson, Sofia Bertlin, Henrik Laestander och Jenny Hedlund på mät och drift i Sundsvall elnät.

Idag samlas data in från cirka 27 000 elmätare i Sundsvall elnät. I dagsläget används två mätsystem, Addax och Mactor. Det förstnämnda kommunicerar via PLC och det sistnämnda via analog radio.

Olika typer av data samlas in:

1. Timvärden, från både effekt- och schablonkunder, buffras lokalt och skickas över en gång per dygn
2. Larm från mätare gällande spänningsvariationer och strömavbrott

Informationen (mätdata) samlas in för att:

1. Mäta förbrukad och producerad elenergi samt maxeffekt på större kunder
2. Göra elkvalitetsanalyser och energiförlustanalyser
3. Beräkna avbrottstider (SAIDI)
4. Avgöra om Sundsvall elnät hade ansvar i strömavbrott, vilket är information som används då kunder begär skadestånd
5. Skicka vidare data gällande förbrukning till elleverantören och balansansvarig (avräkning)
6. Interpolera saknade mätvärden
7. Validera mätvärden

Eftersom rapporteringen för avräkning är tidskänslig görs punkt 5-6 av konsultföretaget Rejlers. Detta anses även vara mest kostnadseffektivt. Informationen går i dagsläget inte genom ServaNets fibernät, förrän informationen når en mottagningsstation där mätinsamlingsystemens routrar är placerade.

För stora anläggningar (effektkunder med säkringar över 63A) måste timvärden samlas in, då debitering sker utifrån den högsta timeffekten. Schablonkunders timvärden är idag generellt sett inte använda till något annat än avräkning och vid nätberäkningar samt om kunden ber om mätdata. Det beror på att det idag inte finns någon elhandlare som har avtal där kund gynnas av att styra sin förbrukning. Ett exempel skulle vara effektdebitering, vilket skulle ge incitament till kund att flytta sin förbrukning från effekttoppar, alternativt dra ner sin egna högsta förbrukade effekt. För vissa kunder är det positivt att elhandlare kan få tillgång till timvärden, då kund kan få bättre avtal.

Addax, mätsystemet som är baserat på lågfrekvent, meshat PLC-nät ska fasas ut. Komponenter börjar bli gamla, vilket resulterar i att information kan falla bort. Dessutom uppstår störningar i kommunikationen på grund av interferens från annan kommunikation på samma frekvens samt brus från komponenter i elnätet. Detta gör att kommunikationen ibland måste gå via radio till routrar i vissa nätstationer innan den kan gå via PLC ut till kund.

Mactor, mätsystemet baserat på analog radio, är en lösning liknande LoRa då det rör sig om radio över långa avstånd. Ca 4500 kunders mätdata samlas idag in via Mactor och teoretiskt sett skulle samtliga mätare kunna kommunicera mätvärden via nätet, om det inte rör sig om mer än en sändning per dag och mätare. Ett fullskaligt Mactor-nät utvärderades för Sundsvall elnät, men valdes bort då

Sida 5 av 57

Kommunikationsteknik och elnät: möjligheter med LoRa-teknik och smarta elnät
Amanda Bränström

fördröjningen i nätverket verkade bli för hög. Dessutom är kommunikationen för smalbandig och går inte att kryptera. Idag är det ibland problem gällande mätinsamling, 5-100 mätare per månad får idag extraläsas manuellt och varje vecka måste ca 1 router i någon nätstation startas om manuellt. Om mätvärdet inte kommer fram görs manuell re-routing som tar tid. Mactormätarna måste dessutom konfigureras manuellt för att veta var datan ska sändas. Mactormätarna använder ett P2P-radionätverk.

På grund av nya direktiv och lagkrav har nya mät- och driftsystem upphandlats som ska ersätta Addax och Mactor. Nya elmätare kommer börja installeras hösten 2019 (Söderberg, 2018). Den mätare som vann upphandlingen genom samarbetsorganisationen Elinorr kommer från Aidon. Data som kommer samlas in är:

1. Mätvärden, från både effekt- och schablonkunder, samt elproducenter, data kan skickas över med olika intervall, t.ex. var 15:e minut eller en gång per dag (4-kvadrantmätning görs för elproducenter)
2. Larm från mätare gällande spänningsvariationer och strömavbrott, vilka pushas igenom direkt
3. Övertoner i nätet jämfört med nominell nivå (THD 8%)
4. Eventuellt nätets frekvens
5. First och last gasp – möjlighet att veta mer om var och när avbrott sker
6. Avbrottstider

När insamlingen av data blir mer frekvent höjs kravet på kvalitet och tidssynkronisering för att kunna använda datan för tillförlitlig analys. Analys av exempelvis nätförluster kan påverkas kraftigt av fel i tidssynkronisering. Dessutom rekommenderas en upplösning på minst två decimaler per kWh, speciellt för kunder med låg förbrukning (Hagman & Lindskog, 2017).

Mer data samlas in för att försöka göra prognoser för hantering av elnätet, samt att veta hur kommande implementering av solceller kommer påverka elnätet, de nya mätarna är alltså ”smarta”. Ca 200 Aidon-mätare kommer testas i Granloholm. Kommunikationssättet är RF-mesh och en bandbredd på 150 kbps till router är ett krav från leverantören för att kunna fjärrupdatera mätarna. Med ett meshat RF-nät, såsom använt av Aidon, kommer re-routing lösas automatiskt till skillnad från Mactor-mätarna. Routerar kommer dessutom kunna startas om centralt. Förutom krav på ökad datainsamling ska mätarna ha en utgång för att kunden ska ha möjlighet att få tillgång till sin mätdata direkt från mätaren.

Förutom data som skickas via Addax/PLC är det idag endast data gällande elkvalitet som samlas in i nätstationerna. Detta görs av Metrum-elkvalitetsinstrument Metrum SC och används för att göra elkvalitetsanalyser och beräkna energiförluster. Dagligen pushas en statuscheck igenom till drift. Indikerar denna några problem, hämtas datan från instrumentet manuellt av en tekniker på plats. Även energivärden i nätstationen (4-kvadrantmätning av aktiv och reaktiv effekt möjlig) mäts via Metrum. Om ett jordfel skett och gått genom en nätstation, indikeras detta i driftcentralen. Snart kommer indikationen vara inbäddad i driftcentralens GIS-system (skickas från en övervakningsenhet för jordfel/överström i nätstationen). Att ha elkvalitetsmätning i nätstationerna anses bättre än att använda vanliga elmätare i nätstationer, då utökade analyser kan möjliggöras (Hagman & Lindskog, 2017).

I projektet ”Mät/driftsystem 2018-2024” är ett av målen att bygga kommunikation till samtliga nätstationer, av vilka 510 har 130 fiber fysiskt väldigt nära. Detta ska bidra till god hantering av exempelvis småskaliga energiproducenter, energilager, realtidsstyrning samt larmhantering från kunder

och på så sätt bygga framtidens smarta elnät. I en övergångsperiod kommer SIM-kort från Telia användas, i kombination med privata nätverk. Ännu säkrare uppkoppling blir det då ServaNets fibernät kan användas, men det är också en kostnadsfråga om hur mycket det är värt att gräva fiber till nätstationer istället för att använda en roaminglösning via ett privat 4G-nät.

Från varje fiber-/4G-ansluten nätstation är det sedan max 600 m till samtliga kunder, vilket ger stora möjligheter för datainsamling både för ServaNet, genom LoRa, och elnätet. En router/switch kommer finnas i varje nätstation utrustad med fem portar för:

1. Mätning av elförbrukning
2. Elkvalitetsmätning
3. ServaNet (LoRa-gateway)
4. Nätstationsövervakning och styrning av brytare
5. Annan mätning, exempelvis SEAB fjärrvärme

Enligt Göran Hamlund på Elinorr är mätvärdena den viktigaste resursen ett elnätsföretag har att tillgå för framtiden, eftersom det är data som till exempel visar kundbeteenden. Vem som har tillgång till den datan är därför viktigt att tänka på. Det kan till exempel röra sig om leverantörer av smarta energitjänster och hur kundens data kommer dem tillhanda. I nuläget får inte elnätsbolag sälja mätvärdesdata, men i en framtid där till exempel samtycke från slutkund kan fås finns möjlighet att sälja eller i vart fall utnyttja kunddata. Rekommendationer finns att kunden även i framtiden ska äga sin data (Forum för Smarta Elnät, 2017). Vad som är rätt väg att gå strategiskt återstår att se. Klart är dock att flera energibolag redan idag erbjuder tilläggstjänster såsom tjänster för efterfrågeflexibilitet, så mätvärden rör sig redan idag mellan flera olika aktörer och i flera olika kanaler.

Sedan 2006 är mät och drift sammanslaget på Sundsvall elnät och samkörningen mellan de två delarna gör att de kan samarbeta och sträva mot att använda samma teknik. Kraven på tekniken kan dock skilja sig åt – att samla in mätvärden är inte samma sak som att styra nätet med automatik.

Att styra nätet baseras på att data gällande nätets tillstånd kontinuerligt samlas in och analyseras. För att göra styrningen automatiserad krävs att detta måste gå snabbt. Dessutom måste data som samlas in vara tillförlitlig. Data för automation består i hög grad av elkvalitetsmätning i form av effekt, ström, spänning, övertoner, transienter och flicker och görs idag genom Metrum. Även Aidon-mätarna har till stor del denna mätmöjlighet, men kommer endast fungera som ett komplement då Metrums mätning uppfyller strängare krav (IEC 61000-4-30, klass A). När switchar/routrar installerats i nätstationerna kommer elkvalitetsdata och larm gå via denna och ServaNets fiber med hög hastighet och blir tillgänglig för kontinuerlig analys. Elkvalitetsmätning är vital data för att ha ett robust elnät rustat för energiomställning i form av högre andel intermittent solcellsproduktion och ändrade förbrukningsmönster.

Att anpassa systemet för de faktiska förutsättningar som finns i närområdet är viktigt för att skapa robusthet. För Sundsvall elnät handlar det just nu mycket om ökad installerad solcellsproduktion. Exempel på kommande installationer är en planerad solcellspark i Birsta på 8 MW, samt en solcellspark ägd av HSB på 1 MW i Bosvedjan. En ökad andel intermittent elgenerering kommer i sin tur mest troligt leda till att elnätsbolagen får utmaningar med att distribuera el med bra elkvalitet.

Ett annat exempel på robusthet är vad som sker vid en stor störning. UPS-system bör finnas för kritisk samhällsinfrastruktur. I och med att allt fler funktioner i samhället är beroende av trygg elförsörjning är detta viktigt. I framtiden kommer alla stationer i Sundsvall elnät ha UPS-system med back-up för 3 timmar. Detta är också viktigt att för kommunikationsinfrastrukturen säkerställa att det finns UPS-system i alla förbindelsepunkter, där realtids viktig data skickas.

För att säkerställa robusthet måste kommunikationssystem, särskilt för automation, vara tillförlitlig vad det gäller snabbhet och säkerställande att rätt information kommer fram. Ett exempel är sektionering och omkoppling i elnäten; radiosystem för att göra detta har funnits sedan länge, men problemet är snabbheten. I och med att radiosystem används i denna tillämpning, får slutkunden ett strömavbrott på några minuter innan omkopplingen är gjord och felet är åtgärdat. Därför används inte denna styrteknik idag. Målet är en snabb omkoppling i millisekunds-spektrat, men för detta krävs fiberuppkoppling. Görs omkopplingar exempelvis i tidsspannet några sekunder, kan komponenter i systemet istället skadas. Innan kommunikation kan ske med tillräckligt snabb hastighet, kommer inte nätet kunna automatiseras fullt ut.

Vad händer i elnätsbranschen?

Elinorr samlar flera energi- och elnätsbolag i mellersta Sverige. Upplägget med att ha separata bolag för elnät, elhandel och fibernät på det sätt som i Sundsvall är ovanligt inom sektorn. Det är en styrka att inte agera som koncern då elnäts- och energibolag lyder under olika regelverk. Trenden inom sektorn är att gränserna mellan, oftast, koncernbolagen suddas ut och att ”stuprörsmentalitet” elimineras. Ett exempel är att samordna kundtjänst och på så vis kunna samla kundnära tjänster och erbjuda dessa till kunder. En uppfattning finns att detta optimerar verksamheten. Detta tillvägagångssätt är ett gränsland för ett kommunbolags verksamhet; bredband och elnät är ”lätta” tjänster att kombinera, frågan är var gränsen går för erbjudande av andra tjänster (Göran Hamlund, Elinorr).

I och med energiomställningen sker förändring i produktion och distribution av el. Här har EU stort inflytande, vilket får till följd att Sverige och Sundsvall elnät påverkas i hög grad av beslut fattade högre upp. Trots att Sverige har ett välfungerande elförsörjningssystem kan nya regelverk uppifrån med syftet att strama åt mindre bra system inom unionen påverka även här och på sätt som inte är optimalt. För EU är det viktigaste att elkunden ska ha insyn i vad som sker. Det är exempelvis detta som gjort att samtliga elmätare inom Sundsvall elnät ska bytas ut. I och med att Elinorr samlar flera aktörer kan styrka uppnås i antal, inte minst för att få en röst även i EU-sammanhang. Elinorrs område täcker i nuläget in cirka 300 000 kunder, vilket gör Elinorr till den fjärde största branschaktören i Sverige. Även fibernätsbolagen har dialog via Elinorr, då det inte är ovanligt att elnät och fibernät kombineras på något sätt. Standardisering inför framtiden är en viktig komponent i Elinorrs arbete just nu. Det framhålls som viktigt att inte alla olika aktörer sitter med olika tjänster, plattformar och lösningar. Sundsvall elnät är själv en liten aktör, men kan likväl använda sin röst för att påverka utvecklingen inom fler bolag genom Elinorr. Finns det intressanta gemensamma tillämpningsområden för elnät och fibernät finns det därför fler intressenter som kan nås via detta forum. I och med att ServaNets upptagningsområde till stor del sammanfaller med Elinorrs aktörer bör detta utnyttjas (Göran Hamlund, Elinorr).

Vad det gäller smarta elnät visade en rapport sammanställd av Elinorr att tydliga kostnadsbesparingar kan göras med ny design av distributionsnät. Med installation av motordrivna fränkskylare och felindikatorer räknas det i exemplet med en besparing i avbrottstid från 2 timmar till 5 sekunder och ca

83 % i kostnad för avbrott i tätort (Lundqvist, Hjelm, & Köbi, 2019). Vidare tyder mycket på att speciellt flexibilitetstjänster och aggregators roll i elsystemet kommer utredas mer under nästa nätregleringsperiod 2020-2023. Redan från 2019 kan dock elnätsföretag testa ändrade tariffer baserat på att främja efterfrågefleksibilitet (Energimarknadsinspektionen, 2019). Det finns också förslag som ämnar främja investering i ny teknik för uppgradering av elnät (Forum för Smarta Elnät, 2017), vilket kan behövas; vid en undersökning gjord av Power Circle uppgav inget av de 34 tillfrågade aktörerna att nätregleringen främjade satsningar på smarta elnät. 19 svarade istället att den motverkade satsningar. Ett förslag är till exempel att följa den finska modellen att införa ”innovationsincitament” för att elnätsbolagen ska investera i forskning och utveckling (Wolf & Andersson, 2018).

I USA har man under lång tid gjort stora investeringar för att göra elnät ”smartare”. Detta drivs i hög grad av ökad solcellsimpaktering. Några intressanta pågående projekt är:

- Projektet SIMPLE (Sensors with Intelligent Measurement Platform & Low-Cost Equipment) har som mål att utveckla förbättrade spännings-/strömsensorer jämfört med traditionella spännings- och strömtransformatorer, samt kombinera dessa ”smarta” sensorer med ett öppet analys- och kommunikationssystem för att optimera dataströmmar (NETL)
- Projektet SENSE (Sensing Electrical Networks Securely and Economically) syftar till att utveckla och demonstrera ett billigt och säkert sensornätverk för tillgångar såsom transformatorer, fränkskylare, kondensatorer och säkringar. Sensorerna kommer vara 3D-printade och modulbaserade, samt använda sig av artificiell intelligens och självlärande. Även affärsmodeller för sensornätverk av denna typ ska utvärderas (NETL)
- Projektet TRANSENSOR (Transformer Real-time Assessment Intelligent System with Embedded Network of Sensors and Optical Readout) syftar till att utveckla och demonstrera en lösning för övervakning av transformatorer baserad på optisk ”smart” övervakning. Fiberoptiska sensorer ska kombineras med algoritmer för att möjliggöra preventivt underhåll (NETL)

Smart hantering av energi är enligt (Watts, 2017) beroende av att IoT-lösningar används och dessa lösningar bör vara M2M-lösningar för att vara kostnadseffektiva. Mycket data från elnät samlas in redan idag, men det finns gap mellan teknologi och verklighet, där analoga problem ska adresseras digitalt. Utmaningen ligger i att skapa värde av datan (Obodovski, 2017). En viktig aspekt är att IT och drift måste kunna kommunicera och dela data för att den ökande datamängden ska bli utnyttjad och hanterad (Gerbrandt, 2018). Att överbrygga gapet handlar om att hitta smarta sätt att styra och hantera elnätet, baserat på data som samlas in. På så sätt kan elnätet bli mer dynamiskt. Det finns alltså en stark koppling mellan IoT och energisektorn (Bibri, 2018) och detta samspel kan beskrivas som smarta elnät.

Smarta elnät

En entydig definition av vad ett smart elnät är finns inte, men ur svenskt perspektiv brukar definitionen innefatta utnyttjande av kommunikations- och informationsteknologi för förbättrad styrning av nätet, energilager samt aktiv kundmedverkan främst i form av efterfrågefleksibilitet (Energimyndigheten, 2017). Uppbyggnaden av smarta elnät anses även nödvändigt för att uppnå nationella mål om ett helt förnybart energisystem (Hagman & Lindskog, 2017). Utgångspunkten här kan vidare tas i elnätsbolagens uppgift; att leverera el av god kvalitet till slutkunden. Detta uppdrag problematiseras nu av att flödet går både ned- och uppströms i nätet. Vid exempelvis solcellsetablering på privatkundssidan går eventuellt överskott in på lokalnätet, vilket här är Sundsvall elnät. Hur garanteras god kvalitet i nätet om kontroll över produktionen är obefintlig? Den generella

Sida 9 av 57

Kommunikationsteknik och elnät: möjligheter med LoRa-teknik och smarta elnät
Amanda Bränström

uppfattningen är att lösningen är smarta elnät, där mätning på många ställen och automatisering ger flexibiliteten och snabbheten som krävs för de nya flöden som uppstår till följd av energiomställningen.

De första initiativen till smarta elnät togs under 00-talet och motiverades då av applikationer såsom:

- Fjärravläsning av elkonsument
- Automation av distributionsnätverk
- Efterfrågekontroll
- Anpassning till mer distribuerad generering av förnybar el, genom automatisering

Från dessa punkter utfaller applikationer såsom:

- Avancerad MätInfrastruktur (AMI, ”smart mätning”)
 - Från detta följer efterfrågefleksibilitet (DR, Demand Response)
- Distribuerat Managementsystem (DMS) (Gungor, o.a., 2013)
- Distribuerad Automation (DA)
- Avancerad Distribuerad Automation (ADA)
- Automation av gatlyktor
- Hantering av tillgångar i systemet

Allt ovan från (Filho, Filho, & Moreli, 2017). Det är inte alltid enkelt att skilja på vilka applikationer som faller under vilken kategori ovan, då mycket hänger ihop.

Distributionssegmentet är vidare den del i elsystemet som kan behöva ändra sina processer mest för att realisera smarta elnät. Istället för en statisk situation kommer datahantering för att vinna operationella fördelar och förbättra tjänstekvaliteten, samt erbjuda nya tjänster och funktioner, öka, samtidigt som den ursprungliga verksamheten fortgår. Det smarta elnätet representerar här detta nya arbetssätt. Smarta elnätet ökar värdet i hela elnätsindustrin, men det är på distributionsnivå som det appliceras mest intensivt (Filho, Filho, & Moreli, 2017). Det smarta elnätet är fullt av sensorer (Lundqvist, Hjelm, & Köbi, 2019). Baserat på vilka behov som efterfrågas kan exempel på intressanta sensorapplikationer vara att mäta:

- Degradering av transformatorolja
- Impedans i transformatorlindningar
- Isoleringsdegradering och läckström
- Brytarpålitlighet
- Fuktighet i switchgear
- Jordfelsdetektion

(Allt ovan från (Advanced Grid Research, 2018)).

Att ha ett smart nät kräver att kommunikation och överföring av data kan ske snabbt och stabilt. Här är fibernätet en viktig komponent, inte minst för framtiden. Att Sundsvall elnät och ServaNet är så tätt länkade är här en styrka. Steg ett är att ansluta nätstationer med fiber, samt se till att data som samlas in kan hanteras och lagras på ett säkert och smidigt sätt. Här finns både möjligheter och utmaningar i form av att kompetens som behövs är IT, el och fiber på en och samma gång. Att ServaNet och Elnät redan delar mycket kompetens och fortsätter arbetet att integrera och samköra processer är här en styrka. Fiberanslutning av nätstationerna kommer göra att processer i och vid själva nätstationerna kan

påverkas och att insamling av data i nätstationernas närhet via exempelvis LoRa-gateways och -sensorer kan göras. Fiberanslutningen banar vägen för ännu noggrannare analyser och kan bygga vidare på de fördelar utökad mätinfrastruktur enligt (Hagman & Lindskog, 2017) ger; bättre uppfattning om elnättsdimensionering, analys av nätförluster, förståelse för förändrat effektbehov samt förbättrade kundrelationer.

Den ökande mängden data kommer troligtvis kräva någon form av Big Data-verktyg och behöver visualiseras för att verkligen förstås. Val av datahantering i form av algoritmer bör göras med utgångspunkt i hur lätt metoden är att förstå och använda, hur effektivt den löser problemet samt faktiskt kostnad för att använda metoden. De vanligaste metoderna för att utföra deskriptiv, prediktiv eller preskriptiv analys är att använda artificiell intelligens, ML, statistiska metoder eller mönsterigenkänning. Deskriptiv analys kan göras för att exempelvis upptäcka energistölder och prediktiv analys kan göras för att prognostisera baserat på historisk data. Slutligen kan preskriptiv analys göras för att både få förslag på vad som bör göras utifrån en existerande situation, samt vad som mest troligt kommer ske om rekommendationen följs. Hur mycket data som kommer samlas in beror dock på vilka aktiviteter och processer som anses kunna förbättras med hjälp av ökad datainsamling, samt hur och hur ofta denna datainsamling ska ske (Trindade, Ochoa, & Freitas, 2016). Detta påverkar i hög grad vilken typ av kommunikationsstruktur som krävs.

Enligt (Filho, Filho, & Moreli, 2017) kan generell kommunikationsinfrastruktur för det smarta nätet delas upp i:

- Outdoor RF Concentrator Devices
 - Koncentratorer installerade på telekommaster, byggnader etc. (här exempelvis i nätstationer) ansvariga för kommunikation med ändnoder i respektive täckningsområde
- Network Interface Cards (NICs)
 - Gränssnitt i ändnoder mellan nodens applikationslager och kommunikation med närmaste RF koncentrator

För att möta krav på hög nätverkstillgänglighet, ofta 99.9 %, samt säkerhetskrav, är det en bra idé att infrastrukturen är elnätets egen. De huvudsakliga sätten för ett elnätsbolag att konstruera privata kommunikationsnätverk för smarta nät är:

- Backbone layer
 - Optiska system (fiber) och/eller Point-to-Point-radio
- Backhaul layer
 - WiMAX, LTE och Point-to-Multipoint-radio
- Access layer, FAN/NAN (Field Area Network/Neighborhood Area Network)
 - RF mesh, LoRaWAN

Tabell 1: Typiska kommunikationskrav för smarta elnät enligt (Filho, Filho, & Moreli, 2017).

	AMI/ DR	DA	ADA	Hantera tillgångar/ gatlyktsautomation
Frekvensområde (FAN/NAN), GHz	≤ 2.4	≤ 2.4	≤ 2.4	≤ 2.4
Överföringstyp	Tvåväg	Tvåväg	Tvåväg	Tvåväg
Maximal datahastighet per nod, kbps	10	10	100	"Best effort"
Genomsnittlig fördröjning end-to-end, s	≤ 2	< 1	$< 0,16$	"Best effort"
Mobila noder krav	Nej	Nej	Nej	Ja, för hantering av tillgångar
Geolokalisering önskat	Ja	Ja	Ja	Ja, speciellt nödvändigt för hantering av tillgångar

Kommentarer gällande de olika kraven är följande:

- Frekvensband bör av kostnadsskäl inte vara licensierat. Interferens hanteras med hjälp av signalkryptering och frekvensbyten. Krav gällande både lång räckvidd med liten energiåtgång samt känslighet för störningar mellan sändare och mottagare måste mötas.
- Överföringstypen är obligatoriskt tvåvägskommunikation, då interaktion mellan kontrollsystem och ändnoder krävs.
- Maximal datahastighet per nod beror på frekvensband, signalstyrka (energi), hinder för signalpropagering, trafikmängden som sänds i nätverket vid en given tid samt fördröjning. En högre hastighet gör att mer data kan skickas, vilket gör att mer detaljerad information kan skickas och "mer" kan göras med nätet.
- Genomsnittlig fördröjning end-to-end är mest kritisk gällande DA och ADA, eftersom realtidsdata krävs. Fördröjning blir också viktigt vid "polling", d.v.s. när ett stort antal noder tillfrågas samtidigt, exempelvis vid AMI och DR. Polling-cykeln måste klaras av inom en viss tid och på ett fördefinierat sätt.
- Mobila ändnoder är främst viktigt för röst- och datakommunikation vid underhåll, men kan också vara viktigt vid lokalisering och övervakning av tillgångar.
- Lokalisering är viktigt för att realisera DA/ADA och övervakning av tillgångar. Ett georefererat system behövs då el- och gatlyktsystem är utbredda. En AMI-plattform i kombination med t.ex. GIS skapar ett sensornätverk som kan indikera och placera fel.

(Allt ovan (Filho, Filho, & Moreli, 2017))

Att leverera god elkvalitet innebär att systemet måste kunna styras. Vid efterfrågefleksibilitet, d.v.s. att laster kan styras om för att balansera tillgång och efterfrågan, spelar kunderna en viktig roll. Hur inblandade kunderna ska vara i att själva styra sin last diskuteras också, med olika utfall. I summeringen av slutsatser från projektet Smart Grid Gotland framhålls exempelvis att hushåll kan sänka eller flytta cirka 10 % av sin last utan påverkan på komfort, men för detta krävs automatisk laststyrning som kunden har begränsad möjlighet att påverka. Från projektet drogs nämligen slutsatsen att aktiva kunder

har lyckats sämre med att minska sin last än kunder som inte kunde påverka styrsystemet (Energimyndigheten, 2017).

Från samma rapport finns redogörelse av att vid test av optiska ljusbågsvakter, mätsensorer samt fjärrmanövrering i mottagningsstationer visades ökad effektivitet, reducerade kostnader och en mindre miljöpåverkan av arbetet. Digitalisering gör att mer data kan hanteras utan att för den skull öka antalet komponenter i stationen. Det är viktigt att adressera kommunikationsmedia, gränssnitt och protokoll i ett tidigt skede. I projektet moderniseras en 70/10 kV-station, med fokus på transformatorövervakning, tillståndsbaserat underhåll av brytare, selektiv jordfelsdetektering, ljusbågsvakt med reläskydd, sensorbaserad mätning, fjärrmanövrering samt summering av aktiv och reaktiv effekt. Summering av testernas utfall (Energimyndigheten, 2017):

- Transformatorövervakning
 - ABB:s produkt CoreTEC användes, med syftet att visualisera hot spots antingen i kontrollrum eller på plats i stationen.
 - Mätning av temperaturen för transformatorns topp- respektive bottenolja, ström och spänning på hög- och lågsidan samt omkringliggande temperatur genomfördes
 - Livslängden för transformatorn kunde förlängas genom att få en korrekt bild av transformatorns tillstånd
 - Underhåll kunde ske mer träffsäkert
- Tillståndsbaserat underhåll av brytare
 - Underhållet anpassas till det faktiska tillståndet/slitaget för komponenten istället för rondering
 - Underhållskostnader minskar
 - Nätägaren får bättre överblick över sina tillgångar
 - Högre leveranskvalitet då färre planerade och oplanerade avbrott måste göras
- Selektiv jordfelsdetektering
 - I projektet görs jordfelsdetektering baserat på övertonsmätning, felstället drar till sig övertoner och fungera som ett övertonsfiler
 - I projektet slog aldrig skyddet ifrån, då övertonhalten aldrig översteg skyddets lägsta inställning, känslighet är därför viktigt att dimensionera till varje specifikt nät
- Ljusbågsskydd
 - Orsakar långa produktionsstopp och skador på anläggningen
 - Traditionella överströmsskydd bryter kretsen baserat på andra typer av fel, vilket kan göra att en ljusbåge sker innan kretsen bryts
 - Optiska ljusbågsvakter bryter kretsen vid indikation på ljusbåge, i test löste detta skydd ut 12 ms snabbare än traditionella skydd
 - I projektet installerades en ljusbågsvakt i varje reläskydd, istället för en central komponent per station
 - Färre komponenter i stationen och minskat underhåll
- Sensorer
 - Fördelaktigt gentemot ström- och spänningstransformatörer, blir ej mättade och är ej i kontakt med öppna strömkretsar, samt mindre i storlek
 - I projektet var mellanspänningsställverket ABB:s elektroniska UnigearDigital där ström- och spänningsvärden samplas med sensorer
 - Känslighet hos sensorer kan hanteras med hjälp av tidsfördröjningar

- Fjärrmanövrering
 - En databuss istället för en tråd per signal
 - Flexibilitet att lägga till, ta bort och ändra signaler
 - Besparingar gällande kabeldragning, material samt miljöpåverkan
- Summering av aktiv och reaktiv effekt
 - Avvikelse från summa =0 ger indikation på att stationen behöver uppmärksamhet
 - Installeras med befintlig utrustning
 - Under test kunde avvikelser i summeringen spåras till händelser såsom när ett fack togs ur drift
 - Anses kostnadseffektiv och tillämpbar då mätningen även indikerade för fel som inte var direkt kopplade till funktionen

Zonbrytare framhålls som ett kostnadseffektivt alternativ till nätförstärkning i form av att lägga kabel eller isolera luftledning. Sektionering av elnätet åstadkoms genom att dela in nätet i zoner med hjälp av reläskydd i stationer och zonbrytare. Dessa brytare är brytare utrustade med reläskydd som bryter för fel som kommer nedströms, på så sätt isoleras fel i en viss zon. Genom bakmatning kan ihopkopplingspunkter som normalt sett inte används användas för att driftsätta den bortkopplade zonen. Brytarna placeras med avseende på kundtäthet, avstånd till nätstationer, terräng etc. En stor del av Sundsvall elnät består av kabel, men sektionering bör ändå vara av intresse för att förbättra felavhjälpningsarbete.

Intressanta aspekter gällande drift av Sundsvall elnät och hur data samlas in är (jämför studien från Smart Grid Gotland ovan):

Tabell 2: Applikationer i projektet Smart Grid Gotland, samt var Sundsvall elnät befinner sig idag och siktar mot i framtiden gällande applikationerna (Anders Söderberg, Sundsvall elnät).

Applikation	Sundsvall elnät idag	Sundsvall elnät i framtiden
Transformatorövervakning	Stora transformatorer har realtidsövervakning gällande temperatur, lindningar, oljenivå och –läckage samt gasindikering (I/0-sensorer)	Även små transformatorer ska övervakas på liknande sätt i framtiden, larmsensorer finns redan installerade men kommunikation med tillräcklig bandbredd saknas idag
Tillståndsbaserat underhåll av brytare	Brytarstatistik samlas in (antal manövrar)	Skulle mer information gällande detta samlas in skulle givare kunna skicka data via RTU i stationen
Skyddsfunktioner	Mottagningsstationer: Reläskydd löser ut baserat på jordfel, överström, differentialvakt, gasvakt, strömtransienter och nollpunktspänning Protrol i nätstationer indikerar jordfelets ursprung i nätet	Kommande mätarna från Aidon kommer att mäta och larma för elkvalitet utanför normerna för spänning, övertoner och frekvens I fiberanslutna nätstationer kommer till största del säkringar och i förlängningen Protrol reläskydd eller differentialskydd användas
Ljusbågsskydd	Mottagningsstationer som är uppkopplade med fiber har optiska ljusbågsvakter för överström/kortslutning	Lätt att koppla in larm och styrning samt skyddsfunktioner i nätstationer som har bra kommunikation i form av fiber eller 4G
Sensorer	Larmsensorer för transformatorunderhåll, brytar- och fränkskiljarlägen, dörrar för in- och utpassering, samt temperatur	På äldre anläggningar måste strömtransformatorer bytas ut då mätområdet inte är godkänt enligt dagens normer

	Sensorer är alltid känsliga för yttre påverkan, larm eller gränsvärden bör användas för att se till att yttre magnetfält inte påverkar sensorer	Sensorer är ett brett begrepp, vad ska mätas och hur?
Fjärrmanövrering	Brytare i mottagningsstationer är fjärrstyrda Lindningskopplare i mottagarstationernas transformatorer är fjärrstyrda MicroSCADA används i driftcentralen, RTU och stationsdatorer av olika märken ute i mottagarstationerna	Fjärrstyrning och automation är ambitionen, men måste vara tillförlitligt. Brytare+4G-/fiberuppkoppling nödvändigt Med AMI kan laststyrning göras på en mer detaljerad nivå än på 11 kV, varje mätare blir en brytare
Summering av aktiv och reaktiv effekt	Görs idag i Metrum/nätstations- och mottagningsområde	Kommer även göras via Aidon-mätare för att mäta både in- och uttag av energi
Övrig övervakning	Elkvalitetsmätning genom Metrum (klass A-standard) mäter effekt, ström, spänning, övertoner, transienter och flicker	Elkvalitetsmätning kommer ske genom Metrum samt Aidon-mätare för att göra korrekt analys Larm om för stora säkringar och därmed för fel tariff hos kund

För att titta på ytterligare en studie gjorde SvK i samarbete med RISE ett forskningsprojekt för att se hur förvaltningsstrategin kan gå från att vara kalenderstyrd till preventiv. För att uppnå detta krävs mer information över tid om komponenter i elnätet (här stamnätet) för att på så sätt uppskatta deras tillstånd. Försök gjordes med detektering av varmgång samt gångtid för fränksiljare, reaktionstid och eventuella nytändningar och fel för effektbrytare, algoritmutveckling för detektering av kondensatorhaverier i kondensatorspänningstransformatorer, mätning av lindningstemperaturer och toppoljetemperatur för krafttransformatorer samt utveckling av tillförlitlighetsindex i form av testalgoritmer för generering av olika KPI:er för komponenter i stamnätet. Den huvudsakliga insamlingen har skett via PLC. Projektet var lyckat då alla undersökta metoderna för informationsinsamling var lyckade och resulterat i att fel hittats preventivt. Dessutom bidrog projektet till att kunna göra kommande installationer mer kostnadseffektivt (Lindskog, 2017).

Enligt Anders Lindskog på RISE anses dock de ekonomiska möjligheterna till att göra liknande installationer på lokalnätsnivå vara dåliga. Det finns dock stora möjligheter att använda till exempel mätvärden från de nya, smarta elmätarna för bättre analys av elnätet. Viktigt är att säkerställa god mätkvalitet samt önskad tidssynkronisering. Mätdata från nya elmätare kombinerat med energivärden

från nätstationer kan exempelvis användas för att upptäcka icke-tekniska förluster, såsom energistölder och omätt förbrukning, samt bädla för att kunna förstå och i längden påverka enskilda kunders förbrukningsmönster. En längre utläggning och förslag på beräkningar om detta görs i (Persson, Sandels, & Nilsson, 2018). En intressant aspekt som nämns i rapporten är att de flesta strömstölder, till skillnad från vad som förväntades, visade sig vara återkommande och inte slumpmässiga. Detta bör förenkla modellbygget för att upptäcka stölder.

Enligt Lindskog är det i längden bra att behålla och räkna på värden in-house, exempelvis nämns att Göteborg Energi utvecklat enkla och effektiva algoritmer. Det framhålls även att det finns många olika Lösningssvarianter för mät och drift av lokalnät (Anders Lindskog, RISE).

Det smarta elnätet kräver som nämnt god kommunikation. I många fall verkar fiber vara den bästa lösningen, men beroende på applikation kan flera kommunikationslösningar övervägas, varav LoRa är en.

LoRa och LoRaWAN

LoRa är en patenterad trådlös, digital dataöverföringsteknik som används för att bygga trådlösa radionät på licensfria frekvenser över större ytor. LoRa betecknar själva modulationstekniken, vilken beskrivs som CSS (Chirp Spread Spectrum). Denna teknik ger en bra mottagarkänslighet och gör att även svaga signaler kan uppfattas i nätverket (Induo, u.d.). CSS gör att olika datahastigheter kan användas för olika frekvensområden, för LoRa finns det sex sådana som kallas SF (Spreading Factor). Vilken SF som används är en avvägning mellan throughput och sändningstid. Ju högre SF, desto längre sändningstid. Högre SF används vanligen i utkanten av ett nätverk (Aras, Ramachandran, Lawrence, & Hughes, 2017).

LoRa använder fria frekvenser, varav 868 MHz är den aktuella i Europa. Fria frekvenser innebär att vem som helst kan bygga upp ett nätverk licensfritt. Det fria frekvensbandet innebär även att varje ändnod måste följa en duty cycle, vilket preciserar hur lång tid en nod får sända (Aras, Ramachandran, Lawrence, & Hughes, 2017). Tre olika bandbredder kan användas; 125, 250 eller 500 kHz, vilket innebär att tekniken inte lämpar sig för exempelvis strömmande kommunikation, utan snarare för IoT och sensordata (Induo, u.d.).

LoRaWAN är ett nätverksprotokoll för nätverk med låg effekt och stor täckning, d.v.s. LPWAN (Low Power Wide Area Network). LoRaWAN är ett nätverksprotokoll mellan gateways och noder och fungerar som ett routingprotokoll tillhandahållt av LoRa Alliance, en sammanslutning av företag och intressenter för LoRa (Induo, u.d.). LoRaWAN definierar alltså själva nätverksstrukturen ovanpå den fysiska LoRa-strukturen. LoRaWAN kan även använda FSK, Frequency Shift Keying, i det fysiska lagret istället för LoRa (Navarro-Ortiz, Sendra, Ameigeiras, & Lopez-Soler, 2018). LoRaWAN använder stjärntopologi (Aras, Ramachandran, Lawrence, & Hughes, 2017).

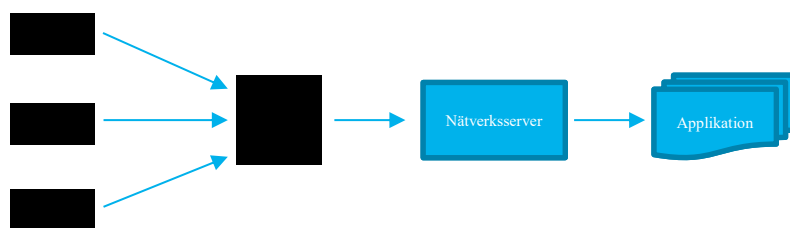


Bild 1: Förenklad principskiss av LoRa-nätverk.

LoRa-teknologin är idag implementerad i form av 97 miljoner komponenter över hela världen och verkar i tillämpningsområden där varken mobil- eller Wi-Fi-kommunikation är bäst lämpade, alltså där låg bandbredd kombineras med lång räckvidd (Semtech, u.d.). Den stora fördelen är låg energiförbrukning, vilket gör att batteridrivna noder/sensorer kan leva flera år utan underhåll.

LoRa är en variant av LPWAN. I rapporten ”Connectivity technologies for IoT” (2016) görs en jämförelse bland olika LPWAN och mobila kommunikationslösningar för IoT. LPWAN har låg energikonsumtion och lång räckvidd, medan andra teknologier kan ha kortare räckvidd och/eller ha hög energikonsumtion. Viktiga aspekter att överväga vid val av teknologi är:

- Teknik: täckningsgrad, energieffektivitet, datahastighet m.m.
- Kommersialisering: QoS (Quality of Service), säkerhet, kostnad, skalbarhet
- Ekosystem: framtidssäkerhet samt global spridning

Olika teknologier kompletterar ofta varandra och måste ofta kombineras för att uppnå uppställda mål.

Lokalisering är en eftertraktad egenskap hos ett nätverk. I LPWAN kan triangulering ofta användas. LPWAN kan dock ha utmaningar i att hantera mobila enheter, då dataöverföring ofta inte sker lika ofta eller sömlöst som i mobila nätverk (Northstream, 2016). Nicolas Sornin, en av LoRa:s uppfinnare, anser att en bra lösning är att ett LoRa-nätverk gör en grov lokalisering med hjälp av triangulering och sedan triggat ett mer precist nätverk om det anses nödvändigt (Sornin, 2018).

Kostnaden för en IoT-komponent beror på många olika delar, såsom själva modulen, sensorer, batteri och processor. Här anses LoRa vara ett lågkostnadsalternativ, baserat på en liten initialinvestering för att åstadkomma stora nätverk. Om LPWAN adderas ovanpå ett redan existerande mobilnät, såsom exempelvis NB-IoT, anses det troligt att en kostnad tas ut för högre QoS. QoS anses vara en utmaning i olicensierade band där det finns risk för interferens. Olicensierade spektrum för även med sig utmaningar för skalbarhet, både vad det gäller antal noder per basstation/gateway samt hur ofta kommunikation mellan alla komponenter kan ske. Ett privat LoRa-nätverk kan vidare vara ett kostnadseffektivt sätt att möta specifika behov och behålla kontroll över nätverket, men svårt att skala upp och replikera på stor skala. Den öppna standard LoRa-ekosystemet vilar på skapar innovationsanda men resulterar också i ett icke-harmoniserat ekosystem av komponenter, till skillnad från exempelvis NB-IoT som implementeras standardiserat av etablerade aktörer.

LPWAN anses generellt bra för applikationer inom:

- Smarta städer
 - Kräver komponenter med lång batteritid och bra/lång täckning
 - Magnituden av data ställer krav på skalbarhet
 - LoRa anses kostnadseffektivt, men på lång sikt kan nätverken drabbas av skalbarhetsproblem då fler nätverk och uppkopplade ting ska "få plats"
- Säkerhet
 - Larm anses bra applikation för LPWAN, exempelvis har SigFox en tjänst för back up-larm om det primära nätverket slår ut
- Logistik
 - Övervakning av transporter, optimering av rutter etc.
 - LPWAN kan användas för att spåra varor av lägre värde, för varuhus- och hamnlogistiklösningar etc.
- Hantering av tillgångar
 - Om tillgångens status är känd, kan den bättre hanteras och underhållas
 - Om tillgången finns på avlägsna platser eller inomhus, samt dataöverföring sker sällan och i begränsad storlek, är LPWAN ett bra alternativ
 - LPWAN har låg kostnad, vilket gör att även tillgångar med begränsat värde kan kopplas upp
 - Viktigt att ha SLA i åtanke, detta är ofta beroende på tillgångens natur
- Smarta mätare
 - Smarta elmätare har tillgång till strömförsörjning, vilket gör batteritid i stort sett irrelevant
 - LPWAN karaktäriseras av lång batteritid och når under jord, speciellt NB-IoT, vilket gör det attraktivt för vatten- och gasmätning
- Jordbruk
 - LPWAN anses vara den bästa tekniken för applikationer inom denna sektor

En kostnad som påverkar mobilnätverk, men inte LPWAN, är att det kostar att överföra data från IoT-komponenten till molnet. Throughput för LoRa är lägre, vilket gör att energiåtgången är lägre jämfört med licensierade motparter. Meddelandena är generellt sett små, ca 100 Bytes, vilket passar de flesta IoT-applikationerna. Ingen QoS eller avsaknad av fördröjning i nätverket kan dock garanteras (Northstream, 2016).

Tre olika klasser av LoRa-komponenter (noder) definieras av LoRaWAN:

- Klass A: optimerar energiförbrukning genom att sättas i mottagarläge först efter att själv ha sänt något
- Klass B: gateway synkroniserar mottagarfönster för samtliga noder
- Klass C: noden lyssnar kontinuerligt och bör därför vara kontinuerligt strömförsörjd (av annat än ett batteri)

Endast egenskaper på klass A-nivå är obligatoriskt för en komponent (Varsier & Schwoerer, 2017). Enligt annan rapport är klass A-komponenter de enda som kommit ut på marknaden (Aras, Ramachandran, Lawrence, & Hughes, 2017). Om sensorerna ska vara konstant strömsatta (klass C) måste de uppfylla EMC-krav (Anders Söderberg, Sundsvall elnät).

LoRa har sammanfattningsvis en typisk upplänkhastighet på 25 kbps (värdet skiljer sig och anges exempelvis till 100 kbps i (Induo, u.d.) och 27 kbps (urban miljö) eller 50 kbps i (Gaber, o.a., 2018)), anses vara skalbart, ha god inomhustäckning och vara framtidssäkert. Förutsättningar för applikationer inom mobilitet, precis lokalisering, QoS och säkerhet anses dåliga. Komponenterna kostar mellan \$1-5, är billiga att koppla upp och är energisnåla (Northstream, 2016).

Tabell 3: Specifikationer för LoRa baserat på resonemang ovan.

	Upplänk	Skalbarhet	Täckning	Framtida teknik	Kostnad	Utmaningar
LoRa	25-100 kbps	Hög	Bäst utomhus, bra inomhus	Ja, beroende på applikation	Låg	QoS, SLA, säkerhet

Edge computing

En återkommande fråga inom sensorapplikationer är vilken upplösning data måste ha samt hur snabbt dataöverföring måste ske för ändamålet. Detta skiljer sig från olika applikationsområden. För att dra upp hastigheten kan s.k. edge computing användas, d.v.s. att beräkningar görs närmare datans ursprung. Ett SCADA-system kan ge en stationär bild av läget, men med sensorer och IoT implementerat i infrastrukturen kan möjligheten att bättre analysera och prognostisera elnätet fås (Gaber, o.a., 2018). En fråga att adressera är dock var i nätverket själva datahanteringen ska göras. Hastigheten och storleken på dataströmmarna går mot att bli större, vilket gör utmaningen att överföra datan till ett centralt system för beräkningar mer svårhanterlig. En lösning är att tillämpa edge computing genom att flytta ut detta så nära datakällan som möjligt för att reducera backhaul-trafik. Metoden kan göra det möjligt med stora, distribuerade, motståndskraftiga och skalbara IoT-system med datautvinning i realtid, för att omvandla rådata till kunskap. Generellt sätt handlar det om att skapa små, kraftfulla och distribuerade nätverk. SCADA-system är en typ av edge computing-system (Gaber, o.a., 2018).

Edge computing och metoder kopplade till detta har visat på fördelar såsom reducerat bandbreddsbehov och reducerade dataströmmar från nätverkets ändnoder (Gaber, o.a., 2018). Detta påverkar nätverksdesignen och vilken typ av kommunikationslösning som används; edge computing kan möjligtvis göra att mindre data behöver skickas, alternativt att data endast skickas baserat på beräkningar som redan gjorts, ungefär som ”smarta larm”. På så sätt skulle tekniker som LoRa trots sina begränsningar ändå kunna bli intressant för fler tillämpningar. Detta ligger i framtiden, men är värt att ha i åtanke. Några framtidsutsikter som pekas ut är:

- Ökande beräkningskraft vid ”the edge”: Analyser och distribuerade algoritmer kommer utvecklas för att tjäna IoT:s olika syften
- Ökad kommunikationskapacitet med 5G-teknologi: Moln- och edge computing kan användas integrerat med hjälp av ny systemarkitektur. Data och modeller kommer kunna överföras snabbt mellan moln och edge-komponenter
- Ökad batterikapacitet: Dagens energikrävande beräkningar blir mer energieffektiva med hjälp av bättre batterier i IoT-komponenter tillsammans med mer ”lättviktade metoder”

(Allt ovan (Gaber, o.a., 2018)).

LoRa och smarta elnät

Det råder delade meningar om LoRa inom applikationsområdet smarta elnät. Företagen Semtech och Lowan, som båda är medgrundare till LoRa Alliance, har samarbetat för att implementera LoRa-komponenter för ett smart elnät. Mätdata samlas in i realtid och lösningarna är kompatibla med andra LoRa-baserade lösningar för lås och larm. LoRa anses av Lowan vara en bra stomme för smart mätning (Semtech, 2018). Tester med enklare mätinsamling från elmätare har exempelvis gjorts i Tyskland och kan ge en fingervisning om nätverkskapacitet (Semtech, 2017). Dessa mätare uppfyller dock inte kraven som Sundsvall elnät hade när nya mätare skulle upphandlas (Söderberg, 2018). Aidon är dock med i en standardiseringsorganisation för mätare, DLMS, som nyligen inlett samarbete med LoRa Alliance för att främja användandet av LoRaWAN och IoT inom exempelvis elmätning (Gordon, 2019). I slutet av 2018 använde 12 % av smarta elmätare icke-cellulära LPWAN. Marknadsandelen för smart mätning antas dock växa kommande år främst på grund av att LoRaWAN passar bra för smart vatten- och gasmätning (ABI Research, 2018). Applikationer som använder LoRa-teknik för smarta elnät är i dagsläget svåra att hitta, men ett exempel som visar på att marknaden troligtvis kommer växa är att den stora aktören ABB erbjuder LoRaWAN som kommunikationsprotokoll för att underhållsövervakning av isolatorer i ställverk (surge arresters) (ABI Research, 2019). Kommande stycken redogör för LoRa:s lämplighet i elnätsapplikationer.

Som nämnt klassas LoRaWAN enligt tre klasser, med följande lämpliga applikationsområde för smarta elnät:

- Klass A: gatlyktsautomation, AMI för privatkunder samt hantering av tillgångar
- Klass B: AMI för kommersiella och industrikunder, AMI-substationer nära nätverkens utkant samt för uppgradering av smarta mätare
- Klass C: brytare/frånskiljare och stationshantering (SCADA-system)

(Ovan från (Filho, Filho, & Moreli, 2017))

Vid jämförelse (Filho, Filho, & Moreli, 2017) av LoRaWAN och RF mesh som kommunikationsteknik i det smarta elnätet framhålls även att detta är en del av den smarta staden. Enligt författarna behövs en konvergent teknologi, då den teknik som utvecklats och applicerats främst för smarta staden kanske inte gör sig bäst för det smarta nätet (Filho, Filho, & Moreli, 2017). De kommande Aidon-mätarna i Sundsvall elnät kommunicerar via RF mesh. Författarna menar vidare att RF mesh har tagit en ledande position för smarta elnäts-projekt, men inte på samma sätt för IoT-applikationer. LoRaWAN anses mest lämplig för både IoT-applikationer och smarta nät samtidigt. Ett nätverk designat för DA och AMI kommer exempelvis vara adekvat när det gäller gatlyktsautomation och hantering av tillgångar i nätet, vilket stärker ett case för konvergens till en typ av teknik för hela IoT-plattformen (Ferrari, Flammini, Rinaldi, Rizzi, & Sisinni, 2017), om även elnät räknas in i den.

RF mesh-standard anammades 2012 av Wi-SUN Alliance (Wireless Smart Utility Networks Alliance) och LoRa Alliance bildades 2015, vilket gav RF mesh ett försprång gällande smarta städer och nät, där det är en etablerad teknik. Wi-SUN har ett uttalat mål att expandera till IoT-tekniker.

RF mesh använder ett olicensierat band och erbjuder en bra kompromiss mellan överföringseffekt/signalstyrka (transmission power) och tillgänglig bandbredd. Genom meshtopologin kan räckvidden på enkelt sätt utökas och alternativa vägar skapas. Detta kan dock dra ner hastigheten. För att åtgärda detta krävs ett mer komplicerat nätverk till högre kostnad.

LoRaWAN är designad från start för urbana plattformar, bland annat smarta elnät. LoRaWAN använder stjärntopologi vilket förenklar hantering och eliminerar trafik gällande routing, samtidigt som nätverket inte kan utvidgas på samma sätt som i RF mesh. Det här är dock inte ett problem då koncentratorn (gateway) har mycket lägre pris i LoRaWAN-fallet. Därför kan nätverket utökas på jämförbart sätt genom fler gateways. Även LoRaWAN använder olicensierat band, vilket gör att samma område kan täckas som med RF mesh. Modulationstekniker såsom CDMA (Code Division Multiple Access) används för att göra nätverket ”immunt” mot interferens. LoRaWAN:s NIC:s använder väldigt lite energi och kan därmed leva länge. LoRaWAN anses ha stora fördelar gentemot RF mesh gällande datahastighet per nod, jämn fördröjning i nätverket och möjlighet att ha fler noder per gateway.

I applikationer av smarta elnät såsom AMI och DA finns specifika tekniska krav gällande kommunikationssystemet, främst gällande datahastighet och fördröjningstolerans. Från AMI kan både mätning av konsumtion göras, men även bidra med kvalitetsparametrar och tjänstens tillgänglighet via SCADA-styrssystem i nätstationer. Mätarna representerar på så sätt leveranspunkter och kan bidra med diagnostik. Även DR beror på information från AMI. När det gäller DA och ADA är tre aspekter viktiga gällande kommunikationssystem:

- Maximal tillgänglig datahastighet
- Nätverkstillgänglighet
- Liten fördröjning (speciellt viktig för ADA)

Det största frågetecknet i studien gäller LoRaWAN för DA (och ADA), där mer forskning och test anses behövas för att avgöra teknikens lämplighet (Filho, Filho, & Moreli, 2017). Studien (Krug & O'Nils, 2018) visar exempelvis på att LoRa inte lämpar sig för applikationer som kräver hög sampling rate.

Slutligen, vid jämförelse mellan LoRaWAN och RF mesh kommer studien (Filho, Filho, & Moreli, 2017) fram till följande:

- Båda teknologier uppfyller de flesta krav för kommunikation inom smart elnät
- Det finns inget som talar för att LoRaWAN inte kan användas för smart mätning, men applikationer av LoRaWAN för DA/ADA behöver utredas mer
 - Gällande nätverksfördröjning är en lösning att LoRaWAN access layer hoppas över och backhaul layer direkt ta hand om DA, alternativt att ett specifikt nätverk byggs upp för just DA
- LoRaWAN är en konvergent teknologi redo för all applikationer inom smarta staden, med låg kostnad och enkelt upplägg
- Routingprotokoll existerar inte i LoRaWAN, vilket minskar trafiken i nätverket och tar bort eventuellt onödiga/opassande egenskaper såsom att noder kommunicerar via andra noder för att komma till koncentratorn
- Mobilitet är en egenskap där LoRaWAN har övertaget, RF mesh är inte byggt för detta
- Lokalisering är en egenskap där LoRaWAN har övertaget
 - Geolokaliserade mätare kan potentiellt erbjuda sätt att implementera DA
- Båda teknologierna kan betjäna stad och landsbygd på ett bra sätt

- I ett verkligt scenario där flera olika tjänster efterfrågas, kommer flera olika teknologier i de olika lagren behövas, särskilt där det inte blir ekonomiskt försvarbart för en kommun att bygga ut egna kommunikationsnätverk
 - Vid konstruktion av en IoT-plattform kommer en mix av privata och publika nätverk användas, med internet som huvudsaklig plattform
- Enligt studien uppfyller LoRaWANs datahastighet på 50 kbps per nod krav för applikationer inom smarta elnät, men detta är också avhängigt RF-propagering och avstånd mellan nod och koncentrator
- En LoRaWAN-koncentrator är mycket billigare än en RF mesh-dito, samt kan hantera fler ändnoder, vilket ger ytterligare kostnadsfördelar

Några av slutsatserna redovisas i Tabell 4 nedan där en jämförelse av teknikerna också görs.

Tabell 4: Jämförelse RF mesh och LoRaWAN (Filho, Filho, & Moreli, 2017).

	RF mesh	LoRaWAN
Topologi	Meshtopologi	Stjärntopologi
Maximalt antal noder per gateway	10 000	15 000
Maximal datahastighet per nod	10-100 kbps	50 kbps
Genomsnittlig kostnad per nod per utomhusgateway	\$0.50	\$0.07
Genomsnittlig fördröjning	700 ms per hopp (upp till 3 hopp rekommenderat)	1 s
Mobila noder	Delvis	Ja
Geolokalisering	Nej	Ja
Mognad	Smart elnät: etablerad IoT: utvecklas	Under etablering

Den slutgiltiga rekommendationen i studien är att aktörer som inte ännu anammat en av teknologierna för smart mätning, bör överväga att inkludera LoRaWAN i sin lösning för att göra systemet skalbart och inkluderande för tjänster i nätet från olika aktörer (Filho, Filho, & Moreli, 2017). För mätning ser dock Karl-Johan Hultman, VD för Ambiductor, att den stora begränsningen för att implementera LoRaWAN-baserade elmätare är duty cycle som är på 1 % för den fria frekvensen 868 MHz. Detta innebär att sändningstiden per nod är begränsad och gör "realtidsdata" svår att uppnå. Dessutom har inte elmätare behov av lång batteritid då de är strömsatta, vilket tar bort en av LoRa:s största styrkor. Det finns flera aktörer som säljer elmätare med stöd för LoRa, inklusive Ambiductor. Det finns dock frågetecken kring om mätarna kan anses framtidssäkra. För att göra en fullskalig LoRa-implementering krävs tekniskt stöd och en helhjärtad satsning. Trots att tekniken i sig inte är otillräcklig, kan det på grund av ovanstående resonemang lämpa sig bäst som komplement till annan mätning. Ambiductor utför exempelvis undermätning med hjälp av LoRa-komponenter (Karl-Johan Hultman, Ambiductor).

I en studie framhålls LoRa som ett alternativ till kommunikationslösning för mätning, men med trade-offs gällande pålitlighet och SLA-krav. Kostnaden och täckningsgraden anses dock bra (Northstream, 2016).

I en annan studie (Varsier & Schwoerer, 2017) gjordes en simulering av ett nätverks kapacitet med applikation elmätare i urbana Paris, för att testa skalbarhet. Det innebär en simulering av en miljö med mätardensitet på cirka 18 000 mätare/km². 17 km² täcktes av 19 gateways med inbördes avstånd 1 km, bandbredden var 125 kHz (trade-off mellan räckvidd och meddelandelängd). Varje nod sände en frame per timme med storlek 11 Bytes. Nodernas signalförstärkning (antenna gain) modellerades som -5dBi, vilket anses nära ett verkligt fall. Noder nära en gateway sänder med SF7, noder långt bort sänder med SF12. Signaler med samma SF kan sända samtidigt och på samma kanal och i modellen finns ingen interferens.

Om endast upplänk gjordes, blev genomsnittlig QoS för fallet 1000 noder/gateway 95.8 %. Antalet noder med en PER (Packet Error Rate) mindre än 5 % var dock endast 68 %. Det är dock nedlänk som är den främsta begränsade faktorn enligt studien; ju fler noder, desto högre påverkar denna faktor. Om 33 % av noderna i simuleringen ovan även skulle ta emot meddelande (1 gång/timme), sänks den genomsnittliga QoS till 94.2 % och PER < 5% till 54.7 %. Det är noderna längst ut som påverkas mest av pålagd nedlänk. Problemet kommer av att en gateway inte kan sända samtidigt som den tar emot meddelanden.

Ytterligare ett test gjordes med 1000 noder på ett avstånd på 600m från en gateway, med utfallet genomsnittlig QoS på 92.25 % och PER < 10% på 76 %. För 2000 noder/gateway blev PER < 10% 29 %, vilket anses för dåligt för smart mätning.

En slutsats i studien är således att nedlänk, till exempel bekräftelsemeddelanden på 4 Bytes, kan vara för dyrt kapacitetsmässigt för lösningar gällande smarta mätare (hastigheten för nedlänk uppskattas i (Gaber, o.a., 2018) till 290 bps). Ytterligare slutsatser är att en QoS på 98 % snabbt frångås om trafik från fler komponenter räknas med, samt att upprepning av meddelanden, antennförtätning och/eller nanogateways kan avhjälpa kapacitetsproblemen beskrivna i studien. LoRa anses trots allt vara en teknologi för användning i urbana miljöer (Varsier & Schwoerer, 2017). Även LoRa Alliance rekommenderar gateway-förtätning för att minska pakettapp, öka livslängden på noderna samt minska interferens. Förtätning kan även möjliggöra högre datahastighet och sändning av större paket (ABI Research, 2018).

Vidare ser idag Anders Söderberg på Sundsvall elnät inga applikationer för LoRa inom drift och mätning för Sundsvall elnät, förutom möjligtvis larm i nätstationer (Anders Söderberg, Sundsvall elnät). Flera andra aktörer funderar och har pilotprojekt på just detta, bland annat i Halmstad och Helsingborg.

I Halmstad samarbetar bl.a. Halmstads Stadsnät. Halmstad Energi och Miljö Elnät, kommunen, högskolan och RISE i ett Vinnova-finansierat projekt som syftar till att åstadkomma en generell plattform som tillhandahålls av Stadsnätet för hantering av IoT-trafik. LoRa är den första accesstekniken som implementeras, men även NB-IoT och 5G övervägs. Syftet är att bygga enkla tjänster, koppla sensordata och implementera nya tjänster. Arbetsprincipen just nu är att se över vilka befintliga uppgifter och problem som kan lösas med IoT-lösningar och sensorer, där elnät kommer

vara en applikation. Enklare sensorer kommer sättas upp för att övervaka och mäta ledningar, samt skalskydd. Projektet är inte implementerat än utan ligger i startgroparna. En viktig aspekt är att fundera på var och hur all data som samlas in ska behandlas (Alexander Örning, HEMAB; Henrik Johansson, Halmstad Stadsnät).

I Göteborg byggs ett öppet LoRa-nät som idag består av 4 gateways levererade av och anslutna till Blink (2 tillkommer inom kort). Ännu går endast testtjänster i nätet och ett 100-tal sensorer finns utplacerade. Initiativet är taget främst av Gothnet (motsvarande ServaNet) men även elnät tittar på applikationer. Bättre samarbete och gemensam strategi mellan de olika koncernbolagen inom Göteborg Energi framhålls som en önskan från Gothnet. Potential ses dock i bl.a. tjänster för vatten-, el-, fjärrvärme-, gas- och temperaturmätning (Robert Jonemark, Gothnet).

För att säkert veta hur ett radionät fungerar krävs tester. Nästa stycke tar upp tester som gjorts i sundsvallsområdet, med avsikt att testa radio under förhållanden som liknar Sundsvall elnäts behov.

Radiotest Sundsvall elnät

Ett samarbete, ”Robust och säker maskin till maskin kommunikation”, mellan MittUniversitetet och Sundsvall Energi (där Sundsvall elnät deltog) som pågick under 2016-2017 hade som avsikt att utvärdera stabilitet i radiokommunikationen, mäta parametrar såsom pakettapp, fördröjning och throughput, samt få mer kunskap om radiomodem och radiokommunikation för elnät. Två olika studier gjordes i Granloholm, med en kombination av direktkommunikation mellan elnätsstationer och kommunikation routad genom en station. Området karaktäriserades som bostadsområde med mycket skog. Några viktiga slutsatser var:

- Pakettappet i ett av testen blev stort även för små meddelanden (upp till 17.45 % för 100 Bytes) vilket kan göra det nödvändigt med upprepad sändning
- Vid vissa tillfällen var pakettappet stort samt fördröjningen upp till 14 sekunder end-to-end. Dessa avvikelser kan, om de är återkommande, äventyra radioinfrastrukturen
- Sundsvall Energi behöver fler än 500 radiostationer, det är därför viktigt med noggrann radioplanering
- Det är viktigt att sätta minimikrav för datahastighet, fördröjning och pakettapp när radioinfrastrukturen designas. Stora avstånd med flera routrar mellan sändare och slutmottagare kan påverka throughput och fördröjning vid stora pakettapp

Studien simulerade de förhållanden som ansågs nödvändiga för Sundsvall elnäts radiokommunikation, men slutsatsen blev att en egen radiolösning var för instabil. Även om radiolösningar framhålls som ett kostnadseffektivt sätt att bygga kommunikationslösningar grundade ändå rapportens resultat för beslutet att satsa på fiberdragning till nätstationerna (Anders Söderberg, Sundsvall elnät).

Sammanfattning del 1

Mät och drift i Sundsvall använder sig idag av olika tjänster och mätprodukter. De stora förändringar som sker just nu innefattar byte till smarta elmätare samt dragnings av fiber till nätstationer. Detta för med sig möjligheter till utökad övervakning och styrning av elnätet. Allt detta tyder på att nätet går mot att bli "smartare". Viktigt är att ställa för kommande solcellsinstallationer samt säkerställa robust och säker kommunikation.

En sammanfattning av LoRa:s lämplighet som kommunikationslösning i ett smart elnät finns nedan i Tabell 5.

Tabell 5: Sammanställning information gällande Smart elnätsapplikationer, LoRa som alternativ, övriga anmärkningar samt Sundsvall elnäts status för applikationen.

Smart elnät-applikation	LoRa?	Övrigt	Sundsvall elnät
Smart mätning (AMI)	500 noder/gateway/nätstation (Daniel Falk, ServaNet) skulle inte vara ett problem, även strömavbrottslarm kan gå denna väg	Exempel finns	Ett AMI-system är upphandlat av Aidon, mätvärden var 15e minut och bl.a. larm om avbrott
Efterfrågefleksibilitet (DR)	Upplänk är inte problem, nedlänk drar ner nätverkets prestation, kan begränsa återkoppling till kund, styrning kan bli svår	Använder samma system som AMI för dataunderlag	Inte implementerat
Distribuerat Managementsystem (DMS)	Bandbredd och fördröjning är inom okej värden, kan användas för övervakning av ej tidskritiska element	9.6-100 kbps resp. 100ms-2s	Styrning och kontroller implementerat och implementeras, här finns kanske möjlighet att använda LoRa
Distribuerad Automation (DA)	För hög fördröjning	-	Implementerat i mottagningsstationer vid jordfel och kortslutning
Avancerad Distribuerad Automation (ADA)	För hög fördröjning	-	Inte implementerat, större möjligheter då fiberanslutning finns till nätstationer
Automation av gatlysen	Ja, LoRa är intressant för applikationen	Möjlighet till lokalisering av sensorer	Driftas av kommunen, möjligt område för IoT inom energi

Hantering av tillgångar	Applicerbart, beroende på vad syftet är, sensorerna kan vara mobila, positivt att de är batteridrivna	Möjligt att spåra och övervaka tillgångar, lokalisering viktigt Frågan är om LoRa-sensorer kan bidra med värde utöver redan existerande I/O-sensorer	Sensorer kan kopplas upp på transformatorer och UPS-system etc. för bättre övervakning längre ner i nätet, ett smart elnät innebär inte bara automation, utan även att enskilda komponenter övervakas
--------------------------------	---	---	---

LoRa har som fördel att kommunikationen går i olicensierat frekvensband, vilket anses bra då licenskostnaden elimineras. LoRa anses vidare vara en bra lösning för en gemensam plattform för IoT och smarta städer, där ett smart elnät ingår. Gränsen för LoRa som bra teknik för smarta elnät verkar dock gå vid mätinsamling, gatlyktsautomation och hantering och övervakning av tillgångar. Undermätning görs också med LoRa. Därutöver bör tekniken kompletteras med andra lösningar. Vid mer avancerade tillämpningar, såsom automation, räcker inte LoRa till. För detta skulle dessutom klass C-komponenter behövas. Konstant strömsatta sensorer är dock något som kan motsäga en av LoRa:s stora fördelar, d.v.s. nodernas långa batteritid. Teknik såsom edge computing kan påverka kommunikationsnätverk och kan potentiellt ha inflytande över hur LoRa kan bli mer intressant i framtiden, i och med reducerade dataströmmar.

Vidare beror kapacitet i radionät helt på var nätet implementeras och kräver god radioplanering för adekvat täckning. I fallet Sundsvall skulle noder i hemmen befinna sig max 600 m från en gateway i en nätstation, övriga noder i nätet kan befinna sig ännu längre bort. Vid tester som simulerade urban men störningsfri mätinsamling från 1000 noder till en LoRa-gateway 600 m bort, blev utfallet att kapaciteten snabbt skulle nås och nätverket inte vara tillräckligt tillförlitligt. Särskilt känsligt är nedlänk. Även om Sundsvall inte är lika tätbefolkat som Paris, är resultatet något att ha i åtanke. Även vid radiotester som testat radiokommunikation mellan nätstationer inom Sundsvall elnät, faller kapaciteten snabbt i form av pakettapp. Tekniken i de testerna är dock inte LoRa per se, men resultatet visade ändå på brister med radiokommunikation.

Den radiolösning som används för mätning i Sundsvall elnät idag är en lösning liknande LoRa. Vid utvärdering om denna teknik kunde skalas upp till att omfatta samtliga 27 000 mätare framkom att mätvärden inte skulle kunna samlas in snabbt nog eller i större omfattning än max en sändning per dag och mätare, vilket inte uppfyller kommande mätkrav. Mätning har som nämnts gjorts med LoRa i andra sammanhang, men för mer avancerad mätning, som kommer vara ny standard, verkar inte LoRa vara intressant.

Det enda sättet att säkert säga vad som fungerar är att göra tester. Här finns stora möjligheter att utnyttja testsiten för Aidon-mätarna i Granloholm. Förutom applikationer för smarta hem som kan gå

via LoRa, bör det vara intressant att utreda möjligheten att elnätsapplikationer på lågspänningsnivå testas, såsom mätning av transformortemperatur, ström och spänning i nätstationer, undermätning och andra sensorer för att indikera nätets fysiska tillstånd. I/O-indikatorer finns redan för t.ex. transformatorövervakning, men kanske kan man göra mer? Ytterligare tester kan göras vid installation av solceller för att exempelvis samla data för framtida prognostisering och förståelse för hur solceller påverkar elnätet. Mer intermittent elgenerering kommer troligtvis försvåra balansering längre ner i näten, varför på sikt kommer löna sig att veta mer om det som sker längst ut i näten. Problem och utmaningar lösta lokalt eliminerar problem högre upp i näten samt kostnader.

Samarbete och standardisering är viktigt då investering i elnät sker på lång sikt. Här kan nätverket Elinorr utnyttjas. Skalbara lösningar har stor marknadspotential, men för detta krävs intressenter med förutsättningar att ta till sig tekniken. Det är viktigt att fundera på vad ett smart elnät egentligen innebär, detta skiljer sig mellan olika elnät. På Gotland har de exempelvis problem med brytare som löser ut för ofta. I Sundsvall kanske inte situationen är densamma. Gällande kommunikationslösning är det också vettigt att fundera på hur snabb kommunikationen måste vara – vad är ”snabbt nog”? Och om LoRa passar för ”larm”-funktioner, kan edge computing göra larmen mer sofistikerade? För Sundsvall elnät finns chans att sätta mål och krav på lösningar som kan testas i testbäddarna nämnda ovan. Därigenom kan en robust och framtidssäker lösning tas fram.

Att samordna infrastrukturen för Sundsvall elnät och ServaNet ger även fördelar för ServaNet i form av robusthet. Fibernät är kritisk samhällsinfrastruktur och behöver fungera även i krissituationer. Närheten till energiförsörjning är därför positiv. Genom att ansluta fiber till nätstationer och dessutom samordna mätinsamling för fler aktörer kan trafiken i fibernätet öka. LoRa framhålls ofta som ett bra alternativ för vattenmätning och skulle säkert kunna implementeras i Sundsvall. Det är dock viktigt att se över teknik- och affärsstrukturer så att inte onödigt konkurrens uppstår internt. Vidare är det viktigt att hålla koll på vem som äger mätvärden, då dessa är mycket värda för tredje part såsom aggregatorer och energitjänsteleverantörer. Även här krävs att affärsstrukturer ordnas upp i förhand.

Avslutningsvis spelar självklart reglering och inte minst nätregleringen in på utveckling och investering av och i elnätet. Det verkar idag finnas litet incitament till att investera i smarta elnäts-projekt, men kanske kommer detta ändras i och med nästa nätreglering. Det finns om inte annat mycket forskning och utvecklingsarbete som pågår inom fältet.

En kommentar om säkerhet och tillförlitlighet

LoRa passar alltså inte in på alla användningsområden för smarta elnät, men det utesluter inte att tekniken kan användas. Eftersom elnät är en mycket kritisk samhällsfunktion är det dock viktigt att adressera säkerhetsaspekten, vilket görs översiktligt nedan.

I en studie från Kanada om mikronät och SCADA-system rekommenderas kryptering av kommunikationen med hjälp av AES-128 (Iqbal & Iqbal, 2019), något som styrks av forskningsprojektet Säker Radiokommunikation genomfört i samarbete med MittUniversitetet. Det är även något företag såsom Kamstrup har som standard för sin mätteknik (Kamstrup, u.d.) och tillämpas i LoRaWAN (Induo, u.d.).

Säkerheten för LoRa-nätverk är flitigt diskuterat inom LoRa-communityn och uppdateras löpande. I artikeln ”Exploring the Security Vulnerabilities of LoRa” (2017) pekas några punkter med LoRa ut som är bra att tänka på säkerhetsmässigt:

- Sändningstid: LoRa:s styrka i form av lång räckvidd kan bli en säkerhetsrisk. Sensorer långt bort från en gateway behöver en hög spridningsfaktor. Sändningstiden kan då bli upp emot 1.5 sekunder, beroende på meddelandets längd. Paketet kan då påverkas på vägen till gateway.
- Sensorernas anslutning: LoRaWAN har stjärntopolgi. För att koppla upp en sensor kan antingen OTAA (Over The Air Activation) eller ABP (Activation By Personalization) användas. ABP kopplar upp en nod utan att initiera en join-request och accept-procedur. Om nodens säkerhetsnycklar är kända, är nodens aktivitet känd. OTAA är en mer säker anslutningsprocedur.
- Gateways: en gateway innehåller viktig säkerhetsinformation om ändnoderna och hanterar även säkerhetsnycklarna. Detta gör en gateway till en svag punkt i nätverket. Fysisk tillgång till en gateway gör att säkerhetsinformation kan avslöjas.
- Radiomodulen: om radiomodulen i noden inte har stöd för kryptering finns det inget sätt att säkerställa att skickad information kommer från rätt källa, alltså nodens MCU (Micro Controller Unit). Kommunikationen mellan radiomodulen och MCU:n kan också utnyttjas för att skapa en mock-device eller manipulera skickad data. Viktig data såsom säkerhetsinställningar ska alltså inte gå denna väg.
- Replay-attack: innebär att en sändning repeteras. För detta krävs att kommunikationsfrekvensen och –kanal är känd för attackeraren. I vissa fall kan omstart av en nod göra att redan sänd data upprepas. Exempelvis kan inbrottslarm baserade på LoRa fås till att sända om ”reset”-meddelande när noden i realtid sänder ett ”alarm”-meddelande. För att motverka attacken måste frame counting tillämpas. OTAA motverkar replay-attacker.
- Jamming: innebär att sändningen störs ut av en kraftig radiosignal. I LoRa:s fall kan störningar riktade på olika spridningsfaktorer påverkas. Komponenter med lägre spridningsfaktor kan också påverka komponenter med högre spridningsfaktor. 99 % av sändningarna påverkades i studiens test. Detta kan undkommas genom att onormalt beteende i nätverket gör att frekvensen justeras.
- Wormhole: innebär att paket ”fångas in” och ersätts av ett felaktigt paket. Ett exempel är att ett larmmeddelande fångas in på vägen och ersätts av ett status quo-meddelande. Eftersom LoRaWAN inte innehåller någon tidsinformation är attacken svår att upptäcka.

Eftersom lejonparten av säkerhetsaspekterna, såsom nycklar och frame counters, implementeras av applikationsutvecklare eller tillverkare, är säkerheten avhängig dessa (Aras, Ramachandran, Lawrence, & Hughes, 2017). Då allt pekar på att LoRa gör sig bäst med små sändningar sällan, men av larm-karaktär, är det viktigt att adressera just problem länkade till detta.

I ett framförande från The Things Network-konferensen 2018 adresserar en av LoRa:s uppfinnare säkerhet. Förenklat är tanken att proceduren OTAA för en nod som ansluter till ett nätverk ska bli mer säker genom användning av s.k. join servers (Sornin, 2018). Detta steg kan möjligtvis göra intrång och korrumpning av nätverket svårare.

Det är även viktigt att ta hänsyn till signalens framkomlighet, genom att använda ett meshat nät och/eller placera sensorer så att inte objekt i signalens väg kan göra att den inte kommer fram som den

ska. Redan på slutet av 1990-talet diskuterades LoRa-liknande applikationer/tjänster såsom larm internt inom Sundsvall elnät, men slutsatsen blev då att ansvarsfrågan inte kunde lösas på ett bra sätt; om sensorer sätts upp efter avtal ska avtalet hållas, hur göra om det inte kan säkerställas att signalen kommer eller har kommit fram? Om en sensor ska larma, men något står i vägen för signalen, vems ansvar är det då att signalen inte gick fram och hur löses den frågan proaktivt? (Anders Söderberg, Sundsvall elnät). Diskussionen liknar den som idag även förs kring självkörande bilar (Löfblad, Unger, Holmström, Lewan, & Montin, 2018). En potentiell lösning skulle kunna vara att övervaka signalen, d.v.s. att kolla att sensorer är aktiva mer eller mindre konstant. Potentiellt sett kan detta dock motsäga syftet med LoRa, alltså att skicka lite data sällan, alternativt göra att klass C-komponenter bör användas. LoRa passar därmed bäst för okritiska larm.

Slutligen, i och med att LoRa går över en öppen frekvens är det värt att fundera på om samma problematik som den nuvarande problematiken för PLC kan uppstå även här, d.v.s. att det blir ”fullt” och interferens med andra komponenter.

Del 2

I den här delen presenteras idéer som genom datainsamling i elnätet kan skapa nyttor, tjänster och produkter mellan ServaNets och Sundsvall elnäts respektive infrastrukturer, inklusive LoRa-nätet där detta är applicerbart.

I mitten av projektet utvärderades de idéer som då etablerats på följande punkter (instämmer/instämmer inte):

- Idén är applicerbar för ServaNet och Sundsvall elnät
- Idén skapar kundvärde
- Idén förbättrar och/eller effektiviserar verksamheten
- Kompetens för att realisera idén finns internt
- Tredje part bör involveras för att realisera idén
- Idén kan implementeras inom 1-5 år
- Idén kan implementeras inom 5-10 år
- Teknik för ändamålet är redan implementerad

Utvärderingen skickades ut till 6 för projektet utsedda personer på ServaNet och Sundsvall elnät, varav 3 svarade. Resultatet presenteras som referens under respektive idé.

En kommentar om beteende kopplat till förbrukningsflexibilitet

En del lösningar som är kopplade till förbrukningsflexibilitet presenteras nedan, dock är begreppet brett så exemplen är inte uttömmande. Om lösningar som rör förändring av förbrukningsbeteende ska implementeras bör det undersökas hur detta kan göras. I många lösningar framhålls att om kunden bara får tillgång till sin förbrukningsdata, så kommer kunden ändra sitt beteende. Korrelation är dock inte kausalitet. Ofta ändras förbrukningsbeteende endast om det finns tillräckliga incitament, i form av prissignaler eller andra signaler. Småhusägare med värmepump samt företag som kan styra sitt effektuttag anses ha störst potential för flexibilitetstjänster. Lokalnät som infört effektbaserade tariffer har sett att kundernas beteende ändrats. Normförändringar likt den som skedde inom avfallshantering och återvinning för 20 år sen ses som en alternativ metod till endast prissignaler i form av ändrade

tariffer (Forum för Smarta Elnät, 2017). Det framhålls dock som ett eventuellt hinder att kunder inte förstår hur hen ska påverka sin elkostnad i och med att den består både av förbruknings- och anslutningsavgift, samt att kund kan ha svårt att skilja på energi och effekt (Nylén, 2011). Att göra kunder uppmärksamma på sin förbrukning är dock steg ett mot att involvera kunder i energibesparing och -effektivisering, något som är viktigt för alla företag som sysslar med samhällstjänster. I Sundsvall elnät finns tankar på att initiera efterforskning gällande beteendeförändring i samband med installationen av solcellspark (Anders Söderberg, Sundsvall elnät). Några insikter om flexibilitetstjänster och -beteende presenteras därför nedan.

Just nu håller amerikanska PGE på med att förbereda den största testbädden för flexibilitetstjänster i USA hittills, med upp till 20 000 deltagande kunder. Genom automatisering av termostater, varmvattenberedare, elbilsaddare och batterier samt uppgradering av elnätet i form av exempelvis fjärrstyrning hoppas PGE på att accelerera utvecklingen av flexibilitetstjänster och förnybar, kundbaserad elgenerering. Kunder kommer kunna bestämma själv när de vill bidra med sin flexibilitet och när de vill avstå. Det kan till exempel handla om att skjuta upp starten av en tvättmaskin för att reducera last. Det mest intressanta med testbädden är dock att målet för deltagande är 66 %. Nationellt (i USA) är genomsnittligt kunddeltagande <7% i DR-program (Portland General Electric, 2018). Det är alltså en utmaning att styra flexibilitet. Som tidigare nämnt lyckades flexibilitetsstyrning i projektet Smart Grid Gotland bättre om kunder själva inte fick styra sin last, utan att detta är automatiserat. Generella vinster med flexibilitetstjänster för elnätsbolag är minskad kostnad för abonnemang mot överliggande nät, minskade nätförluster, färre avbrott, nöjdare kunder och lägre behov av återinvesteringar i elnätet (Nylén, 2011).

I ett annat dokument innehållandes lärdomar från amerikanska projekt relaterade till AMI framhålls att mer information och kontroll tilldelad kund kan resultera i att kunden bättre förstår sin förbrukning och kan sänka sina kostnader, bland annat framhålls s.k. ”high bill alerts” som en lösning för detta. Förbrukningsdata kan även analyseras och presenteras för kunden för att förstå hur ens beteende kopplar till elförbrukning (Advanced Grid Research, 2019).

I projektet ”Smart City SRS”, där SRS står för Stockholm Royal Seaport, integrerades och analyserades data från energi-, vatten-, avfalls- och transportsektorer för att skapa direkt återkoppling till stadsplanerare, industrier, organisationer och medborgare för att ge insikter för bättre åtgärder genom medvetenhet. Projektet bidrog till hållbarhetsprogrammet för Stockholm Royal Seaport.

I projektet framhålls att forskare och andra professionella (inom branschen) ofta pratar om ”hållbar beteendeförändring” med ett ganska smalt perspektiv. En viktig lärdom från projektet är att det måste finnas en känsla av ödmjukhet och förståelse för att hållbarhetsfrågor är något de flesta medborgare endast ägnar en liten del av sin uppmärksamhet, givet allt annat som pågår i en vanlig persons dagliga liv. Om hållbarhetsåterkoppling ska ske bör den alltså vara kontextbaserad och/eller sättas i ett större sammanhang för att vara effektiv.

Från workshops genomförda med slutanvändare resulterade i några insikter om vad medborgarna efterfrågar från en hållbarhetsuppmuntrande tjänst:

- Jämförbarhet, mellan varandra och gentemot uppsatta mål
- Bekräftelse av påverkan, feedback gällande beteendeförändring önskas
- Grafer bör vara ”önskvärt estetiskt designade”
- Användare bör inte ges negativ feedback
- Ekonomiska incitament, såsom en lägre elräkning, är önskvärt
- (Individuellt) Skräddarsydda tips och rekommendationer för att bli bättre på att reducera sin konsumtion efterfrågades
- Det fanns en negativ inställning till att ett ”stort tech-bolag” ska sköta kundens data och tjänsten, större tillit till en miljöorganisation eller stadsförvaltning (kommun)

Behovet att optimera folks beteende för hållbarhet både socialt och miljömässigt framhålls som viktigt för projektet. Lösningen som presenteras är en tjänst som fokuserar på koldioxidutsläpp. Tjänsten skulle fungera så att kunden satsar pengar på sin egen förmåga att ändra sitt beteende och på så sätt sin förbrukning. Om målet uppfylls får de ta del av pengapotten, annars delas de satsade pengarna ut bland de som uppfyllde sina mål (Smart City SRS, 2014).

Nyttor, tjänster och produkter där LoRa är komponent

Här presenteras idéer hämtade från riktiga fall och forskning, där LoRa-teknik använts.

Udermätning

Udermätning av el innebär att man i flerbostäder debiteras för den energi man använder, istället för att bostadshuset debiteras för sin totala användning. Udermätning ger boende möjlighet att själva påverka sin förbrukning, vilket i slutändan minskar driftkostnader. I försök har udermätning kunnat minska totala förbrukningen med upp till 30 %. Mätningen utförs via en separat mätare (Luleå Energi, u.d.). Ambiductor har som tidigare nämnt LoRa-baserade lösningar för udermätning.

I Hamburg har LoRaWAN används vid pilotprojekt av udermätning. Stromnetz Hamburg i samarbete med IoT-aktören ZENNER har testat täckningen i ett tio våningshus med en gateway i källaren. Resultatet blev över förväntan och visade att det skulle vara möjligt. Man gick därför vidare till ett större projekt med flera fyra våningshus innehållande både bostads- och företagsenheter. Resultatet blev att 336 kallvattenmätare, 246 varmvattenmätare, 199 värmemätare och 600 rökdetektorer installerades fördelat på 3 gateways. En IoT-plattform används som back-end och visualiseringslösningar tillhandahålls för hushållskunder. Implementeringen har gått så pass bra att Stromnetz Hamburg beslutat använda LoRaWAN som framtida standard för udermätning (50,2 Die Plattform für intelligente Stromnetze, 2018). Även om testet inte avsåg elmätning, är detta inräknat i den ”Multi-metering”-lösning Stromnetz Hamburg erbjuder på sin hemsida (Stromnetz Hamburg, u.d.). Att använda LoRa-teknik för enkel elmätning har gjorts i semi-experimentella tester i Tyskland för att testa nätverkskapacitet. En avläsning av storlek 17 Bytes skickades ut var 15:e minut. Mätarna fungerade som klass C då de även tog emot nedlänk (10 Bytes) för konfiguration m.m. Resultatet blev att upp till 1 miljon meddelanden per dag kunde hanteras per gateway, om meddelandena repeterades en gång. Dessutom kunde 2 miljoner upplänkar från andra typer av mätare hanteras, såsom spårare av tillgångar (asset tracking) (Semtech, 2017).

Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

- En möjlighet att utveckla tjänst för undermätning
 - Undermätning kan reducera energiförbrukning
 - Även tjänst för undermätning av vatten och värme kan vara av intresse då övrig mätning kan komma att gå via fiberuppkopplade nätstationer
- En tjänst som kan gå i LoRa-nätet
 - Gateways i fiberuppkopplade nätstationer kan användas

Styrning av varmvattenberedare

I Flandern, Belgien, har mycket solceller installerats och de allra flesta är hushållsinstallationer anslutna till lokalnätet. Detta leder till problem med överproduktion, obalans och spänningsvariationer. Genom DR kan annars nödvändiga uppgraderingskostnader av elnätet till stor del undvikas och mer solceller kan installeras eftersom energiflödet kan styras, exempelvis genom smarta växelriktare. DR appliceras bäst i last med någon slags termisk buffring, såsom exempelvis varmvattenberedare. I exemplet föreslås en plug-and-play retro fit-lösning för att åstadkomma DR på ett kostnadseffektivt sätt. Kommunikationsmodulen som föreslås är en SX1276 LoRa-radio som använder gateways långt bort. Aktiv effekt (lasten anses nästan helt resistiv) mäts externt utan att dragning av ledningar måste göras, vilket gör lösningen plug-and-play. Genom en "lärandeperiod" kan DR-systemet genom styrenheten dessutom "lära sig" vilken termisk buffringkapacitet varmvattenberedare har och hur den kan styras för bästa resultat. Appliceras lösningen på tillräckligt stort antal enheter och kombineras med utomhustemperatur, tid, datum och data om hur varmvattenberedare normalt används, kan DR-kapacitet uppskattas i större skala (Laveyne, Zwaenepoel, Eetvelde, & Vandeveld, 2017).

Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

- Möjlighet att styra last på enkelt och kostnadseffektivt sätt med egen kommunikationsinfrastruktur
 - Styrning av last kan utjämna eventuella problem vid hög solcellsimplementering
 - Styrning av last kan energioptimera
- Möjliggör slutkundskontakt
- En tjänst som kan gå i LoRa-nätet

Strömavbrottsavisering

I Karlshamn använder Karlshamn Energi LoRa-nätet för att avisera slutkunder om strömavbrott. I skrivande stund har inte mer information om tjänsten kunnat fås. Möjligtvis är en bättre lösning att använda de nya Aidon-mätarnas "last gasp"-funktion för detta.

Prognostisera PV-generering

Genom att samla data på solcellsproduktion och använda machine learning kan en prognos för kommande produktion göras. På så sätt ges insikt i hur elnätet ska hanteras för att undvika effektbrist eller överproduktion. I studien (Rogier & Mohamudally, 2019) används ett privat LoRa-nätverk, Thingspeak och Matlab (Simulink; NARX, NonLinear AutoRegressive with eXogenous input neural network). Solpanelen som används har en maxeffekt på 12W. En TSL2561-sensor användes för att

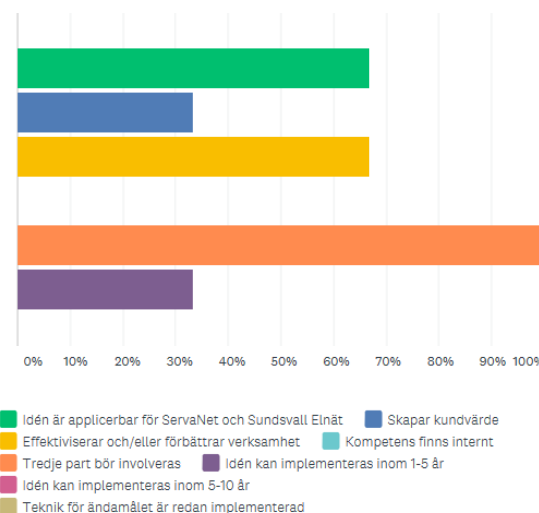
mäta ljusstyrka i realtid och en BME680-sensor mätte temperatur, fukt, lufttryck, luftkvalitet och höjdläge. Sensorpaketet placerades nära panelen i en vattentät container, med öppningar för att mäta fukt (i skydd från regn). Ett batteri fanns även med för att täcka upp för tillfälliga elavbrott. Data som samlas in processas delvis på plats (edge computing) och skickas sedan via LoRa-nätverket/gateway.

En flerstegsmodell på i vart fall 24 timmar söktes. Bättre instrument, mer data och bättre datahantering kommer förbättra modellen i studien. En applikation som denna behöver en startfas på åtminstone sex månader för att träna en algoritm, som dessutom kommer bli bättre med tiden.

På den industriella sidan har IBM utvecklat en lösning kallad "the self-learning weather model and renewable forecasting technology (SMT)". Modellen använder en stor mängd data inkluderat historisk och aktuell väderdata, sensor- och satellitdata. Målet är i längden att göra solprognoser tillgängliga för relevanta (amerikanska) aktörer så att solcellsintegration främjas. Dessutom utvecklas maskininlärningsplattformen för prognostisering av både vind- och vattenbaserad elproduktion (Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2015). Då informationen om projektet är från 2015, har denna utveckling med stor sannolikhet kommit längre idag.

Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

- Vid implementering av solcellsparker/privata solceller kan datainsamling och prognostisering baserad på riktig data ge information om hur flödet i elnätet kommer se ut och på så sätt kan styras
- En applikation för LoRa-nätverket
- Om nätstationer fiberansluts kommer LoRa-gateways vara lättillgängliga och möjliggöra dataöverföring
 - Görs en del av datahantering som edge-computing behöver inte data sändas så ofta eller vara av stor storlek, detta kan exempelvis göras ute vid varje nätstation
 - Om tjänsten görs av annan, kan ServaNet ändå stå för infrastruktur och eventuellt lagring
- För att göra bra prognoser krävs bra och mycket data.
 En möjlig tanke är att inom till exempel ServaNets upptagningsområde förbättra mätning (och på så sätt transport i fibernätet) av väderdata, för att på så sätt kunna samarbeta med aktörer såsom SMHI som gör väderprognoser. Detta främjar i längden Sundsvall elnät, då solcellsproduktionen blir bättre prognostiserad.
 - Hur datan skulle mätas är upp till vilken dataupplösning som behövs, det kan hända att en lösning baserad på LoRa inte kan hantera mängden data adekvat



Kommunikation mellan elbilar och elnät

Elektrifieringen av transportsektorn väntas öka, med följd att fler elbilar rullar på vägarna. I studien (Ferrari, Flammini, Rinaldi, Rizzi, & Sisinni, 2017) paras detta med LoRaWAN, för att samla in information såsom laddning, hastighet och georeferens från elbilar som är ute och kör, med fokus på laddning utanför hemmet. LoRaWAN har valts av författarna just för att det är en "öppen" lösning

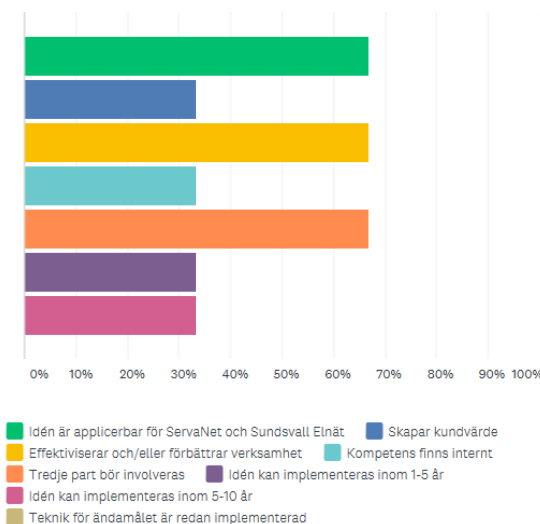
och till skillnad från 5G mer etablerat. Den yta som kan täckas in av sensorerna kan begränsas för att korta sändningstider. När en elbil stannar på en publik laddstation kan annan teknik komplettera, exempelvis ett WLAN (eller fiber). På så sätt gör det enligt författarna inget att datahastigheten är låg och duty cycles begränsas.

Studien går ut på att elbilens laddning, plats och hastighet loggas var 10:e sekund. Idén är att om elnätet kan veta var det är sannolikt att laddning kommer ske kan elnät även förutse kapacitetsbehov. Med fler bilar och fler laddstationer blir detta än mer viktigt.

I ytterligare en studie (Ouya, o.a., 2017) utforskas ett koncept med laddstationer försedda med solcellspaneler (med batteri för lagring) som kan betjäna elbilar och även ta emot laddning från elbilar baserat på prislagen. I studien görs ett konceptuellt test som visar på positiva resultat.

Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

- Kommunikation mellan elbilar och elnätet kan göra att: effektdalar kan fyllas vid hemmaladdning via laststyrning
- Last kan prognostiseras och balanseras mellan närliggande stationer vid laddning på offentliga platser
- Lagringsmöjligheter finns i mobila batterier, vilket gör att tillgänglig kapacitet kan upphandlas flexibelt (exempelvis genom aggregatortjänst eller genom en publik elbilsflotta)
- Genom att veta mer om elbilarnas beteenden kan kapacitet i nätet anpassas efter detta
- LoRaWAN kan användas för överföring av data, i studien var räckvidden cirka 2 km, gateways som monterats på redan existerande elnätsinfrastruktur kan användas för detta ändamål.
- Edge computing kan användas för att minimera sänd data; signalering kanske endast behöver ske då det förväntas ett stort effektuttag eller dylikt
- Vem som skulle utföra datahantering är ännu oklart – egen tjänst eller tredje part?



Sensorer vid grävgröpar

I Halmstad pågår ett projekt där planen är att sätta sensorer på staket och avspärningar runt grävgröpar som uppstår vid kabelläggning. Istället för att rondera för att säkerställa att avspärningarna är kvar och på rätt plats, kan sensorerna indikera läge, alltså om avspärningarna är stående eller liggande. Potential finns även att positionera avspärningarna och på så sätt hålla koll på om de stjåls (Henrik Johansson, Halmstad Stadsnät).

Larm i nätstationer och kabelskåp

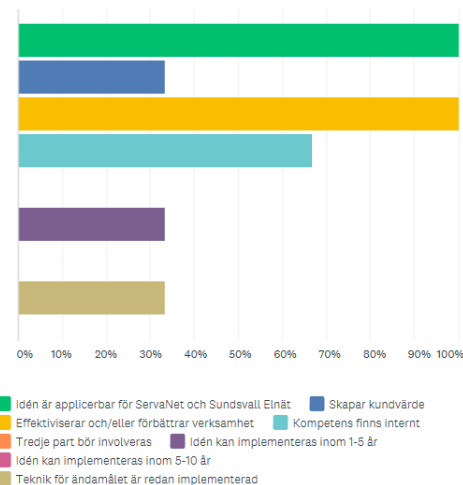
En konkret nytta är att utrusta stationer i nätet med larm för olika saker. Larmen gör stor nytta för att säkerställa bra och säker drift och är inte kritiskt tidskänsliga. Exempelvis används magnetkontakter som monteras på nätstationers dörrar för att indikera om dörren är öppen eller stängd. På så sätt vet driftcentralen om någon arbetar vid stationen eller om obehörig tagit sig in (Stadshubbsalliansen, u.d.). ServaNet har sedan sommaren 2019 avtal med iiote som bl.a. levererar en larmtjänst (iiote, u.d.).

Exempel på pilotprojekt är Helsingborg och Halmstad. I Helsingborg görs pilotprojekt där nätstationer övervakas. Närvarokontroll, temperatur och fukt ska övervakas (Johan Nyström, Öresundskraft). I Halmstad övervakas nätstationerna med dörrsensorer för att veta om någon är inne i stationen (Henrik Johansson, Halmstad Stadsnät).

I Lund och projektet "Smarta Offentliga Miljöer" testas övervakning av kabelskåp med hjälp av Bluetooth mesh i potentiell kombination med LoRa. Sensorer känner bland annat av temperatur, fuktighet och om någon dörr står öppen och insamlad data visualiseras på digitala dashboards. Ca 10 aktörer är inblandade för att realisera lösningen (Wendt, 2018).

Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

- In- och utpassering
 - För att veta säkert när det finns folk i nätstationen
 - Statistik för underhåll och underhållsprocesser
- Rökdetektion
 - För att upptäcka brand
- Temperatur
 - För att upptäcka överhettning
- Fukt
 - För att upptäcka läckage eller ofördelaktig miljö för komponenter
- Gasolläckor
 - För att upptäcka läckage av UPS-systemets gasolrör
- Rörelsedetektion
 - För att upptäcka om någon olovligt rört kabelskåp
- ServaNet skulle via LoRa-nätet kunna stå för insamling av denna data



Isolatorer i ställverk övervakas med LoRa

ABB erbjuder en sensorbaserad lösning för övervakning av isolatorer (surge arrestors) i mellanspänningsställverk, vilka skyddar utrustning från överström till följd av exempelvis åska. Magnitud och tidpunkt för urladdning samt läckström mäts. Dessutom mäts temperatur och fuktighet. Data lagras för vidare analys och skickas med LoRaWAN och genom en molnlösning blir den tillgänglig för driftcentral. Enheten ger också förslag på åtgärder för underhåll. På så sätt kan preventivt underhåll göras. Lösningen är gjord för retro-fit plug-and-play (ABB, u.d.). En film om produkten finns [här](#).

Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

- Övervakning av komponenter leder till att preventivt underhåll kan göras och på så sätt kan potentiella fel och avbrott undvikas
 - Känslig utrustning kan bättre skyddas mot exempelvis åsknedslag
- En tjänst som använder LoRaWAN

Gatlyktsstyrning + möjlig utbyggnad av 5G

Ett ständigt närvarande fenomen i samhället är gatlysen. En lösning är att via sensorer styra belysningen efter behov såsom uttryckningsvägar och väderförhållanden. Sensorer gör även att underhåll kan ske efter behov istället för rondering. Företaget Ahoysis säljer t.ex. lösningar baserade på LoRa med gatlysen med bl.a. dimmer, energisparläge och sensorer för avbrott. Deras LoRaWAN Street Light Controller är kompatibelt med vilket närliggande LoRa-nät som helst och lyktorna (samt eventuella fel) kan även enkelt georefereras (Ahoysis, u.d.).

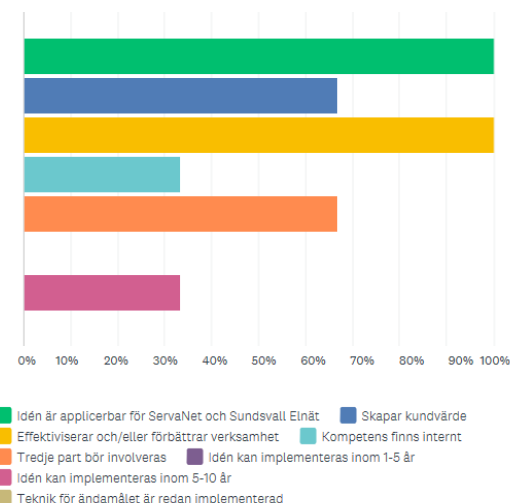
Det danska företaget SEAS-NVE har exempelvis implementerat fjärrstyrd LED-belysning i Lolland kommun, där styrning går via kommunalt, öppet LoRaWAN. Systemet består av ca. 7000 armaturer och återbetalningstiden är 8-10 år (SEAS-NVE, 2017). Wellness TechGroup, som även är StadshubbsAllians-partner) har implementerat lösningar i Spanien med bl.a. 80 % energibesparing som resultat (Wellness TechGroup, u.d.).

Företaget Ubicquia erbjuder LoRa-integrerade gateways i sina gatlyktsmoduler, vilket möjliggör förtätning av LoRaWAN-nätverk (Semtech, 2018). Vidare erbjuder företaget moduler såsom "Ubicell" som integrerar ljuskontroll, energimätning, tilt/vibrationssensorer, publikt WiFi m.m. och helt enkelt ersätter själva lyset (Ubicquia, u.d.). Samma företag erbjuder även produkten "Ubimetro", vilken sätts upp i gatlysen och levererar mobilt bredband i syfte att grunda för 5G. Produkten har stöd för backhaul via fiber (Ubicquia, u.d.).

I dagsläget styrs Sundsvalls gatubelysning via GSM-nätet. Upplevda brister med systemet är att det inte finns någon indikation när någon lampa inte lyser och ibland ligger kommunikationen nere. Gatlysenas placering utnyttjas ibland för matning av ytterligare utrustning såsom p-automater. Redan idag görs även samprojekt med Sundsvall elnät vid exempelvis nedläggning av ledningar (Johnas Norberg, stadsbyggnadskontoret Sundsvalls kommun).

Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

- WAN connectivity för Ethernet finns tillgänglig (Ahoysis), vilket gör att kontrollenheter för systemet kan kopplas upp via fibernätet
- Med lösningar som Ubicell ovan, kan publikt WiFi erbjudas kommunen
- Med lösningar som Ubimetro ovan, kan fiberanslutna gatlyktsstolpar användas för att bygga upp en infrastruktur för 5G
- Eftersom elnät till viss del delar infrastruktur med gatlyktsinfrastrukturen, kan underhåll utföras som tjänst gentemot kommunen. Detta motiveras även av att ServaNet då skulle ha uppsatta moduler nära/i/som gatlyktor



Övervakning av vindturbiner

Resultat från studien (Mikhaylov, Rapún, Moiz, Gascon, & Poultu, 2018) visar på att LoRaWAN är lämpligt för övervakning av energiinfrastruktur, med ett testfall bestående av övervakning av

Sida 37 av 57

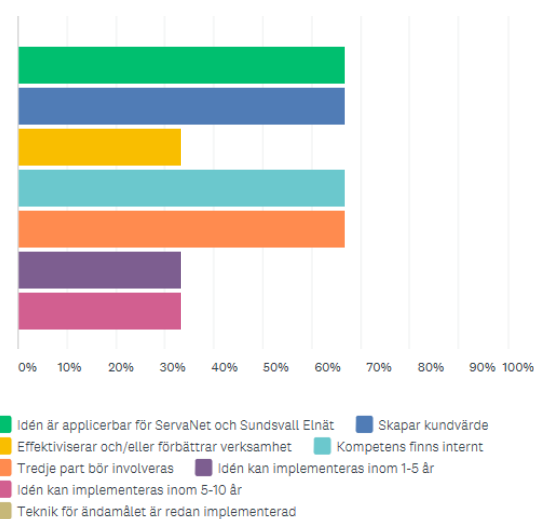
Kommunikationsteknik och elnät: möjligheter med LoRa-teknik och smarta elnät
 Amanda Bränström

vindkraftsturbiner. Även övervakning av solcellsfarmer tas upp som möjligt applikationsområde. Specifikt framhålls att det är viktigt med en teknologi som fungerar även på platser avlägsna från eller med begränsad tillgång till övrig infrastruktur.

Sensorer placeras på eller runt generatorerna och mäter spänning, ström, fasvinkel m.m., samt temperatur, vibration, vindhastighet, fukt och ljus. Sensorerna kan strömsättas direkt eller via batterier. Om ett annat övervakningssystem också är implementerat finns behov för att hitta ett gränssnitt mellan detta och sensorerna. Sensordatan skickas till en gateway och sedan via fiber eller trådlöst till system som loggar och processar data. Relevanta värden kan sedan presenteras till en användare.

Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

- Då ServaNet har fiberinfrastruktur i närheten av potentiellt framtida vindkraftsparker, kan utbyggnad/implementering av LoRaWAN för övervakning av vindkraftsparkens erbjudas som tjänst till relevanta aktörer. ServaNet har redan infrastrukturen utbyggd i icke-urbana miljöer och har även LoRa-kompetensen som krävs för att bygga upp systemet och hantera/skicka vidare data
- Implementeras lösningen vid exempelvis de planerade solcellsparkerna inom Sundsvall elnäts koncessionsområde som nämnts ovan, blir nyttan av lösningen liknande det som är beskrivet under ”Prognostisera PV-generering via IoT-nätverk”



Nyttor, tjänster och produkter där LoRa kan vara en komponent

Här presenteras idéer som bygger på att LoRa kan vara potentiell kommunikationslösning, baserat på att applikationerna är icke-tidskritiska och liknar andra typer av LoRa-applikationer.

Övervakning av transformatorisolatorer

Övervakning av transformatorisolatorer (transformer bushings) används för preventivt underhåll. Genom att övervaka exempelvis kapacitans, effektfaktor och obalans kan eventuella fel undvikas och transformatorfel undvikas (Electricity Delivery & Energy Reliability, 2012). Exakt hur övervakning sker i exemplet är okänt. Idag övervakas transformatorer i Sundsvall elnät med I/O-sensorer. Isolatorerna övervakas i dagsläget gällande gasläckage. Baserat på att funktionen är av larmkaraktär och ej styrning, bör LoRa-teknik kunna användas.

Ett exempel på LoRa inom transformatorövervakning är samarbetet mellan Semtech, KernelSphere Technologies och energibolaget JUSCO i Indien. KernelSphere har implementerat LoRaWAN-kompatibel transformatorövervakning i form av mätning av effekt, ström, spänning, lastbalans, oljenivå och temperatur i olika mekanismer. Lösningen skickar även SMS-alarm och fläktar sätts igång när

temperaturgränsvärden överskrids. Data som samlas in ligger till grund för nätverksplanering (Semtech, 2018). Larm av denna typ är idag I/O-larm i Sundsvall elnäts ställverk.

Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

- Utökad övervakning av bushings kan göra att preventivt underhåll kan göras, vilket i längden minskar kostnader
- En tjänst som använder LoRaWAN

Undvika avgrävda kablar

Enligt felstatistik är den mest frekvent förekommande anledningen till avbrott i Sundsvall elnäts de senaste tre åren avgrävda kablar. Varför kablarna grävs av framgår inte. LoRa passar till att hantera tillgångar och noderna kan vara mobila. Beroende på anledning till detta borde LoRa kunna användas för lokalisering och/eller indikering av kablar och/eller de maskiner som gräver av dem och på så sätt minska avbrottstid och felavhjälpningsbehov.

Positionering av elnäts bilar

Snabbare felavhjälpning göras om elnätstekniker kan lokaliseras snabbare när ett fel sker. Genom att ha koll på var elnäts servicebilar befinner sig, kan den som är närmast felet och inte upptagen anropas för felavhjälpning. Det resulterar i snabbare felavhjälpning, nöjdare kunder och enklare drift.

Kombineras driftssystemet med avbrottshantering (exempelvis från ett AMI-system, mätarnas ”last gasp”-funktion) kan lokalisering av fel snabbt göras och göra felavhjälpning ännu snabbare (Smartgrid.gov, 2016). Kombinerar detta med ett system för att positionera servicebilar bör felavhjälpning kunna ske snabbare.

I Helsingborg har täckningen i LoRa-nätet mätts genom att montera sensorer i servicebilar. Det bör även vara möjligt att positionera bilarna med hjälp av LoRa, med en uppskattad felmarginal på 50 m (Johan Nyström, Öresundskraft).

Exempel på sensor finns [här](#).

Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

- Bättre koll på var servicetekniker befinner sig
 - Undvika rundringning för att få tag på servicetekniker som är ledig
 - Indikation på om servicebilen är ”upptagen” eller ”ledig” bör kunna göras och göra felavhjälpning ännu snabbare
- En tjänst som potentiellt sett kan gå i LoRa-nätet

Fasövervakning i kabelskåp

När nätstationerna är uppkopplade är det sista steget i ett helt övervakat elnät sträckan mellan kabelskåp och nätstation. Genom att sätta strömtransformatorer på utgående kablar i kabelskåpet upptäcks fasbortfall med lätthet och berörda kunder identifieras snabbt. För att mäta asymmetri kan mätvärdena kombineras med mätvärden från nätstation och/eller Aidon-mätare.

Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

- Övervakning av lågspänningsnät för Sundsvall elnät
 - Möjlighet att mäta asymmetri, speciellt viktigt vid hög andel solcellsimplementering
 - ”Sista sträckan” till kund övervakad möjliggör snabbare felavhjälpning
- Lösningen kan implementeras med LoRa-teknik
 - Ej känslig data
 - 2 700 kabelskåp med i genomsnitt 4 kablar per kabelskåp
 - Räkneexempel nedan från (Invisible systems, u.d.)

Produkt	Antal	Styckpris (GBP, ungefärligt)
Sändare/smart mätare (LoRaWAN)	1	95
	1000	57
	10 000	52
Strömtransformator 100 A	1	40
	1000	28
	10 000	24

Kostnaden för ett kabelskåp (för exempelvis test) blir alltså $95 \cdot 4 + 4 \cdot 3 \cdot 40 = 860$ GBP = ca 9 800 SEK beroende på växelkurs. Om möjligt skulle en RTU-enhet med fler ingångar kunna ersätta de 4 sändarenheterna som behövs i räkneexemplet. Sändaren i exemplet ovan har endast 3 utgångar.

Värmepumpsstyrning

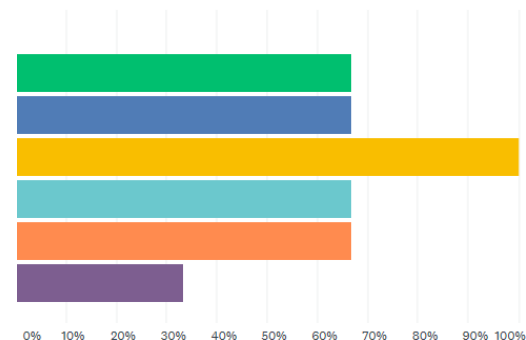
Värmepumpsstyrning är en av de vanligaste och till synes ökande typ av tjänster för efterfrågefleksibilitet. Principen bygger på att outnyttjad energi finns lagrad i termiska system och liknande exempel har nämnts tidigare. Ett annat exempel tas här från företaget Ngenic.

Genom att styra och på så sätt effekterreglera värmepumpar ute i hushåll, främst villor, uppnås flexibilitet i elsystemet. Sensorer (utvecklade av Ngenic) mäter temperatur, fukt och ljus och ger på så sätt underlag för att styra värmepumpen i byggnaden. Målet är att styrningen inte ska märkas. Eventuell efterlast när värmepumpen slås igång igen kontrolleras också. Enligt Ngenic finns ca. 2 kW/värmepanna (vattenburen) tillgänglig och 300 villor motsvarar en reglerpotential på cirka 1 MW. Som exempel reglerades 1.8 MW bort för Upplands energis räkning under vintern 2018.

I nuläget är det vanligast att tjänsten används för styrning av fjärrvärme. De företag som säljer tjänsten via sina plattformar (Jämtkraft, Skellefteå kraft, Övik energi m.fl.) har olika upplägg; vissa säljer tjänsten till liknande inköpspris av sensorer (ca 4200-4900 kr), andra hyr ut mätare på bindningstid och månadskostnad (Skellefteå kraft: 50-65 kr/mån beroende på om serviceavtal finns). Enligt Ngenic tar de betalt för sin tjänst linjärt, vilket gör att även en liten implementering kan vara lönsam, givet ett väldefinierat mål för regleringen. Eftersom SEAB säljer både el och fjärrvärme är den smidigaste vägen via dem.

Givet tidigare resonemang om att mätvärden är den viktigaste resursen ett elnätbolag har, kan en fundering göras om någon liknande tjänst kan göras internt, men kanske i mindre skala. Det skulle även öppna upp för mer input från samt möjligheter för ServaNet.

Större lösningar såsom E.ON:s Ectogrid finns även som systemlösning. Lösningen innebär automatisk styrning och integrerar ett helt energisystem i flera byggnader och ska leda till sänkt energiförbrukning. Ett [exempel](#) på fullskaligt implementerat system finns i Lund.



Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

- Genom att reglera värmepumpar ute hos kund kan Sundsvall elnäts abonnemang mot överliggande nät på sikt sänkas. De sensorer som används för mätning i byggnaden är egenutvecklade av Ngenic, men kommer i så fall anslutas till ServaNets fiberanslutning till hemmet.
 - Viktigt är att kunden med värmepumpen har timdebitering samt är ansluten till ServaNets fibernätverk. Ngenic styr allt centralt hos sig och fungerar som en ackumulator
- Möjlighet att kanske utveckla egen tjänst (se tjänst ovan om varmvattenberedare)



Digitala tjänster för villaägare och BRF med solceller

En tjänst ("Din energi") som erbjuds av Umeå energi till kunder som är villaägare och har solceller på taket. Viktiga kundinsikter är enligt tjänsteutvecklaren (Johansson F.):

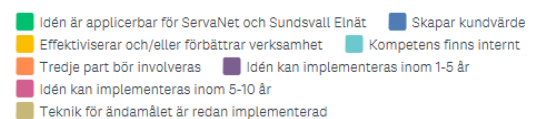
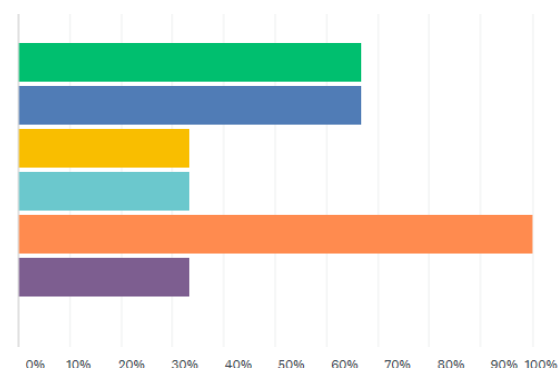
- Bra att förstå mängden energi
- Om man kan se något i realtid kan man påverka sin förbrukning, det är viktigt att se i realtid
- Att mäta i kWh är inte ett problem, men kanske måste man utbilda i vad det är. Ett sätt är att använda liknelser, t.ex. hur långt en elbil kommer på den energin

Baserat på detta utvecklades en prototyp som genom sensorer samlar in realtidsdata och gör det tillgängligt via en webbapplikation.

För BRF:er med solceller utvecklades tjänsten "Er energi".

Utmaningar som adresserades av lösningen var:

- Hur hjälpa boende i BRF med solceller att förstå förbrukning och nyttja producerad el på effektivt sätt?
- Hur samla tillförlitlig data som grund för debitering på ett kostnadseffektivt sätt?
- Hur kommunicera solelen och fördela densamma rättvist mellan boende och gemensamma utrymmen?



I tjänstens upplägg ingår plattformsaktören Indentive, som ServaNet har kontrakt med. Data samlas in via en gateway och skickas till Indentive, för att till slut bli synlig i en app. Denna applikation är under utveckling (Johansson F.).

Sida 41 av 57

Kommunikationsteknik och elnät: möjligheter med LoRa-teknik och smarta elnät
Amanda Bränström

Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

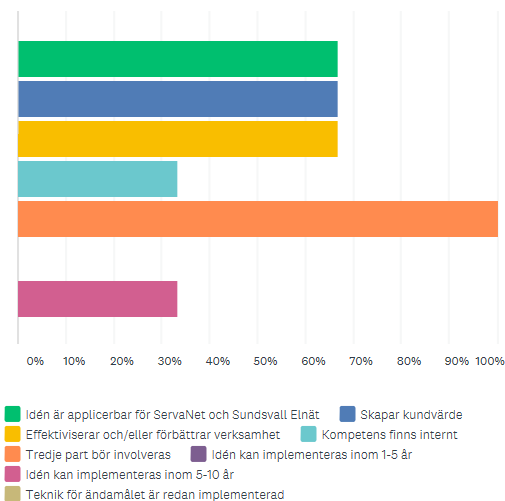
- En tjänst för ökad kundmedverkan och bättre solcellshantering
- En kommunikationstjänst som kan utvecklas

Laddningsstyrning

Företaget Ngenic gör i dagsläget pilotprojekt gällande laststyrning av elbilsaddning i hem. I till exempel Upplands Energis fall är avståndet till Uppsala gynnsamt för elbils pendling, vilket gör att antalet elbilar ökar snabbt. Redan nu vittnar Björn Berg på Ngenic om att förbruknings- och effektprofilen för privata hem ändrats på grund av detta och att styrning är nödvändig, i vart fall i Upplands Energis fall, där kapacitetsbrist råder. Om trend går mot effektpolis istället för energipolis även på privatkundssidan ökar incitamenten för kunden att styra sin last, men redan nu influerar alltså det ökade antalet bilar elnätets kapacitet (Björn Berg, Ngenic).

Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

- Detta område är fortfarande under utveckling och samma kapacitetsbrist som hos Upplands energi finns inte i Sundsvall. Att styra om effekttoppar för privatkunder skulle istället fylla ut effektdalar och på så sätt skapa en jämnare effektprofil.
- Vidare från Ngenic, skulle detta i sin tur kombineras med tvåvägsladdning av elbilar, d.v.s. att elbilsbatteriet kan användas som reglerkraft, skulle detta skapa stora möjligheter. Kunden skulle då kunna bli ersatt för sin tillförda effekt till nätet, alternativt använda sitt elbilsbatteri för eget bruk. Allt detta skapar möjlighet för ServaNet att implementera kommunikationslösningar, antingen helhetslösningar för V2H (Vehicle-to-Home) eller endast kommunikationsinfrastrukturen för en separat plug-and-play-tjänst som tillhandahålls av tredje part.



Feldetektering och omkoppling i elnätet

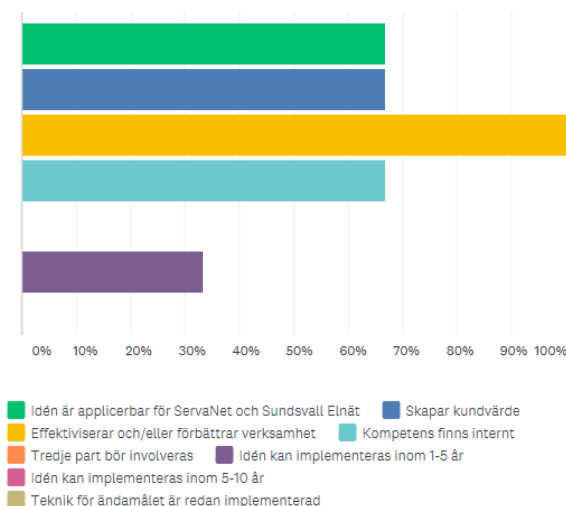
Denna applikation kopplar starkt till automation av elnätet. Flera olika sätt finns för att uppnå feldetektering och omkoppling.

Inför världscuptävlingarna i Åre i år genomförde Jämtkraft ett projekt för att säkerställa att TV-sändningarna inte skulle störas av avbrott. UPS-systemet höll i 10 minuter, men efter det var tanken att elen skulle omdirigeras med hjälp av omkoppling runt felet. Alternativet skulle vara dieselgeneratorer. Sensorer installerades för att detektera och larma om fel, så att åtgärder kunde tas (Energiforsk, 2019). Enligt Jämtkrafts kontaktperson Daniel Köbi blev det aldrig skarpt läge under tävlingarna då allt fungerade som det skulle, men fler sensorer för feldetektering kommer troligtvis att sättas ut på strategiska ställen för bättre koll och minskade felavhjälpningstider. Produkten SmartDet från AddSecure användes (Daniel Köbi, Jämtkraft). Produkten innehåller bl.a. komponenter från Protrol.

Som nämnt används utrustning från Protrol i Sundsvall elnät. Utrustningen används idag för att indikera vilka nätstationer ett jordfel passerat. Mer avancerad utrustning finns till handa för högre grad av automation av nätet, både i mottagningsstationer och nätstationer. Det senare kan bli verklighet med fiberanslutning (Protrol, u.d.). I Härryda har man samarbetat med Protrol för att åstadkomma ett så kallat ”självläkande nät” med hjälp av deras ”light automation”, som blir möjlig när fiber ansluts till nätstationer (Energiforsk, 2019).

Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

- Snabbare feldetektering, möjlighet till geografisk utplacering av kabelfel samt i förlängningen automation möjliggör snabbare felavhjälpning, bättre arbetsmiljö (exempelvis kan underhåll sparas till dagtid) samt nöjda kunder
- En typ av back up-system, då t.ex. dieselgeneratorer inte behöver användas
- LoRa-nätet och -sensorer skulle eventuellt kunna användas för systemets icke-tidskritiska delar, såsom indikation
- Teknik finns redan implementerat i Sundsvall elnät, men nästa steg är automation (för detta krävs fiberuppkoppling)
- Kommunikation går via fibernätet



Partikelmätning för Sundsvalls kommun

I Sundsvall mäts luftkvalitet i form av kväveoxider och partiklar vid Köpmangatan och Bergsgatan. Viss mätning sker även vid Stadshuset och Skolhusallén. Att mäta luftkvalitet är ett lagkrav och just nu görs mätningar på ställen i stan där detta problem är känt. Johanna Simonsson på Stadsbyggnadskontoret ser en intressant möjlighet i att ha fler mätpunkter i stan för att få en helhetsblick i hur luftkvaliteten överlag ser ut. Smala gator och platser med mycket passerande trafik, såsom Universitetsallén och Storgatan kan t.ex. vara av intresse att mäta. Möjligen kan det dessutom finnas intresse för t.ex. Barn- och ungdomsförvaltningen att undersöka luftkvalitet i skolor (Johanna Simonsson, stadsbyggnadskontoret). I Helsingborg mäts till exempel ljus, temperatur och fukt i skolmiljö (Johan Nyström, Öresundskraft).

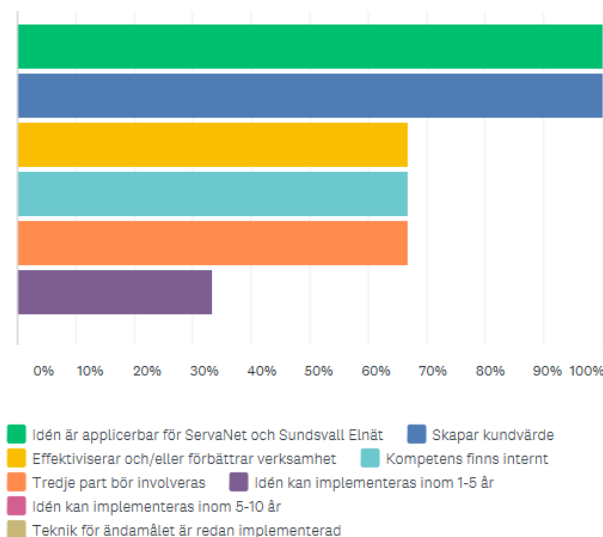
Idag redovisas resultatet bl.a. på mitt.sundsvall.se/luft och presenteras även i Stadshuset (Johanna Simonsson, stadsbyggnadskontoret). Sidan hade 2576 visningar mellan mars och juni 2019. Troligtvis kommer mer data visualiseras då Sundsvall gått med i RISE:s projekt City as a Platform (Jari Koponen, Sundsvalls kommun). Det ställs krav på mätvärden som ska rapporteras till Naturvårdsverket, men enligt Magnus Hahne på Miljökontoret kan ett stort nätverk av ”amatörmätningar” ändå vara intressant. Mer mätning kan avhjälpa/belysa problemet när bilister börjar ta andra vägar än den mätta gatan – värdet på mätningen blir bättre, men på det stora hela sprids bara luftföroreningarna ut. Detta kan fångas upp av ytterligare sensorer. Fler intressanta mätningar kan göras av exempelvis kolväten, petroleumhalt och svaveldioxid (Magnus Hahne, miljökontoret). I nuläget ingår kommunerna Sundsvall, Timrå, Ånge, Härnösand, Örnsköldsvik, Kramfors och Sollefteå i ett mätsamarbete. Utrustningen som används kommer från IVL Svenska Miljöinstitutet (Grubb, 2019), men även IVL ser

nyttan i fler utplacerade billiga, enkla och flexibla sensorer för kompletterande mätning. Nya, små, portabla sensorer som placeras på lyktstolpar har nyligen utvecklats. Tester pågår i Västsverige och förhoppningsvis kommer ett aktivt varningssystem för luftföroreningar utvecklas (Adolfsson, 2019).

Som exempel på mätning av inomhusluft med LoRa finns exempelvis initiativ såsom samarbetet mellan TalkPool och Senseair (TalkPool, 2017). Exempel på mätsensorer för utomhusluft är IOTSENS Environmental Sensor (mäter bl.a. PM10 och temperatur) (IOTSENS, u.d.) och Decentlabs luftmätare (mäter bl.a. NO och CO) (Decentlab, u.d.).

Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

- LoRa-sensorer skulle kunna användas för att samla in värden (i flera kommuner)
 - Om lagkrav kan uppfyllas kan de användas till detta, om inte kan de användas till ”amatörmätningar”
 - Antingen sensorer av klass A eller klass C
- Om klass C-sensorer används bör dessa vara konstant strömsatta, vilket kopplar samman lösningen med Sundsvall elnät
- Även förbehandling av data kan göras internt av ServaNet som tjänst för kommunen (kommunerna)



Proaktiv mätning vid solcellsinstallation

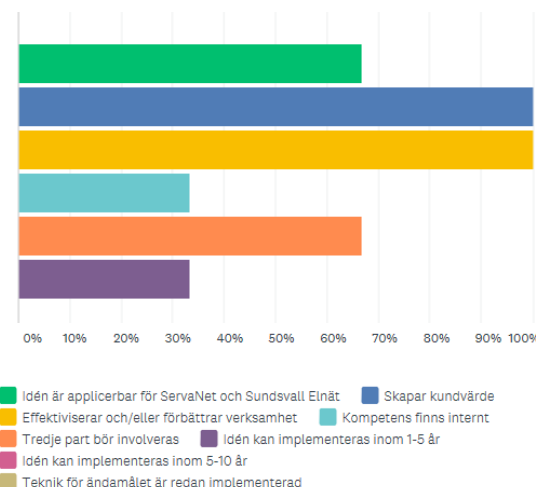
I och med den ökade trenden med solcellsinstallation i privathushåll väcks frågor såsom:

- Hur många kommer att installera solceller?
- Hur mycket effekt kommer att installeras?
- Var kommer solceller att installeras?
- Hur många kommer att följa forskrifter om föransökan på korrekt sätt?
- Hur många kommer att installera sina solceller på korrekt sätt?

Som potentiell solcellsägare är det fördelaktigt att ha koll på sina förutsättningar. Genom att först analysera detta genom att sätta upp sensorer för solinstrålning, väderförhållanden och mätning av andra optimeringsfaktorer såsom faktisk energiförbrukning och effektprofil, kan en bättre investering göras genom att rätt (dimensionerad) lösning väljs (Gaber, o.a., 2018). En tjänst bestående av en förstudie kan erbjudas privatpersoner som är intresserade av att sätta upp solceller (eller vindturbiner).

Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

- LoRa-sensorer kan användas och LoRa-nätet användas för mätning av ovan nämnda intressanta parametrar
- Sundsvall elnät får en föransägelse "på köpet", eftersom information om vem som potentiellt sett kommer installera egenproduktion redan är känt, vilket gör det lättare att planera för elnätet. Dessutom finns en möjlighet att avstyra dåliga eller ej genomtänkta installationer, samt potentiellt sätt möjlighet att påverka teknikval (och därmed även kvalitetsval för att reducera nätstörningar).
- Tredje part kan eventuellt involveras för datahantering om önskvärt
 - Eventuellt samarbete med lokala Ikea då de kommer att börja sälja solceller



Övervakning av elnätet med hjälp av sensorer

Företaget Exeri erbjuder en lösning från sensorer till informationssystem för att detektera fel i elnätet. Systemet använder teknik baserad på artificiell intelligens och kan känna av avvikelser. På så sätt kan det även ge förslag på hur fel kan åtgärdas i form av hur omsektionering ska ske. Fel som lokaliseras är kortslutning, fasbortfall, felpositionerad ledare och påle, fel på isolatorer och läckström. I nuläget är det endast mellanspänningsnät och luftledningar som övervakas, men det finns möjlighet att applicera tekniken på nedgrävda kablar. Kommunikationstekniken är sensorer och radio, fel indikeras även i geolokaliserat system. En implementering av systemet har gjorts i en del av Skellefteå krafts nät, med goda resultat (Söderström & Burström, 2019). En viktig fråga är var sensorer ska placeras för att få ut optimal verkan av elnätsövervakningen. Om detta forskas det bland annat på inom organisationen Cineldi (Cineldi, u.d.).

Två olika felupplösningar erbjuds: Exeri Total Control detekterar flest fel ner till stolpnivå. Exeri Quick Coverage detekterar färre fel och mellan vilka transformatorer, korsningar, fränkskiljare/brytare etc. felet finns. Kund kan välja att köpa allt från endast produkt+support till outsourcad totaldrift av systemet. Kostnaden för en typisk installation hamnar på 15-25 kkr/km (Magnus Karlsson, Exeri). Om ServaNet bygger LoRa-nät i områden med mycket luftledning så kommer troligtvis Sundsvall elnät vara intresserade av en kommunikationslösning liknande den Exeri erbjuder (Anders Söderberg, Sundsvall elnät).

Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

- En tjänst att ha koll på om den är applicerbar för Sundsvall elnät, alternativt ta inspiration från för egen lösning
- Kommunikationslösningen är inbyggd i lösningen, ett alternativ är att använda fibernät för att koppla systemets kommunikationshubbar till Exeris centralenhet
 - Radiosystemet är meshat och använder i nuläget 868 MHz-bandet

Fler nyttor, tjänster och produkter

Här presenteras fler idéer som kan uppstå med ökad kommunikationsinfrastruktur i elnätet.

Använda UPS-system i serverhallar för frekvensreglering

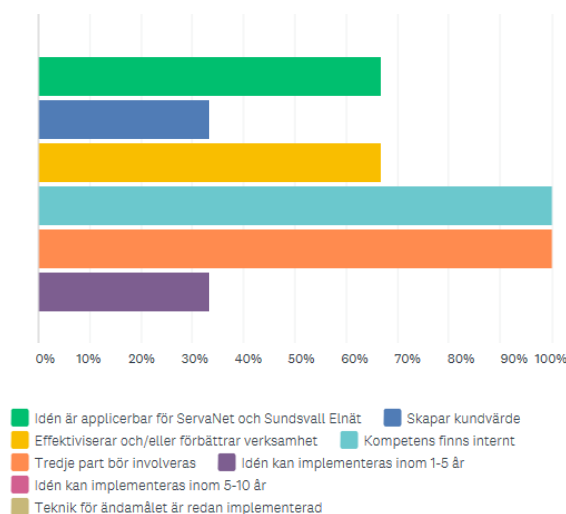
Ett pilotprojekt (Svenska kraftnät, 2018) genomfört av SvK och Fortum visade att UPS-systemet (Uninterruptible Power Supply) i serverhallar är en lämplig reservkraft på FRC-D-marknaden. En slutsats från projektet är att om förbrukningsflexibilitet och energilager i större grad kunde delta på marknaden för reserver skulle kapacitet från nuvarande reglerkraft, vattenkraft, kunna frigöras. Idén är att vid frekvensfall koppla bort en del av serverhallens förbrukning från kraftsystemet och ersätta detta med att UPS-systemet förser serverhallen med effekt. UPS-systemets huvudsakliga syfte, alltså att vara en back-up om strömtillförsel faller bort, anses inte äventyras då systemen oftast är överdimensionerade.

Under testperioden i studien testades både lokal och central styrning, där lokal styrning fick bäst utfall. Detta innebar att UPS-systemet själv agerade reglerande under avropade timmar. Systemet svarade snabbt och precist, något SvK anser positivt och eftertraktat på en framtida reglermarknad.

Fortum har även samarbetat med Ericsson för att kunna använda Ericssons datacenter i Kirkkonummis UPS-system för flexibilitet och bidrag till Fortums virtuella batteri (Spring project). Över 1000 hushållskunder ingår också i detta batteri. Ericssons 5G-teknik användes i projektet (Fortum Corporations, 2018).

Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

- I och med digitalisering av samhället kommer behovet av datalagring öka
- ServaNet skulle, ensam eller i partnerskap med annan/andra aktörer, kunna bygga ut verksamheten med IT-hotell för att på så sätt kunna erbjuda reservkraft via IT-hotellens UPS-system, för att inte nämna en mer tydlig profil som aktör inom kommunikationsinfrastruktur
- Det finns indikationer på att balansering behöver ske mer lokalt, då mer distribuerad elproduktion strömmar uppströms och att dessa "prosumenters" in- och uttag mäts lokalt
- Balansering av elnätet för Sundsvall elnät



ServaNet erbjuder stabilisering av elnätet via energilager i noder

Idag har ServaNet energilager i sina noder som räcker cirka en timme vid strömbortfall. Givet framtidens behov av effektstabilisering i elnätet till följd av energiomställningen, kan en uppgradering av dessa energilager vara en lösning. Detta motiveras av de snabbt fallande priserna på batterier (Nordling, Englund, Hembjer, & Mannberg, 2015).

Lösningen är liknande att utnyttja serverhallars UPS-system ovan. Ett alternativ är att återanvända elbilsbatterier. Ett pilotprojekt gällande detta har gjorts i Göteborg, där man i byggprojektet Brf Viva

använder gamla elbussbatterier för att vid behov lagra egenproducerad solcellsel. Detta förlänger i längden livscykeln för batterierna (Brolin, Sommarström, & Olofsson, 2016)

Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

- Givet större kapacitet på batterierna kan dessa dels ge större tillförlitlighet till driften av ServaNets fibernät, samtidigt som det kan utgöra reglerkraft för elnätet
- Noderna där energilagren finns är distribuerade och kan på så sätt kompensera effekt där lokal brist uppstår, vilket avlastar nätet i stort och möjliggör distribuerad elgenerering

Nya (digitala) brytare

Ljusbågsdetektorer, eller AFDD (Arc Fault Detection Devices) för lågspänningsanläggningar är på uppgång. Ett exempel på produkt är Eatons AFDD+ som är en dvärgbrytare, jordfelsbrytare och ljusbågsdetektor i ett. Den skyddar därmed mot överbelastning, kortslutning, returströmmar och ljusbågsfel genom att mäta avvikelser i sinusvågen. Den kan även sättas i ett larmläge och larma för avvikelser innan en ljusbåge uppstår.

Ljusbågsvakt är starkt rekommenderad enligt Elinstallationsreglerna för att ge ett utökat skydd i vissa specifika områden, exempelvis där förhöjd brandrisk råder. Produkten nämnd ovan är tänkt att användas på speciellt känsliga ställen såsom sjukhus och k-märkta hus (Johansson J.-E. , 2019).

En annan produkt som fått mycket uppmärksamhet är Blixt, som är en digital brytare med extrafunktioner såsom datainsamling för undermätning, möjlighet till kommunikation mellan komponenter i elsystemet (inklusive elnätskontroll) samt styrning av last (Blixt Tech , 2019). Tidigare mekaniska brytare blir då helt digitaliserade och kopplas upp via fiber. Enligt företaget bäddar produkten för dataanalys och efterfrågeflexibilitetstjänster såsom prisstyrning. Produkten fungerar som retro-fit i existerande proppskåp (Blixt Tech, u.d.).

Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

- Vid speciellt utsatta ställen kan utökat skydd vara av intresse
 - Exempelvis i vissa anläggningar eller för vissa kunder
- Potentiell produkt för smart hem och elnät, som dessutom kommunicerar via fibernät
 - Bäddar för flexibilitetstjänster och styrning av last hos kund
 - Även undermätning kan göras

Övervaka och styra lindningskopplare i transformatorer

När fler solcellsanläggningar installeras kommer energiflödets variation öka. Detta kommer ställa krav på transformatorers lindningskopplare och troligtvis öka slitaget (Office of Electricity Delivery & Energy Reliability, 2017). I Sundsvall elnäts fall kommer lindningskopplarna i nätstationerna övervakas om det finns behov av det. Med hjälp av spänningsövervakning på slutkunder och nätstationer kan det avgöras om lindningskopplarna står i fel läge (Anders Söderberg, Sundsvall elnät).

Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

- Med mer intermittent elgenerering är det troligt att tiden för spänningsreglering blir kortare, vilket kan motivera ytterligare övervakning och styrning av just lindningskopplare

- Styrning görs via fiberuppkopplade nätstationer

Installationskontroll för mätare

Som ett exempel på preventivt underhåll är att kontrollera att utrustning faktiskt blir rätt installerad. Genom att minska risken för att utrustningen måste kontrolleras igen eller att potentiellt farliga fel uppstår. Företaget Arundo samarbetade med en klient som skulle installera nya smarta mätare och utvecklade då en metod för att upptäcka felinstallationer. ML-modeller utvecklades och användes i kombination med förbrukningsdata, GIS och ”eldata” (electrical data) för detta. Via tredje part kunde även förbrukningsmönster prognostiseras. Resultatet blev bland annat insikten att 1 % av initiala installationer var felaktiga samt att potentiella risker kunde identifieras (Dobson & Misra).

Göteborg Energi genomför enligt (Hagman & Lindskog, 2017) analyser av elmätarens spänning, ström och effekt för att identifiera nätförluster. Vid en kontroll av ca 80 000 identifierades runt 160 felkopplade mätare, vilket ledde till att besparingar på ca 236 000 kr kunde göras.

Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

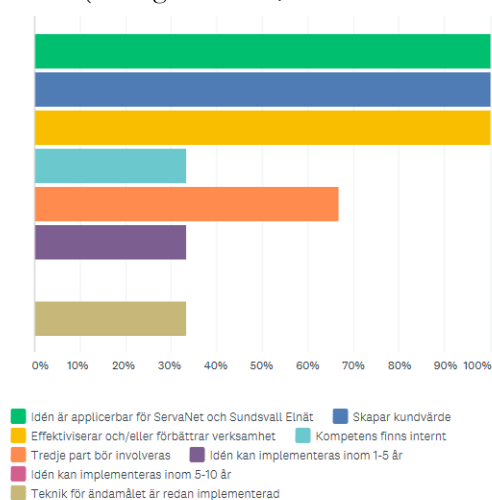
- Nya smarta mätare ska snart börja installeras i Sundsvall elnät
 - Om 1 % av dessa installeras felaktigt är det 270 mätare som kräver ominstallation, vilket skapar merarbete
 - Säkerheten i installationen kan potentiellt sett höjas
- En möjlighet att utnyttja användardata (om kundmedgivande fås) för att bättre förstå förbrukning och var fel kan uppstå

ServaNet erbjuder plattform för mätvärden

Avsaknaden av en standardiserad kommunikationsplattform för smarta mätning av olika resurser kan göra det svårt att jämföra data från flera olika mätare av olika märken (Gaber, o.a., 2018). Även Energimarknadsinspektionen framhåller avsaknaden av standardisering för mätare och mätvärdeshantering som ett upplevt hinder för tjänster såsom efterfrågeflexibilitet (Huang & Grahn, 2018). Genom att bygga en gemensam plattform med möjlighet att samordna data, kan detta antingen utnyttjas som tjänst för bolag såsom SEAB och MittSverigeVatten. Vidare skulle plattformen kunna tas vidare till att kunden själv, via t.ex. mitt.sundsvall.se, kan ta del av sin förbrukning. För den senare lösningen krävs fullmakt från kund att använda hans förbrukningsdata. I och med att ett krav på nya elmätare är att kunden själv ska kunna ta del av sin förbrukningsdata via gränssnitt i mätaren, kanske även tjänst för detta kan utvecklas.

Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

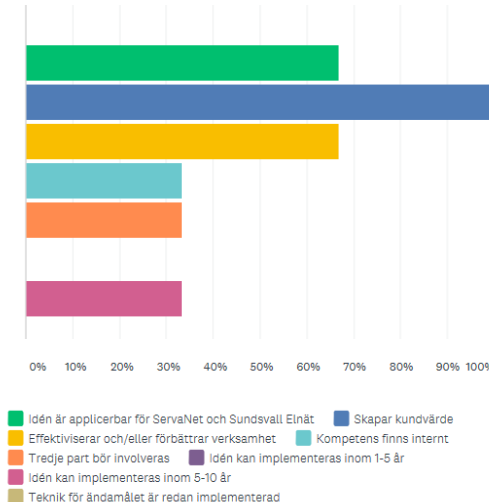
- Ett enkelt sätt att skapa kundvärde, då kunden får tillgång till sin förbrukningsdata vilket generellt upplevs som positivt och kan ge en helhetsbild



- En tjänst som ServaNet kan tillhandahålla, ett ”filter” eller typ av edge computing som har som mervärde att färre personer på respektive bolag behöver hantera mätvärden
- I och med den uppgraderade kommunikationsinfrastrukturen i nätstationerna kommer mätvärdesinsamling erbjudas andra aktörer såsom SEAB, detta kan vara ett sätt att skapa mervärde till den tjänsten, som ändå går via interna servrar

Stimulering av ändrad förbrukning baserad på förmånliga erbjudanden

Från och med 2019 får elnätsföretag genomföra pilotprojekt gällande ändrade tariffer för att främja efterfrågefleksibilitet (Energimarknadsinspektionen, 2019). När Energimarknadsinspektionen frågade 38 elnätsbolag om de planerar att i framtiden se över sina tariffer för att främja efterfrågefleksibilitet svarade 26 av dessa ja. Elnätsföretag kan generellt sett dra nytta av energitjänster såsom efterfrågefleksibilitet för att driva näten effektivt (Huang & Grahn, 2018). För att påverka elnäts kunder att förflytta/styra sin förbrukning, skulle kombinerad prissättning gällande elnätsabonnemang eller elförbrukning (via SEAB) samt fiberabonnemang kunna göras. En lägre energiåtgång eller ett förflyttat effektuttag kan t.ex. resultera i direkt ekonomisk kompensation i form av sänkt fibernätsavgift och/eller bättre priser på tjänster såsom smarta hem-paket. Antingen kan direktstyrning göras, alternativt att kunden själv är inblandad och gör aktiva val.



Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

- En möjlighet att påverka kunds elförbrukning och på så sätt styra last
- En möjlighet att göra tjänster i fibernätet tillgängliga och attraktiva för kund (som kanske inte annars hade vetat om tjänsten)

Reducering av överföringsförluster genom styrning och automatisering

Flera olika typer av förlustreducering kan ske:

1. Volt/VAR-kontroll handlar i stort om att reducera överföringsförluster. Genom att övervaka effekt i både stationer och i linan kan spänning och reaktiv effekt styras genom automatiska kondensatorer/reaktorer i nätet, lindningskopplare i transformatorer och spänningsreglerare i nätet.
2. Spänningsoptimering handlar om att koordinera Volt/VAR-komponenter för att uppnå en önskad och effektiv leverans av energi med hög kvalitet.
3. Conservation Voltage Reduction använder både Volt/VAR-kontroll och spänningsreglering för att sänka spänningen i distributionsnätet, utan att påverka kundens komfort. Studier har visat att genom att sänka distributionsspänningen med 1 % kan sänka efterfrågan och förbrukning av energi med 1 % eller mer.

För att åstadkomma detta krävs spännings- och strömsensorer, SCADA-system, smarta mätare och AMI-kommunikation, DMS och spänningsreglerande mjukvara, samt kontrollsystem för lindningskopplare, reaktorer och spänningsreglerare. Lägre energiåtgång sparar på miljö samt kostnader för både kund och elnätsbolag. Den största nyttan sker vid höglast (Smartgrid.gov, 2011). Även användning av s.k. Variable Shunt Reactors verkar vara en god idé för att kunna variera reaktiv effekt

(Sandström). I Sundsvall elnät är en stor del av ledningarna nedgrävda i jorden, vilket leder till att nätet till stor del är kapacitivt.

Smarta inverterare/växelriktare

Växelriktare är en viktig komponent i att omvandla DC till AC vid exempelvis solcellsproduktion. Dessutom är den viktig för att den el som genereras är av god kvalitet (Energimyndigheten, 2015). I USA har energibolag genomfört tester av ny teknik för ”smarta” växelriktare. Syftet är att utreda hur spännings- och elkvalitet kan upprätthållas med hjälp av dessa. Ett företag (SDG&E) beskrev nyttan som spänningsreglering i spänningsnivån närmast slutkund. Med mer väntad intermittent elproduktion tittar de på att implementera väderscheman för spänningsreglering, såsom solig dag, molnig dag etc.

Robust kommunikation och standardprotokoll för att optimera funktionaliteten pekas ut som den största utmaningen. Exempelvis anses inte Modbus vara ett säkert protokoll och olika tillverkare använder egen standard för kommunikation och programmering. Av den anledningen såg vissa aktörer det nödvändigt att ta in kommunikationshantering in-house för att säkerställa robust kommunikation (Office of Electricity Delivery & Energy Reliability, 2017).

Ett exempel på en växelriktare som kombinerar flera funktioner är X-verter från Blixt Tech (Blixt Tech, u.d.).

Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

- Smarta inverterare är något att hålla koll på och kan övervägas om det blir så att mycket solceller installeras
- Kommunikationsinfrastruktur driftas redan in-house, vilket i rapporten ovan pekas ut som positivt
 - Lösningen är avhängig god kommunikation, ofta i realtid

Blockkedje-applikationer

I artikeln (Gaber, o.a., 2018) ges exempel på att intelligenta system (och –aktörer) som övervakar och sköter eldistributionen lokalt kan användas för att lösa utmaningar som mer intermittent solkraftsproduktion för med sig lokalt. Systemet ser till att samtliga hushåll som övervakas får den elförsörjning det behöver. För detta nyttjas t.ex. lokal lagring. ”Virtuell valuta” i form av exempelvis energi kan då genereras och spenderas lokalt (Gaber, o.a., 2018).

I ett system med flera hushåll som har egen solcellsproduktion, kan i framtiden blockkedjeteknik bli av intresse som ett sätt att istället för att skicka sin överskottsproduktion ut på nätet, göra lokal elhandel möjlig. Idén är helt enkelt att prosumenter säljer sin el lokalt. Företaget LO3 Energy har etablerat tjänsten Exergy, baserat på bland annat en mer distribuerad och datadriven energimarknad av ”transaktiv energi”. Exergy är ett värdesystem för transaktiv energi och baserat på M2M-kommunikation och privata blockkedjor. Värdet skapas av lokal, automatisk styrning av elflödet och representeras av så kallade ”XRG tokens”. Företaget har utvecklat och implementerat IoT-hårdvara för distribuerad beräkning (edge computing) och tillgångskontroll. Även tredje part kan involveras i systemet. Värdet av blockkedjetekniken är enligt företaget just att fler tredjepartsaktörer kan komma in på marknaden, eftersom kedjan gör systemet transparent. Ett Exergysystem har varit etablerat i Brooklyn, USA, sedan 2016. Aktörer kan delta i tjänsten/plattformen/systemet både som producent, prosument och konsument (LO3 Energy, 2018). Därav kan systemet också användas för balanstjänster

Sida 50 av 57

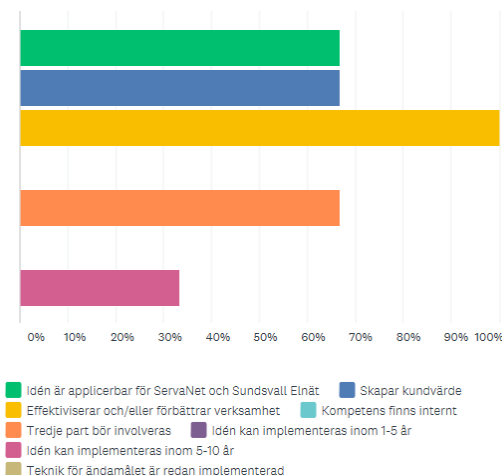
Kommunikationsteknik och elnät: möjligheter med LoRa-teknik och smarta elnät
Amanda Bränström

och kan vara attraktivt för exempelvis aggregatorer. Det kan också minska behovet av distribuerade batterier.

Blockkedjeteknik är fortfarande i sin linda, men klart är att den är avhängig kommunikationsteknik. Vid en undersökning (Meeuw, Schopfer, & Wortmann, 2019) av bandbredds-benchmarking för P2P-marknader i blockkedjebaserade mikronät blir slutsatsen att behövd bandbredd i testet uppgår till maximalt ca 120 kByte/s, vilket leder till att fiberuppkoppling och –kommunikation behövs för att göra marknaden möjlig och robust (även låg fördröjning på 12-20 millisekunder är viktig faktor). Testet och lösningen appliceras på en redan implementerad AMI, med funktioner såsom mätning, tidsindikation, möjlighet till fjärruppdatering av mjukvara samt möjlighet att ta emot prisindikationer (Meeuw, Schopfer, & Wortmann, 2019).

Nytta för Sundsvall elnät och ServaNet inkluderar:

- En tjänst som kan erbjudas och möjliggöras via ServaNets fibernät
- Skapandet av lokala marknadsplatser för intermittent elproduktion hos slutkunder gör att lokal obalans kan lösas snabbt och effektivt, vilket reducerar obalans i elnätet
- Marknadsplats för aggregatorer kan skapas



Slutsatser

Syftet med arbetet som genomförts under sommaren 2019 har varit att titta på potentiella gemensamma nyttor, tjänster och produkter mellan ServaNet och Sundsvall elnät med utgångspunkt i digitalisering och energiomställning, samt hur radiotekniken LoRa kan användas för detta. Fokus har varit kartläggning.

Projektet har, förutom ovan mer breda frågeställning, haft tre spår:

- Titta på data som samlas in i elnätet; hur den samlas in, vad den idag används till och vad den potentiellt sett kan användas till. På grund av att nätstationerna ska fiberanslutas undersöks även potentiella nyttor, tjänster och produkter som kan skapas när det är gjort. Detta korrelerar med tjänster, nyttor och produkter kopplade till smarta elnät.
- Hur LoRa-nätet kan användas för att skapa tjänster mellan ServaNet och Sundsvall elnät.
- Hur LoRa-teknik, baserat på pågående projekt och forskning, verkar passa för applikationer för smarta elnät.

Att säga något konkret och samlat om syftet och de tre spåren är svårt eftersom områdena är stora och under utveckling. Några konstateranden vid projektets slut är att:

- Data som samlas in idag används främst för att drifta elnätet
- De nyttor, tjänster och produkter som kan uppstå med ökad datainsamling i elnätet rör främst förbättrad drift av elnät och motiveras av en trend av mer intermittent elproduktion som kräver annan typ av elnätsdrift

- Hur man väljer att utforma kommunikationsinfrastruktur skiljer sig mycket mellan olika lokalnät och lokala behov och förutsättningar
- Säkerhet och robusthet är generellt viktiga aspekter
- Ska radio användas krävs radioplanering och i elnätssammanhang även tydliga definitioner på säkerhets- och kapacitetskrav
- Ofta är flera aktörer inblandade, vilket ställer krav på att processer och ansvar är väldefinierade
- Att samla in data är en sak, att utveckla sätt att skapa värde av data en annan
- Flexibilitetstjänster och tjänster såsom kundmedverkan för att styra förbrukning finns tillgängliga, men kundmedgivande krävs idag för att sälja mätvärden och affärsmodellen för detta är inte tydlig
- Kundmedverkan kan resultera i oönskade resultat, som att elförbrukning går upp, detta bör undersökas vidare
- Det finns begränsat med kommersiella applikationer för LoRa-teknik inom elnätsapplikationer och de som finns är ofta i test- eller forskningsstadiet, men tekniken i sig verkar etablera sig väl inom generell IoT
- LoRa-teknik verkar kunna användas i vissa smarta elnäts-applikationer, men är begränsad av QoS, SLA, duty cycles samt en oro för interferens
- LoRa-teknik verkar användas mer inom vatten- och värmeapplikationer såsom mätning
- Det är en styrka att Sundsvall elnät och ServaNet redan har mycket samarbete och detta bör utvecklas, även samarbetet och dialogen inom Elinorr är viktigt och kan användas
- Nätreglering och reglering verkar begränsa investeringar i ny teknik, ny nätreglering kan komma att ändra detta

Det kan även konstateras att machine learning, artificiell intelligens och blockkedjeteknik är här för att stanna. Edge computing är även intressant då det kan påverka hur nätverk utformas. En blandning av kommunikationstekniker är att vänta och att agera i tid verkar vara bättre än att invänta teknikmognad. Detta gäller inte minst eftersom stora mängder data behövs för att träna algoritmer, exempelvis. Småskaliga test är att rekommendera.

Det finns avslutningsvis ingen brist på nyttor, tjänster och produkter som kan uppstå mellan fibernät, elnät och kanske även LoRa-nät. Frågan är dock vilka nyttor, tjänster och produkter som är eftersträvaransvärda, samt hur man vill och kan realisera dem på ett kostnadseffektivt sätt. Att svara på dessa frågor är den naturliga rekommendationen för vidare utvecklingsarbete.

Skriftliga referenser

- 50,2 Die Plattform für intelligente Stromnetze. (den 17 december 2018). *Submetering mit LoRaWAN*. Hämtat från 50,2: <http://50komma2.de/ww/2018/12/07/submetering-mit-lorawan/>
- ABB. (u.d.). *ABB Ability™ Wireless Monitor for surge arresters*. Hämtat från ABB: <https://new.abb.com/high-voltage/surge-arresters/high-voltage-arresters/accessories/abb-ability-wireless-monitor-for-surge-arrester>
- ABI Research. (den 1 november 2018). *Connecting Utility Assets using LoRaWAN*. Hämtat från LoRa White Papers: <https://www.semtech.com/lora/resources/lora-white-papers>
- ABI Research. (den 10 juni 2019). *LoRaWAN and NB-IoT: Competitors or Complementary?* Hämtat från LoRa white papers: <https://www.semtech.com/lora/resources/lora-white-papers>
- Adolfsson, F. (den 14 juni 2019). *Sensor för bättre luft*. Hämtat från Voister - : <https://www.voister.se/artikel/2019/06/sensor-for-battre-luft/>
- Advanced Grid Research. (2018). *Sensor Technologies and Data Analytics*. Office of Electricity, US Department of Energy .
- Advanced Grid Research. (2019). *At a Glance: AMI-Enabled Customer Benefits* . U.S. Department of Energy.
- Ahoysis. (u.d.). *LoRa/LoRaWAN - Smart city streetlight*. Hämtat från LoRa/LoRaWAN - Smart city streetlight: <http://www.ahoysis.com/lora-street-light.php>
- Aras, E., Ramachandran, G. S., Lawrence, P., & Hughes, D. (2017). Exploring the Security Vulnerabilities of LoRa. *Exploring the Security Vulnerabilities of LoRa*.
- Bibri, S. E. (2018). The IoT for smart sustainable cities of the future: An analytical framework for sensor-based big data applications for environmental sustainability. *Sustainable Cities and Society* 38, 230-253.
- Blixt Tech . (den 3 juli 2019). *BLXT® chosen to showcase the market's first residential solid state circuit breaker at ARPA-E Energy Innovation Summit 2019*. Hämtat från News Cision: <https://news.cision.com/blixt-tech-ab/r/bl-xt--chosen-to-showcase-the-market-s-first-residential-solid-state-circuit-breaker-at-arpa-e-energ,c2856751>
- Blixt Tech. (u.d.). *The devil is in the details*. Hämtat från Blixt Tech: <https://blixt.tech/the-devil-is-in-the-details/>
- Brolin, C., Sommarström, C., & Olofsson, Y. (2016). *Lagring av el i begagnade bussbatterier i Riksbyggen Brf Viva*. Göteborg: Riksbyggen.
- Cineldi. (u.d.). *Smart grid development and asset management (WP1)*. Hämtat från Cineldi: <https://www.sintef.no/projectweb/cineldi/research/work-packages/wp1/#/>
- Decentlab. (u.d.). *AIR QUALITY STATION NO₂, NO, CO, O_x FOR LoRaWAN*. Hämtat från Decentlab: <https://www.decentlab.com/products/air-quality-station-no2-no-co-ox-for-lorawan>
- Dobson, E., & Misra, A. (u.d.). *Predictive Equipment Maintenance: Cluster-based anomaly detection for industrial operations*. Arundo.
- Electricity Delivery & Energy Reliability. (2012). *Case Study —Florida Power & Light*. U.S. Department of Energy.
- Energiforsk. (2019). *Härryda Self-healing grid*. Hämtat från http://www.swedishsmartgrid.se/globalassets/exempel/exempel_harryda.pdf
- Energiforsk. (2019). *Jämtkraft – Fault detection at sporting event* . Hämtat från Realtidsövervakning och styrning av elnät:

- http://www.swedishsmartgrid.se/globalassets/exempel/exempel_jamtkraft_sportingevent.pdf
- Energimarknadsinspektionen. (den 21 maj 2019). *Pilotprojekt för nya elnätstariffer*. Hämtat från Energimarknadsinspektionen: <https://www.ei.se/sv/for-energiforetag/el/Elnat-och-natprisreglering/pilotprojekt-for-nya-elnatstariffer/>
- Energimyndigheten. (den 8 10 2015). *Solceller växelriktare*. Hämtat från Energimyndigheten: www.energimyndigheten.se/tester/tester-a-o/solceller-vaxelriktare/
- Energimyndigheten. (2017). *Smart Grid Gotland*. Eskilstuna: Energimyndigheten.
- Ferrari, P., Flammini, A., Rinaldi, S., Rizzi, M., & Sisinni, E. (2017). On the Use of LPWAN for EVehicle to Grid. *2017 AEIT International Annual Conference* (ss. 1-6). AEIT.
- Filho, H. d., Filho, J. P., & Moreli, V. L. (2017). The Search for a Convergent Option to Deploy Smart Grids on IoT Scenario. *Technology and Engineering Systems Journal Vol. 2, No. 3*, 569-577.
- Fortum Corporations. (den 18 januari 2018). *Ericsson's data centre and Fortum to collaborate in demand response*. Hämtat från Ericsson's data centre and Fortum to collaborate in demand response: <https://www.fortum.com/media/2018/01/ericssons-data-centre-and-fortum-collaborate-demand-response>
- Forum för Smarta Elnät. (2017). *Strategi för en ökad flexibilitet i elsystemet genom smarta elnät, rekommendationer*. Forum för Smarta Elnät.
- Gaber, M. M., Aneiba, A., Basurra, S., Batty, O., Elmisery, A. M., Kovalchuk, Y., & Rehman, M. H. (2018). Internet of Things and data mining: From applications to techniques and systems. *WIRES Data Mining Knowl Discov.* 2019;9:e1292.
- Gerbrandt, R. (den 15 januari 2018). *IIoT for Utilities: Lessons Learned, Opportunities Ahead*. Hämtat från IIoT for Utilities: Lessons Learned, Opportunities Ahead: <https://www.iotworldtoday.com/2018/01/15/iiot-utilities-lessons-learned-opportunities-ahead/>
- Gordon, P. (den 4 april 2019). *LoRa Alliance and DLMS to develop Utility IoT protocol*. Hämtat från Smart Energy International: <https://www.smart-energy.com/industry-sectors/business-finance-regulation/lorawan-alliance-dlms-utility-iot-protocol/>
- Grubb, R. (2019). *Samverkan för luftöversvakning i Västernorrland 2019-2023*. sundsvall: Miljökontoret Sundsvalls kommun.
- Gungor, V. C., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., Cecati, C., & Hancke, G. P. (2013). A Survey on Smart Grid Potential Applications and Communications Requirements. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS, VOL. 9, NO. 1*, 29-41.
- Hagman, H., & Lindskog, A. (2017). *Bedömning av nätstatus baserad på dataanalys och avancerade algoritmer*. Energiforsk.
- Huang, Y., & Grahn, E. (2018). *Tjänster för efterfrågefleksibilitet 2018*. Eskilstuna: Energimarknadsinspektionen.
- iiote. (u.d.). *Larmövervakning*. Hämtat från iiote: <https://www.iiote.com/larmiot/>
- Induo. (u.d.). *NB-IoT, CAT-M1, SIGFOX ELLER LORA - LPWAN FÖR IOT*. Hämtat från NB-IoT, CAT-M1, SIGFOX ELLER LORA - LPWAN FÖR IOT: <https://www.induo.com/s/g/nb-iot-cat-m1-sigfox-eller-lora/>
- Induo. (u.d.). *Vad är LoRa? Och vad menas med LoRaWAN?* Hämtat från Induo: <https://www.induo.com/s/g/vad-ar-lora/>
- Invisible systems. (u.d.). *Our Products*. Hämtat från Invisible Systems: <https://www.invisible-systems.com/product-category/energy/>

- IOTSENS. (u.d.). *IOTSENS City Environmental Sensor*. Hämtat från IOTSENS:
<http://www.iotsens.com/sensors/environmental-sensor/>
- Iqbal, A., & Iqbal, M. T. (2019). Low-Cost and Secure Communication System for SCADA. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 1-12.
- Johansson, F. (u.d.). Digitala Tjänster För Solcellsägare (Presentation). *Digitala Tjänster För Solcellsägare*. Daresay.
- Johansson, J.-E. (den 5 mars 2019). *AFDD: Nytt kombiskydd mot ljusbågar*. Hämtat från Svenska Elektrikerförbundets tidning: <https://tidningenelektrikern.se/elektrikern/2019/03/afdd-nytt-kombiskydd-mot-ljusbagar/>
- Kamstrup. (u.d.). *Lösningar för elbolag*. Hämtat från Lösningar för elbolag:
<https://www.kamstrup.com/se-se/ellosningar>
- Krug, S., & O'Nils, M. (2018). IoT Communication Introduced Limitations for High Sampling Rate Applications. *GI/ITG KuVS Fachgespräch Sensornetze 13. & 14. September 2018, Braunschweig : Technical Report, 2018*.
- Laveyne, J. I., Zwaenepoel, B., Eetvelde, G. V., & Vandeveld, L. (2017). *Potential of domestically provided ancillary services to the electrical grid*. IEEE.
- Lindskog, A. (2017). *Slutrapport: Automatisk datainsamling för förvaltningsändamål*. RI.SE.
- LO3 Energy. (den 13 april 2018). Exergy Business Whitepaper.
- Lowan. (u.d.). *Digitalized Urban Smart Grid Solution*. Hämtat från Digitalized Urban Smart Grid Solution: <http://www.lowan.com.cn/en/solution/digitalized.html>
- Luleå Energi. (u.d.). *Undermätning*. Hämtat från Luleå Energi:
<https://www.luleaenergi.se/sv/foretagskund/foretagstjanster/undermatning/>
- Lundqvist, P.-O., Hjelm, T., & Köbi, D. (2019). *Redovisning, Smarta Elnät*. Elinorr.
- Löfblad, E., Unger, T., Holmström, D., Lewan, M., & Montin, S. (2018). *Digital utveckling och möjligheter för energisektorn (Delrapport 1)*. Energiforsk.
- Meeuw, A., Schopfer, S., & Wortmann, F. (2019). Experimental bandwidth benchmarking for P2P markets in blockchain managed microgrids. *Energy Procedia* 159 .
- Mikhaylov, K., Rapún, J. M., Moiz, A., Gascon, S. A., & Pouttu, A. (2018). LoRaWAN for Wind Turbine Monitoring: Prototype and Practical Deployment. *2018 10th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)*.
- Navarro-Ortiz, J., Sendra, S., Ameigeiras, P., & Lopez-Soler, J. M. (2018). Integration of LoRaWAN and 4G/5G for the Industrial Internet of Things. *IEEE Communications Magazine*, 02/2018, Volym 56, Nummer 2 , ss. 60-67.
- NETL. (u.d.). *Sensing Electrical Networks Securely and Economically (SENSE)*. U.S Department of Energy.
- NETL. (u.d.). *Sensors with Intelligent Measurement Platform & Low-Cost Equipment (SIMPLE) for Monitoring and Control of Medium Voltage Distribution Systems with High Penetration of Intermittent Distributed Energy Resources (DER)*. U.S. Department of Energy.
- NETL. (u.d.). *TRANSENSOR: Transformer Real-time Assessment INtelligent System with Embedded Network of Sensors and Optical Readout*. U.S. Department of Energy.
- Nordling, A., Englund, R., Hembjer, A., & Mannberg, A. (2015). *Energilagring Teknik för lagring av el*. Stockholm: IVA.
- Northstream. (2016). *Connectivity technologies for IoT*. Telenor Connexion.
- Nylén, P.-O. (2011). *Möjligheter och hinder för laststyrning*. Elforsk.
- Näringsdepartementet. (den 21 december 2016). *Sverige helt uppkopplat 2025 - en bredbandsstrategi*. Hämtat från Regeringskansliet:

- <https://www.regeringen.se/informationmaterial/2016/12/sverige-helt-uppkopplat-2025--en-bredbandsstrategi/>
- Obodovski, D. (den 16 Maj 2017). *Bridging the IoT Reality Gap: Digital Solutions for Analog Problems*. Hämtat från Bridging the IoT Reality Gap: Digital Solutions for Analog Problems: <https://www.iotworldtoday.com/2017/05/16/bridging-iot-reality-gap-digital-solutions-analog-problems/>
- Office of Electricity Delivery & Energy Reliability. (2017). *Voices of Experience Integrating Intermittent REsources. What Utilities are Learning*. U.S. Department of Energy.
- Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. (den 27 oktober 2015). *EERE Success Story - Solar forecasting Gets a Boost from Watson, Accuracy Improved by 30%*. Hämtat från EERE Success Story - Solar forecasting Gets a Boost from Watson, Accuracy Improved by 30%: <https://www.energy.gov/eere/success-stories/articles/eere-success-story-solar-forecasting-gets-boost-watson-accuracy>
- Ouya, A., Aragon, B. M., Bouette, C., Habault, G., Montavont, N., & Papadopoulos, G. Z. (2017). An Efficient Electric Vehicle Charging Architecture based on LoRa communication. *IEEE International Conference on Smart Grid Communications* (ss. 381-386). Dresden: IEEE.
- Persson, M., Sandels, C., & Nilsson, A. (2018). *Dataanalys och avancerade algoritmer*. Energiforsk.
- Portland General Electric. (den 11 oktober 2018). *Portland General Electric announces ambitious Smart Grid Test Bed*. Hämtat från Cision PR Newswire: <https://www.prnewswire.com/news-releases/portland-general-electric-announces-ambitious-smart-grid-test-bed-300729422.html>
- Protrol. (u.d.). *Nätautomation med feldetektorer*. Hämtat från Protrol: <http://www.protrol.se/produkter/natautomation>
- Rogier, J. K., & Mohamudally, N. (2019). Forecasting Photovoltaic Power Generation via an IoT Network Using Nonlinear Autoregressive Neural Network. *Procedia Computer Science* 151, 643-650.
- Sandström, L. (u.d.). *Reaktiv Effektkompensering i Umeå Energis elnät*. Umeå: Umeå Universitet.
- SEAS-NVE. (den 21 september 2017). *Energibesparelser finansierar LED-belysning på Lolland*. Hämtat från SEAS-NVE: <https://www.seas-nve.dk/offentlige/nyhedsbrev/nyhedsbreve-2017/september/energibesparelser-finansierer-led-lys-paa-lolland>
- Semtech. (2017). *Real-world LoRaWAN™ Network Capacity for Electrical Metering*. Semtech.
- Semtech. (september 2017). *Real-world LoRaWAN™ Network Capacity For Electrical Metering Application. Semtech White Paper*. Semtech.
- Semtech. (den 29 mars 2018). *Semtech and KernelSphere Collaborate to Enhance Utility Performance in India*. Hämtat från Company Press Releases: <https://www.semtech.com/company/press/semtech-and-kernelsphere-collaborate-to-enhance-utility-performance-in-india>
- Semtech. (den 26 juni 2018). *Semtech and Lowan Transform China's Energy Use Trends*. Hämtat från Semtech and Lowan Transform China's Energy Use Trends: <https://www.semtech.com/company/press/semtech-and-lowan-transform-chinas-energy-use-trends-with-lora-technology>
- Semtech. (den 21 juni 2018). *Semtech and Ubicquia Light Up the Streets with a Smart Grid LoRa-based IoT Solution*. Hämtat från Semtech and Ubicquia Light Up the Streets with a Smart Grid LoRa-based IoT Solution: <https://www.semtech.com/company/press/semtech-and-ubicquia-light-up-the-streets-with-a-smart-grid-lora-based-iot-solution>
- Semtech. (u.d.). *Why LoRa?* Hämtat från Semtech: <https://www.semtech.com/lora/why-lora>

- Smart City SRS. (2014). *Smart City SRS Summary of Phase 2 Findings and Results*. Vinnova.
- Smartgrid.gov. (den 30 november 2011). Energy Efficiency in Distribution Systems. Hämtat från https://www.smartgrid.gov/files/Distribution_System_Energy_Efficiency_17Nov11.pdf
- Smartgrid.gov. (2016). *Smart Grid Investment Grant Program Final Report*. Hämtat från https://www.smartgrid.gov/files/Final_SGIG_Report_20161220.pdf
- Sornin, N. (den 12 februari 2018). *Nicolas Sornin - Inventor of LoRa talks about the future of LoRa*. Hämtat från The Things Network (YouTube-kanal): <https://www.youtube.com/watch?v=jNnPTxWRNxs>
- Stadshubbsalliansen. (u.d.). *Larm på nätstationer*. Hämtat från Stadshubbsalliansen: <http://www.stadshubbsalliansen.se/sv/larm-pa-natstationer/>
- Stromnetz Hamburg. (u.d.). *Multi Metering – Die smarte Messdienstleistung für Strom, Wasser, Wärme und Gas*. Hämtat från Stromnetz Hamburg: <https://www.stromnetz-hamburg.de/stromzaehler/multi-metering-2/>
- Svenska kraftnät. (2018). *Slutrapport pilotprojekt inom förbrukningsflexibilitet och energilager*. Svenska kraftnät.
- Söderberg, A. (den 25 januari 2018). Projektdirektiv mät/driftsystem 2018-2024. *Projektdirektiv*. Sundsvall elnät.
- Söderström, E., & Burström, S. (2019). USING SMART GRID SURVEILLANCETM TO DETECT AND LOCALIZE FAILURES IN THE OVERHEAD MEDIUM VOLTAGE GRID . *Cired conference* (s. Paper nr 945). Exeri.
- TalkPool. (den 14 november 2017). *TalkPool and Senseair initiate collaboration within IoT for safer indoor environments*. Hämtat från TalkPool: <https://news.cision.com/talkpool-ag/r/talkpool-and-senseair-initiate-collaboration-within-iot-for-safer-indoor-environments-,c2391716>
- Trindade, F. C., Ochoa, L. F., & Freitas, W. (2016). Data analytics in smart distribution networks: Applications and challenges. *2016 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT-Asia)*. Melbourne: IEEE.
- Ubicquia. (u.d.). *Ubicell – Streetlight Network and IoT Router*. Hämtat från Ubicell – Streetlight Network and IoT Router: <http://www.ubicquia.com/ubi400-2/>
- Ubicquia. (u.d.). *Ubimetro™ – Streetlight Small Cell*. Hämtat från Ubimetro™ – Streetlight Small Cell: <http://www.ubicquia.com/products/ubimetro>
- Varsier, N., & Schwoerer, J. (2017). Capacity Limits of LoRaWAN Technology for Smart Metering Applications. *EEE ICC 2017 SAC Symposium Internet of Things Track*.
- Watts, A. (den 7 juni 2017). *Utilizing IoT for Smart Energy Management*. Hämtat från Utilizing IoT for Smart Energy Management: <https://www.iotworldtoday.com/2017/06/07/utilizing-iot-smart-energy-management/>
- Wellness TechGroup. (u.d.). *WeLight Smart Lighting*. Hämtat från Wellness TechGroup: <https://wellnesstg.com/en/solucion/welight-smart-lighting/>
- Wendt, C. (den 4 december 2018). *Bluetooth mesh skapar nätverk i Lund*. Hämtat från Future by Lund: <http://futurebylund.se/post/bluetooth-mesh-skapar-natverk-i-lund>
- Wolf, A., & Andersson, A. (2018). *Elnätets roll i framtidens energisystem*. Stockholm: Power Circle.
- Yegin, A. (den 13 juni 2019). LoRaWAN roaming (ur Power point Technical Track, Creating Valuable IoT connections). *LoRa Alliance AMM*. Berlin: LoRa Alliance .